

Pamuklu İpliklerin Köpük Aplikasyon Metodu Kullanılarak İndigo Boyarmadde ile Boyanması

Sıddık YAVUZ^{*1} ORCID 0000-0001-6885-7391
Onur BALCI¹ ORCID 0000-0003-1585-8336

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 03.06.2024

Kabul tarihi: 27.06.2024

Atıf şekli/ How to cite: YAVUZ, S., BALCI, O., (2024). Pamuklu İpliklerin Köpük Aplikasyon Metodu Kullanılarak İndigo Boyarmadde ile Boyanması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(2), 515-526.

Öz

İndigo boyarmaddesi, insanlığın kullandığı en eski boyarmaddelerden bir tanesidir. 20. Yüzyıl'ın başından itibaren, denim (kot) kumaşı ve bu kumaştan yapılan pantolonlar (jeans) Dünya çapında yaygınlaşmıştır. İndigo boyarmaddesi tekstilde kullanılan diğer boyarmaddeler ile kıyaslandığında kimyası ve boyama mekanizması bakımından birçok noktada farklılıklar göstermektedir. Bu çalışma kapsamında köpük aplikasyon yöntemi ile %100 pamuklu ipliklere indigo boyarmadde ile boyama yapmak ve klasik metotlara alternatif bir yaklaşım geliştirmek hedeflenmiştir. Köpük aplikasyonu yapabilmek için bir aparat tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yeni aparat kullanılarak, çözgü ipliklerine köpük aplikasyon tekniği ile indigo boyamalar yapılarak denim kumaş dokunmuştur. Elde edilen numunelerin renk, haslık, dayanım ve elastikiyet gibi performans özellikleri araştırılmıştır. Böylece çalışma sonunda köpük aplikasyon yönteminin indigo boyama için uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Köpük aplikasyon yöntemi ile indigo boyamanın konvansiyonel yöntemle göre avantajları, yatırım maliyeti ve yerleşim alanının daha az olması, boyama sonu çıkan atıkların çevreye olan etkisinin az oluşu ve daha az iplik telefinin çıkması olarak sıralanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İndigo, Denim, Boyama, Köpük, Renk, Haslık

Dyeing of Cotton Yarns with Indigo Dyestuff Using the Foam Application Method

Abstract

The indigo dyestuff is one of the oldest dyestuffs used by humanity. Since the beginning of the 20th century, denim fabric and trousers made from this fabric have become widespread around the world. Indigo dyestuff, when compared to other dyestuffs used in textiles, differs in many respects in terms of its chemistry and dyeing mechanism. Within the scope of this study, it was aimed to dye 100% cotton yarns with indigo dyestuff using the foam application method and to develop an alternative approach to classical methods. An apparatus for foam application has been designed and manufactured. Using the newly developed apparatus, indigo dyeing was done on the warp threads using the foam application technique. The denim fabric is woven with dyed threads. Performance properties of the obtained samples such as color, fastness,

^{*}Sorumlu yazar (Corresponding Author): Sıddık YAVUZ, sddkyavuz@gmail.com

strength and elasticity were investigated. Thus, at the end of the study, the applicability of the foam application method for indigo dyeing was proven. The advantages of indigo dyeing with the foam application method compared to the conventional method can be listed as lower investment cost and residential area, less environmental impact of the waste produced after dyeing, and less yarn waste.

Keywords: Indigo, Denim, Dyeing, Foam, Colour, Fastness

1. GİRİŞ

İndigo boyarmaddesi, bulunduğu coğrafyaya göre değişik türleri ve adları olan, ancak yaygın olarak “indigofera” olarak adlandırılan bir bitkinin özünden elde edilmiştir. Bu boyamanın geçmişi çok eskilere dayanmaktadır. Değişik kaynaklarda yapılan arkeolojik kazılarda M.Ö.4000 yıllarında kullanıldığı varsayılmaktadır. İndigo bitkisinden elde edilen öz, canlı mavi renk tonları elde etmek için kullanılmıştır. İndigo, denim (kot) kumaşın çözgü ipliklerini boyamak amacı ile kullanılmakta olan bir boyarmaddedir. İndigo boyarmaddenin sentetik olarak üretiminin denim kumaş üretiminin yaygınlaşması üzerinde oldukça etkisi vardır. Tarihte indigo boyama, çile haline getirilen ipliklerin kazanlarda hazırlanan boyarmaddenin içine daldırılıp çıkartılmasıyla yapılmıştır. 20. yy.’ın başından itibaren makineler devreye girmiş ve boyama işlemi makinalarda yapılmaya başlamıştır.

Güncel literatür incelendiğinde, denim kumaşlar üzerine gerçekleştirilen çalışmaların çoğunun hazır giyim aşamasındaki etkiendirme veya kumaş oluşumu esnasında uygulanan bitim işlemleri ile ilgili olduğunu görmek mümkündür [1-7]. Literatürde denim kumaşının aksine, indigo boyarmadde ve alternatif boyama yöntemleri üzerine deneysel çalışmalara rastlanmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışma tespit edilen bu eksiğin giderilmesi için önemli verileri içermektedir [8-13]. Köpük aplikasyon ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde ise tekstilde apre uygulamaları üzerine gerçekleştirilen çalışmalara ulaşılabilmektedir. Bu bağlamda köpük aplikasyon tekniği ile indigo boyarmaddenin kullanıldığı, boyama tekniği açısından bu detaydaki ilk çalışmadır [14-18].

İndigo boyama, kullanılan boyarmaddenin ve boyama işlemi için kullanılan makine yapılarından

dolayı atık su oranı en fazla olan boyama yöntemidir. Boyama prosesleri ve makineleri incelendiğinde halat boyama ve slashler çözgü boyama yöntemlerinde 3-4 tekne ön terbiye, 10-12 tekne boyama ve 3-4 tekne de son yıkama olmak üzere toplamda 20 civarında tekne bulunmaktadır. Boyama işleminin başlaması için en küçük makinalarda bile yaklaşık 30 ton civarı indigo boyarmadde içeren renkli su kullanılması gerekmektedir. Boyama işlem sırasında her ön ve ard yıkama teknesi için ayrıca aşırı bir su tüketimine ihtiyaç duyulmaktadır. Tüketilen su, içerdiği boyarmadde ve yardımcı kimyasallar bakımında da oldukça kirletici bir yapıya sahiptir. Bu sebeple sürdürülebilir indigo boyama yöntemleri geliştirilerek kimyasal ve su tüketimlerinin azaltılması hedeflen çalışmalar büyük bir önem arz etmektedir.

İndigo boyama, halat boyama, açık en çözgü (slashler) boyama ve looptex olmak üzere 3 farklı yöntem ile yapılmaktadır. Ticari olarak halat boyama ve açık en çözgü boyama çok yaygındır. Looptex denilen yöntem ise verimlilik ve kalite etkilerinden dolayı çok yaygın kullanılmamaktadır [2].

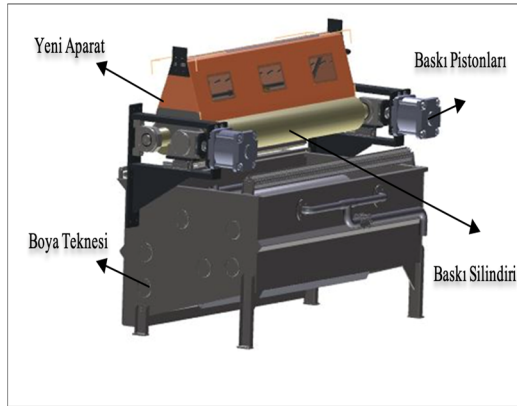
Bu çalışmada asıl amaç, var olan bu boyama yöntemlerinden bir tanesini (slashler tip, açık en çözgü boyama) modifiye ederek, çevreci bir boyama elde etmektir. Özellikle son yıllarda tekstilde kullanımı gittikçe artan ve daha ekonomik olan köpüklü aplikasyon yöntemi ile hem yatırım maliyetleri hem de üretim maliyetleri ve verimliliği daha uygun olan yeni bir metot geliştirileceği öngörülmüştür. Bu öngöründen yola çıkarak köpük aplikasyon ile indigo boyama yapabilmek için geliştirilen yeni aparat, yatay konumlandırılmış olan baskı silindirlerinin üzerine yerleştirilmiştir. Köpük ve azot gazı besleme sistemleri bu aparata eklenerek, sistem çalışır duruma getirilmiştir. Köpük aplikasyon sistemi ile indigo boyama yönteminin çözgü ipliklerine uygulanabilirliği, bu çalışmada kanıtlanmıştır. Söz konusu yeni yöntemin sağlayacağı avantajlar belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Bu çalışmada belirtilen amaçlar doğrultusunda köpük aplikasyonunu gerçekleştirmek için açık en (slasher) boyama makinesi üzerinde yeni bir makine/aparat geliştirilmiştir.

Geliştirilen makinede köpük aplikasyonu sırasında ortamda bulunan oksijen ile köpük formunda olan indigo boyarmaddenin reaksiyona girerek yükseltgenmesini engellemek için aparata azot gazı bağlantıları yapılmıştır. Açık en (slasher) indigo boya makinasına ait bir adet boyama teknesi üzerinde çözgü geçiş yönü ve silindir dönüş yönü, diğer tekne bağlantıları değiştirilmiştir. Geliştirilen aparat Şekil 1’de görüldüğü gibi ön işlemi önceki teknelerde yapılan çözgü ipliği, aparatın üst kısmında bulunan ve serbest dönen silindirler arasından geçirilerek tekne üstünden bulunan tahrikli ve yatay konumlandırılmış olan silindirler üzerinden köpük aplikasyonu yapılarak baskı işleminden sonra oksidasyon bölgesine sevk edilerek köpük aplikasyonu ile boyama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Köpük aparatının tekne üstü yerleşimin görünüşü

Çalışma kapsamında boyamada kullanılan çözgü ipliği Ne 14/1 ring şantuk ve hammaddesi %100 pamuktur. Çalışma kapsamında boyama, terbiye ve yıkama işlemleri sırasında kullanılan kimyasallar Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan kimyasallar

Proses	İsim	Görevi / Özellik
İNDİGO BOYAMA REÇETESİ	Sıvı indigo	İndirgenmiş indigo
	Kostik	48 Be ⁰
	Islatıcı	Sıvı
	Hidrosülfid	İndirgeyici – Toz
	Sitrik Asit	Toz
	İyon tutucu	Sıvı
	Islatıcı	Sıvı
TERBİYE REÇETESİ	Kostik	48 Be ⁰
	Islatıcı	Sıvı
	Yumuşatıcı	Noniyonik- Sıvı
	Yumuşatıcı	Polietilen- Sıvı
	Sitrik Asit	Toz

2.2. Metot

Çalışma kapsamında 100% indigo boyarmadde ile açık en boyama (slasher) makinasında konvansiyonel sistem ile boyanan bir reçete referans olarak alınmıştır. Referans alınan bu “reçete 1” olarak numaralandırılmıştır (Çizelge 2). Referans numune dışında 10 farklı proses oluşturulmuş ve bu prosesler doğrultusunda 10 farklı boyama yapılmıştır. Toplamda 11 proses uygulaması yapılmıştır. Çizelge 2’de de detayları verilen ve bu çalışmada değişkenlik gösteren parametreler aşağıdaki gibidir;

- Aplikasyon yöntemi (konvansiyonel emdirme, köpük)
- Makina çalışma hızı (5-10 ve 20 mt/dk)
- Boyama ortamı (azot – atmosfer)
- Baskı silindirleri basıncı (2,5 bar, 3 bar ve 4,5 bar)
- Boyarmadde konsantrasyonu (300 g/L – 400 g/L)
- Köpük yoğunluğu (200 g/L, 250 g/L ve 300 g/L)

Çizelge 2’den de görüleceği gibi referans proses 1’de indirgenmiş sıvı boyarmadde kullanılırken, diğer denemelerde indirgenmiş sıvı boyarmadde köpük jeneratöründe köpük formuna çevrilmiştir.

Emdirme metodunda boyarmadde su ile taşınırken, köpük tekniğinde bu su ve hava ile sağlanmaktadır. Sıvı indigo referans denemede klasik slasher boyama makinesinde, emdirme metoduna göre uygulanmıştır.

Makine hızı, baskı silindiri basıncı ve köpük yoğunluğu pamuklu ipliğinin boyarmadde alım

oranını değiştireceğinden, çalışmada da değişken olarak seçilmiştir. Boyarmadde konsatrasyonu referans denemede 400 g/L seçilirken, köpük uygulamalarında bu 300 g/L olarak belirlenmiştir. Ayrıca bazı denemeler, indigo boyarmaddenin hava ortamındaki stabilitesini artırmak ve köpük uygulama şartlarını belirleyebilmek için azot gazı kullanılarak yapılmıştır.

Bu, indigo boyarmaddenin life penetre olamadan yükseltgenmesini azaltabilme ve boyarmaddeyi hava şartlarından koruma amacıyla alınmış bir önlemdir. Azot gazı ile havadaki oksijen miktarı seyreltilmiş ve havanın oksitleme kapasitesi düşürülmüştür.

Çizelge 2. Boyama için uygulanan prosesler

Proses no	Aplikasyon yöntemi	Aplikasyon ortamı	Hız (m/dk)	Baskı (bar)	İndigo kons. (g/L)	Köpük yoğunluğu (g/L)
1 (Ref.)	Emdirme	Atmosferik	20	3,0	400	-
2	Köpük	Atmosferik	5	2,5	300	200
3	Köpük	Azot	5	2,5	300	200
4	Köpük	Azot	5	3,0	300	300
5	Köpük	Atmosferik	5	3,0	300	300
6	Köpük	Atmosferik	5	3,0	300	250
7	Köpük	Atmosferik	10	3,0	300	250
8	Köpük	Azot	5	4,5	300	250
9	Köpük	Azot	10	3,0	300	250
10	Köpük	Azot	5	3,0	300	250
11	Köpük	Atmosferik	5	4,5	300	250

Konvansiyonel boyama için boyarmadde ve kimyasallar, tekne içi boya konsantrasyonu ve pH'ı sabitlendikten sonra tekneye otomatik dozaj sistemleri ile belirlenen oranda beslenmektedir. Bu çalışmada referans alınan reçete için %4 lük oranında sıvı indigo beslemesi yapılmıştır. Tekne içi pH değeri 12 için kostik ilavesi yapılmıştır. Bu çalışmada köpük aplikasyon sistemi ile yapılan indigo boyaması için uygulanan reçete (Proses 2-11 için) ise Çizelge 3'de görüldüğü gibidir. Merserizasyon olarak nitelendirilen ve boyamadan önceki teknelerde uygulanan ön işlem için uygulanan reçete Çizelge 4'de görüldüğü gibi hazırlanmıştır. Bu işlem özellikle çözgü ipliklerinde ring efektinin oluşabilme durumu için gerekli bir uygulamadır [12].

Çizelge 3. Boyama reçetesi

Kimyasal ve boyarmadde	g/L
Sıvı indigo (indirgenmiş)	300
Hidrosülfid (toz)	15
Islatıcı (yüzey aktif)	20
Kostik (48 Be°)	15
Köpük Ajanı	30

Çizelge 4. Ön işlem uygulanan reçete

Kimyasal ve boyarmadde	g/L
Kostik (sodyumhidroksit)	35
Islatıcı	15

Çizelge 5. Dokuma bilgileri

Çözgü iplik no	Ne 14/1 RŞ
Çözgü tel sayısı (adet)	5484
Tarak numarası (tel/diş)	70/4
Tarak eni (cm)	196
Atkı iplik (Ne)	20/1-44 dtex
Atkı sıklığı (tel/cm)	20
Örgü	3/1 Z

Bu çalışmada üretilen ham pamuklu kumaşlar için sırasıyla yakma, kısmi merserize, fikse, kimyasal apre ve sanfor prosesleri uygulanmıştır.

Test yapılmadan önce boyanmış ve dokunmuş kumaşlara ev tipi yıkama işlemi yapılmıştır. Ev tipi yıkama işlemi, evde kullanılmakta olan yıkama makinalarında 3 defa, 60 dakika süreyle, 60°C sıcaklıktaki işlem olarak tanımlanmaktadır. Renk ölçümleri ise sadece ev tipi yıkama öncesi elde edilen numuneler üzerine yapılmıştır. Renk ölçümleri spektrofotometre kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Testler, Çizelge 6’da gösterilen standartlara göre yapılmıştır.

Çizelge 6. Uygulan testler ve standartları

Yapılan test adı	Test standardı
Gramaj	ASTM D 3776
Elastikiyet	ASTM D 3107-07
Potluk	ASTM D 3107-07
Kopma muk.	ASTM D 5035 – 95
Yırtılma muk.	ASTM D 1424 – 83
Sertlik (stiffness)	ASTM D 4032 – 94
Sürtünmeye karşı renk haslığı	AATCC 8 – 94

3. BULGULAR

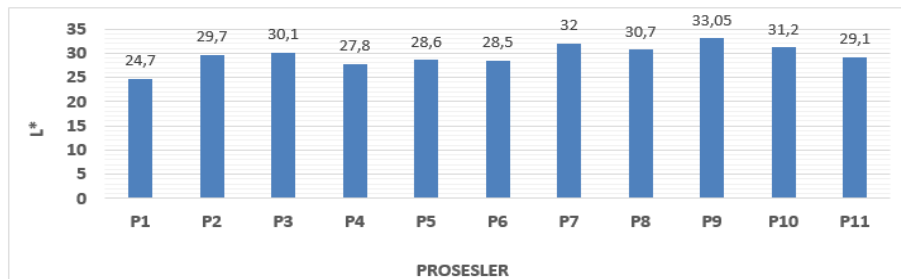
3.1. Renk Ölçümü Testi Sonuçları

11 proses ile elde edilen numunelerin renk ölçümleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Yeni geliştirilen prosesler için kritik karar noktaları göz önüne alındığında, odaklanılması gereken en önemli konunun kumaşların renk ile ilgili parametrelerinin olduğunu söylemek mümkündür. Mamul kumaşların L^* değerleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde köpük boyama yöntemi ile elde edilmiş numunelerin renk değerlerinin tamamının referansa göre açık olduğu, daha yüksek ölçülen L^* değerlerinden anlaşılmaktadır. Bilindiği gibi CIELab renk sistemine göre L^* değeri 0 (siyah)-100 (beyaz) aralığında değişen bir büyüklüktür ve değer büyüdükçe beyaza daha yakın bir ton almaktadır.

Köpük aplikasyon sistemi ile yapılan tüm çalışmalar içinde, konvansiyonel slashler boyama renk koyuluğuna en yakın boyamaların P4, P5 ve P6 proseslerinde elde edildiği görülmüştür. Çizelge 2’de görüldüğü gibi P6-P7 ve P9-P10 proseslerinde

sadece hız değişkeni farklılık göstermiştir. Şekil 2’de görüldüğü gibi proses hızı arttıkça L^* değeri artmış, yani renk açık tonda çıkmıştır. Bu veriler ışığında hızın etkisinin atmosferik çalışma şartlarında daha belirgin olarak ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu da atmosferik şartlarda indigo boyarmaddenin daha kolay okside olması ve hızdan daha fazla etkilenmesi ile açıklanabilmektedir. Hızın artması atmosferik şartlarda teknedeki boyama çözeltisinin daha fazla havalanmasına, karışmasına ve Hidrosülfid oranının da bozulmasına neden olmaktadır. Hidrosülfid oranının değişmesi boyama çözeltisinin bozulmasına ve renk değişimine neden olmaktadır. Azot varlığı bunu azaltmaktadır.

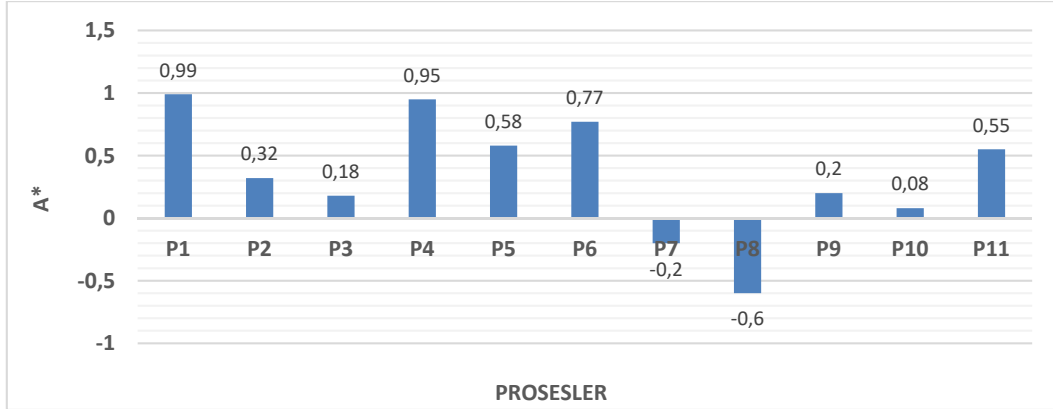
Boyamanın yapıldığı ortam (atmosferik ortam ve azot ortamı) açısından renk sonuçları Şekil 2’de verilen L^* değerleri üzerinden incelendiğinde, P5-P4 proseslerinin L^* değerleri karşılaştırıldığında, azot ortamı ile yapılan sonucu üretilen numune kumaşın rengi daha koyu ölçülmüştür. P7-P9 ve P2-P3 proseslerinde tersi bir durum olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ilgili proseslerde çalışma hızının 10 metre/dk olması gösterilebilmektedir. Baskı silindirlerine uygulanan basınç parametresine göre renk değerleri incelendiğinde, uygulanan baskı değeri arttıkça, kısmi de olsa renk koyuluğunun azalmakta olduğu görülmektedir. Uygulanan köpük yoğunluğu parametresine göre renk verileri incelendiğinde, köpük yoğunluğu fazla olan P5 prosesinin renginin, köpük yoğunluğu az olan P6 prosesinin rengine göre daha açık olduğu görülmektedir. Köpük yoğunluğunun fazla olması, boyarmadde çözeltisinin penetrasyonunu düşürmüştür. Şekil 2 incelendiğinde P6, P11’e göre daha koyu olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. Numunelerin L^* değerleri

Renk ölçümü çıktılarından olan a^* değeri, rengin kırmızı veya yeşil değerlerini göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen numune kumaşların a^* değerleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, rengin köpük boyama sonrası,

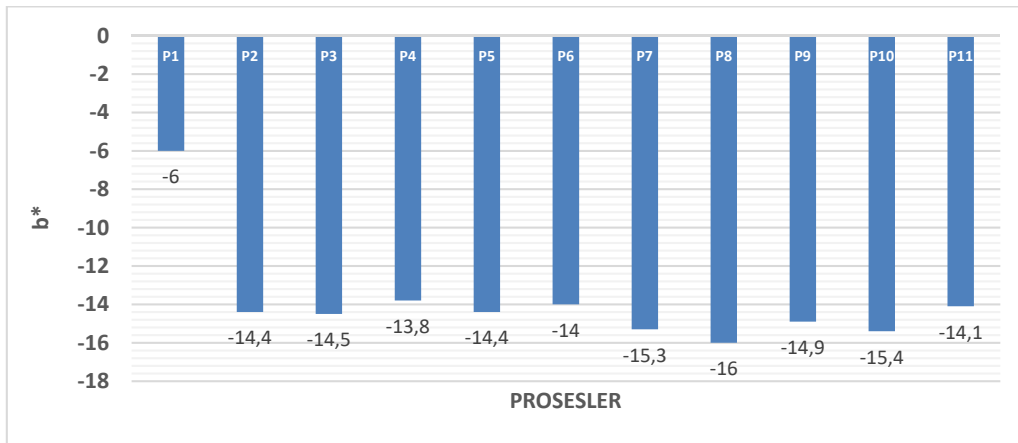
klasik boyamaya göre kırmızılığını kaybettiği ve yeşil tona kaydığı söylenebilmektedir. Bu renk değişiminin derecesi, yapılan işleme göre değişiklik göstermiştir.



Şekil 3. Numunelerin a^* değeri

Bu çalışmada elde edilen mamul kumaşların b^* değerleri de ölçülmüştür ve proses bazında çıkan sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir. CIELab renk uzayında ölçülen bu değer, kumaş renginin sarı veya mavi değerlerini göstermektedir. P2-P11 denemelerinden elde edilen numunelerin b^* değerlerine bakıldığında, P1'e göre rengin daha mavi ölçüldüğü görülmektedir. P7-P6 ve P9-P10 proseslerinde sadece hız değişkenleri farklılık göstermektedir. Test sonuçları incelendiğinde mavilik değerlerinde hıza bağlı önemli bir

değişiklik tespit edilmemiştir. Deney planı içerisinde incelenen bir diğer konu köpük aplikasyonun yapıldığı ortam ile ilgilidir. P7-P9, P2-P3 ve P5-P4 prosesleri ile üretilen numune kumaşların Şekil 4'te verilen b^* değerleri incelendiğinde, azot ortamı ile çalışmanın mavilik değerini ya değiştirmedikleri veya düşük miktarda mavi tona kayacak şekilde değiştirdikleri tespit edilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde köpük yoğunluğu, konsantrasyon, basınç değişiminin b^* değeri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 4. Numunelerin b^* değerleri

3.2. Sürtünmeye Karşı Renk Haslıği Testi Sonuçları

Bu çalışmada elde edilen kumaşların mamul ve ev yıkama sonrası formlarına kuru sürtme haslıkları ve yaş sürtme haslık testi uygulanmıştır, sonuçlar Çizelge 7’de gösterilmiştir. Proses 2-11’in renk haslıği performanslarının konvansiyonel uygulamaya (Proses 1) kıyasla daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Bu durum ağırlıklı olarak yaş haslık değerleri için daha net olarak ortaya çıkmıştır. Bu boya penetrasyonunun artışı ve boyarmaddenin elyafa daha iyi nüfuz etmesiyle açıklanabilmektedir.

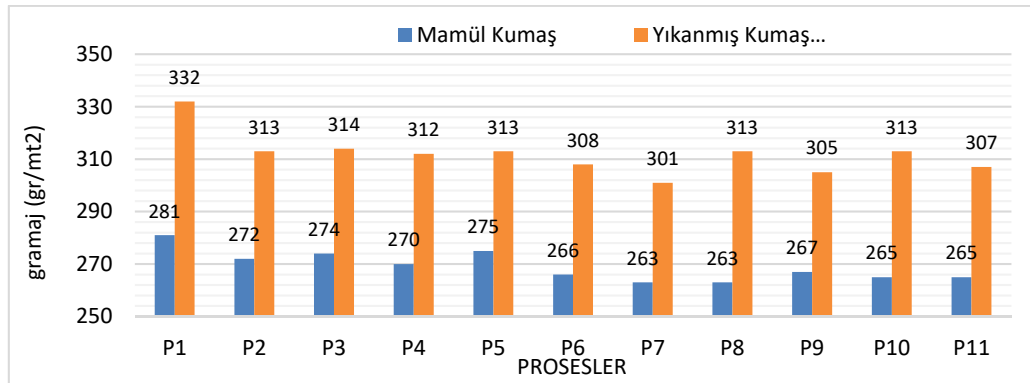
Çizelge 7. Kumaşların renk haslık değerleri

Proses no	Mamul numune		Yıkanmış numune	
	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş
P1	4	1/2	4	2
P2	4	1/2	4/5	2/3
P3	4	1/2	4/5	2/3
P4	4	2	4/5	2/3
P5	4	2	4/5	2/3
P6	3/4	2	4/5	2/3
P7	3/4	2	4/5	2/3
P8	3/4	2	4/5	3
P9	3/4	2	4/5	2/3
P10	3/4	2/3	4/5	2/3
P11	3/4	2/3	4/5	3/4

3.3. Gramaj Testi Sonuçları

Bu çalışma sonucu elde edilen kumaşların gramaj testi, mamul ve yıkanmış örnekler olarak ayrı ayrı yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 5’de gösterilmiştir.

Şekil 5 incelendiğinde, konvansiyonel prosese kıyasla, köpükle boyanan numunelerin gramaj değerlerinin değişen miktarlarda daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel nedeninin köpük uygulamasında daha az boyarmaddenin kumaşa aktarılmış olması ve köpük uygulamasının klasik slasher sisteminde olduğu gibi 10 alkali banyoya sahip olmaması gösterilebilmektedir. Şekil 5 incelendiğinde, ön işlem, köpük yoğunluğu, boyama konsantrasyonu, yıkama tekne sayısı, silindir baskı değeri ve boyama ortamının gramaj üzerinde önemli derecede etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Boyama konsantrasyonu ve boyama ortamının gramajda %1-3 arasında değişime neden olduğu, ancak bunun bilinen ± 3 değişim tolerans limitleri içerisinde kaldığı için önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır. Boyama konsantrasyonunun artışının ve atmosfer ortamında boyamanın gramajda düşük miktarda artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Köpük yoğunluğu değişkeninde ise yoğunluğu fazla olan uygulamadan elde edilen numunenin gramajı, düşük olana göre %3,2 daha yüksek çıkmıştır. Bu da tolerans limitlerine oldukça yakındır.



Şekil 5. Mamul ve yıkanmış numunelerin gramaj (gr/m²) değerleri

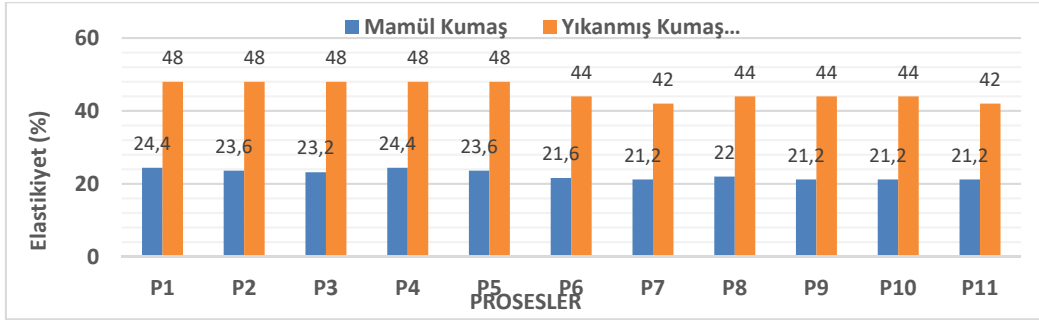
3.4 Elastikiyet Test Sonuçları

Uygulanan tüm prosesler sonucu elde edilen kumaş numunelerinin hem mamul olarak hem de ev tipi

yıkama sonrasında elastikiyet değerleri ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda çıkan değerler Şekil 6’da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde numunelerin mamul ve yıkama sonrası elastikiyet

değerleri %48 ile %42 arasında değişmiştir. Orijinal kumaşın elastikiyeti %48 iken, köpük aplikasyon yöntemleri ile boyama yapılan kumaşların elastikiyet değerleri %48 ile %42 arasında ölçülmüştür. Mamul elastikiyet değerleri ise %24

ile %21,2 arasında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla köpük uygulamaları-referans ve köpük uygulamalarının kendi içerisinde önemli farkların olmadığı yorumu yapılabilmektedir.

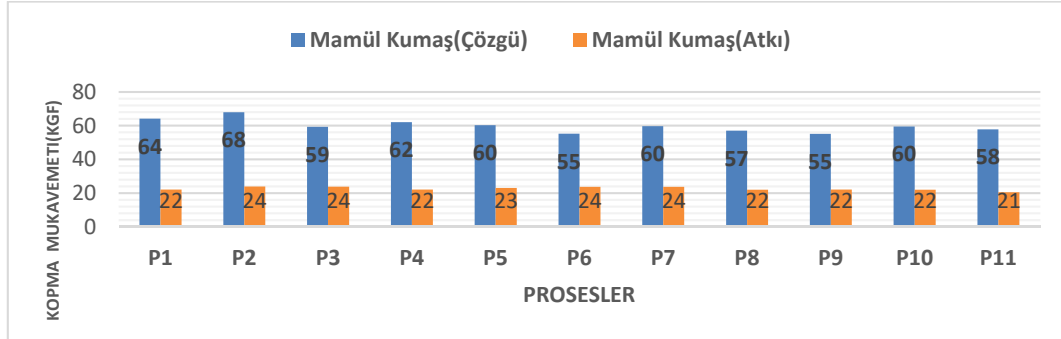


Şekil 6. Kumaşların mamul ve yıkama sonrası elastikiyetleri

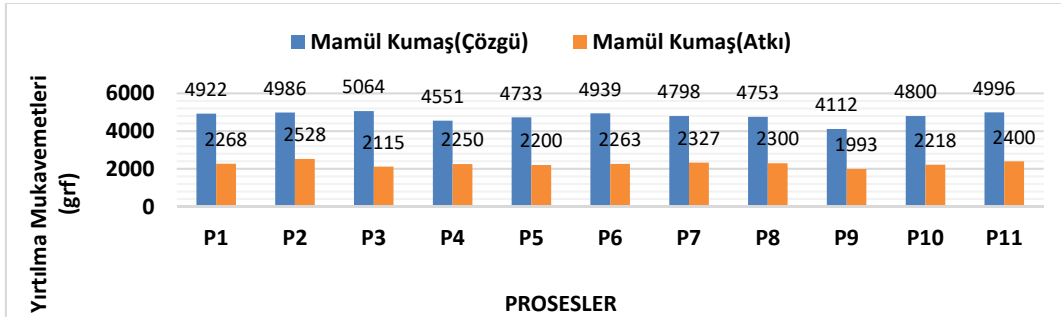
3.5. Kopma ve Yırtılma Mukavemeti Test Sonuçları

Numune kumaşların mamul formunda çözgü ve atkı kopma mukavemeti değerleri Şekil 7 de,

gösterildiği gibi proses bazlı anlamlı bir değişim görülmemiştir. Mamul formunda yırtılma mukavemeti değerleri ise Şekil 8'de gösterilmiştir. Gerek çözgü gerekse de atkı yırtılma mukavemeti değerlerinde önemli bir değişim tespit edilmemiştir.



Şekil 7. Mamul numunelerin çözgü ve atkı kopma mukavemetleri (kgf)

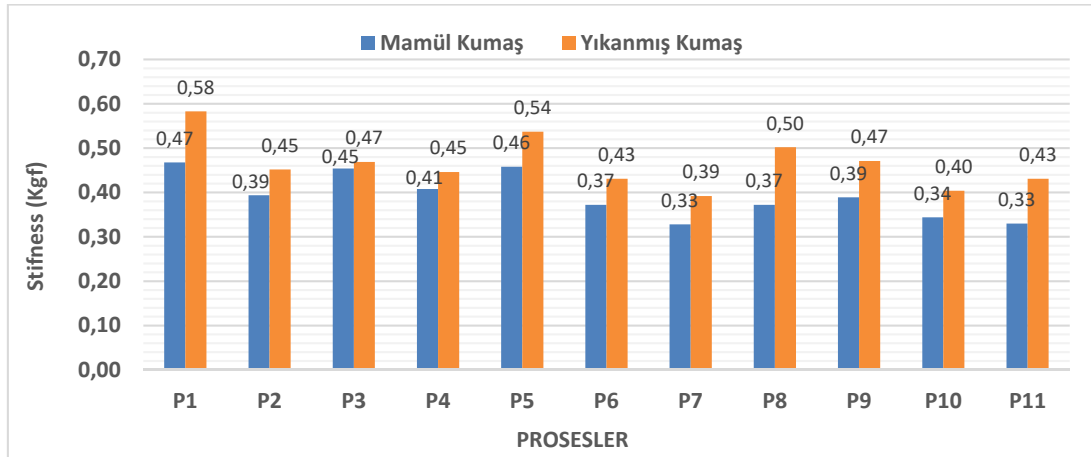


Şekil 8. Mamul numunelerin çözgü ve atkı yırtılma mukavemetleri (gf)

3.6. Sertlik (Stifness) Test Sonuçları

Hem mamul hem de evsel yıkama sonrası numunelere sertlik (stifness) testi yapılmış ve sonuçları Şekil 9'da gösterilmiştir. Test sonuçları incelendiğinde, konvansiyonel boyama yöntemine göre köpük aplikasyonu ile üretilen kumaşların sertlik değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bilindiği gibi konvansiyonel slasher boyamada çözgü iplik grubu 10 tekneye dalma hareketi yapmakta ve her seferinde üzerine sıkma ve çekme nedeniyle gerilim yüklenmektedir. Ancak köpük aplikasyonda dalma yapılan tekne tektir. Bu gerilimin kumaşın yumuşaklık değeri üzerinde olumsuzluğa neden olabileceği düşünülmektedir. Yıkama prosesinin yapılması sertlik değerini

artırmıştır. Köpük aplikasyon teknesi üzerindeki baskı silindirlerinin basınç değerlerine bağlı olarak yapılan değerlendirme incelendiğinde, tüm proseslerde düşük baskı uygulanan numunelerin sertlik değerlerinin daha az ölçüldüğü görülmektedir. Özellikle 2,5 bar baskı uygulanan P2-P3 proseslerinin sertlik değerlerinin, diğer proseslere göre yüksek olması, bu ilişkiyi daha açık bir şekilde göstermektedir. Aplikasyon esnasında kullanılan köpüğün yoğunluğuna bağlı olarak yapılan değerlendirmede ise köpük yoğunluğu fazla olan P4 ve P5 proseslerinin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Yani köpük yoğunluğu arttıkça çözgü ipliğine nüfuz eden indigo boyarmaddesi artmakta ve bu da kumaşın daha sert tutumda olmasına sebep olmaktadır.



Şekil 9. Numune kumaşların Stifness (sertlik) değerleri

3.7. Tüketim Analizi

Çalışma kapsamında geliştirilen yeni aparat ile uygulanan köpüklü sistem ile indigo aplikasyon reçetesinin, enerji, işçilik, boyarmadde – kimyasal, randıman ve atık üretimi değerleri, konvansiyonel

yöntem ile yapılan indigo boyama reçetesinin verileri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışma sonucu elde edilen veriler Çizelge 8'de verilmiştir. Hesaplamalar birim kumaş (metre) üzerinden yapılmıştır.

Çizelge 8. Tüketim analiz verileri

Parametre	Konvansiyonel yöntem	Köpük aplikasyon yöntemi
Enerji	3,2 kW/metre	2,4 kW/metre
İşçilik	1028 metre/kişi	1028 metre/kişi
Boya - Kimyasal	20 gram/metre	16 gram/metre
Randıman / Verimlilik	15 metre/dakika	20 metre/dakika
Katı atık (iplik)	13,8 gram/metre	8,08 gram/metre
Sıvı atık (kimyasal –boyarmadde)	0,06 litre/metre	0,009 lt/metre

- Enerji Tüketimi

Çalışma kapsamında geliştirilen yeni aparat vasıtası ile yapılan köpük aplikasyon sistemi ile indigo boyama yönteminin, konvansiyonel (slasher) indigo boyama sistemlerine göre enerji tüketimleri kıyaslanmıştır. Konvansiyonel yöntemde toplamda 16 boya ve yıkama teknesi kullanılıyorken, köpüklü sistemde 7 adet boya ve yıkama teknesi kullanılmıştır. Bu değişime bağlı olarak, ortalama tüketimi 4 kWh olan motorlardan 9 adet motor kullanım dışı kalmıştır. Bu da saatlik 36 kWh enerji tasarrufu sağlamaktadır. Boya tonunu daha da koyulaştırmak için 2 tekne daha eklenme olasılığını eklediğinde ise saatlik 28 kWh elektrik tasarrufu elde edilmiş olacaktır. Yani konvansiyonel yöntem ile 3,2 kW /mt , köpük yöntemi ile 2,4 kW/mt enerji tüketimi tüketimi olacaktır.

- İşçilik

Köpük aplikasyon sistem ile yapılan indigo boyama yöntemi için gerekli olan işçi sayısı, konvansiyonel yöntem ile kıyaslandığında sayısal bir değişim olmayacağı düşünülmektedir. Ancak işçi başına düşen iş yoğunluğunun daha az olacağı söylenebilmektedir. Çünkü bu sistemde makine temizliği, ek kimyasal takipleri ve hazırlanmaları ve tekne içi parametrelerinin kontrolü gibi noktalar, daha az veya hiç olmayacaktır. Her iki yöntem için bir vardiya için (yaklaşık 8 saat) birim eleman başına düşen üretim 1028 metre/kişi olarak gerçekleşmiştir.

- Boya ve kimyasal tüketimi

Köpük aplikasyon sistem ile yapılan çalışmalardan P2 ve P3 prosesleri için tüketim maliyetleri hesaplanmıştır. Köpük aplikasyonu için hazırlanan çözeltiden 1 litre ile yaklaşık 25 metre çözgü ipliği boyanmıştır. 1 litre çözeltide 300 gram, %40 lık boyarmadde bulunmaktadır. Konvansiyonel yöntem ile yapılan boyamada ise 300 gram, %40'lık boyarmadde çözeltisi ile yaklaşık 15 metre çözgü boyanabilmektedir. Bu veriler incelendiğinde birim bazında yaklaşık %65 oranında daha az boyarmadde kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ancak, köpük aplikasyonu yapılan boyamada renk derinliğinin daha açık olması, köpük uygulama

sayısının artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede 2 adet daha köpük aplikasyon aparatı eklenip ve boyarmadde tüketimleri hesaplanması gerekmektedir. Ayrıca uzun metraj çalışmaları yapılması zorunludur. Köpüklü aplikasyon ile ihtiyaç duyulan boyarmadde tüketimi konvansiyonel boyamaya göre yaklaşık %20 daha az olacağı öngörülmektedir.

- Randıman (Verimlilik)

Yapılan çalışma kapsamında elde edilen veriler incelendiğinde, köpük aplikasyon sistemi ile yapılan boyamalarda renk verilerinin en iyi olduğu hız 5 metre/dakikadır. Konvansiyonel yöntemde ise kullanılan hız 20 metre/dakika olarak verilmiştir. Yeni sistem geliştirilmeden kullanılması durumunda, üretim randımanı daha düşük olacaktır. Ancak eklenecek yeni aparatlar (özellikle köpük aplikasyon noktasının artırılması) ile üretim randımanının konvansiyonel yöntemle yakınlştırılacağı öngörülmektedir.

- Atık üretimi

Çalışma kapsamında uygulaması yapılan köpüklü sistem ile indigo boyama yönteminde üretim sırasında çıkan katı ve sıvı atıkların, konvansiyonel sisteme göre daha az olduğu görülmüştür. Özellikle boyama öncesi ve sonrasında oluşan “renkli üstübu” denilen atık iplik miktarının, boyaması 20.000 metre olan bir çözgü ipliği grubu için yaklaşık %40 daha az olacağı öngörülmektedir. Boyama sonrasında drenaja verilen boyarmadde ve kimyasal miktarı açısından incelendiğinde, 20.000 metre olan bir çözgü ipliği için yaklaşık %85 civarında bir iyileşme olacağı öngörülmektedir. Çünkü konvansiyonel yöntemde her tekne içinde bulunan 1200 litre civarındaki boyarmadde çözeltisi belli aralıklarla drenaja atılmak zorunda iken, köpüklü yöntemde bu şekilde bir atık oluşmamaktadır. Sadece köpük yapımı ve beslemesi sırasında önemsenemeyecek bir miktar kayıp oluşmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında köpük aplikasyon sistemi kullanılarak, açık en çözgü boyama (slasher)

makine üzerinde yapılan modifikasyon ile pamuk ipliğinin indigo boyarmadde ile boyanması hedeflenmiştir. Belirlenen hedef doğrultusunda bir aparat geliştirilmiştir. Yapılan yeni aparat kullanılarak indigo boyama işlemi 10 farklı deneme ile sınanmıştır. Köpük aplikasyon ile indigo boyanan çözgü ipliklerinden aynı özelliklerde kumaş üretilmiş ve aynı şartlarda terbiye edilerek mamul kumaşlar elde edilmiştir. Konvansiyonel yöntem ve köpük aplikasyonu ile boyanan 11 kumaşın gramaj, elastikiyet (%), kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti, kuru ve yaş sürtünmeye karşı renk haslığı, sertlik (stiffness) ve renk ölçüm (CIELab değerleri) testleri ile performansları belirlenmeye çalışılmıştır. İndirgenmiş formda bulunan sıvı indigonun, eklenen köpük yapıcı kimyasal ile köpük jeneratörü kullanarak köpük oluşturulabileceği görülmüştür. Ayrıca oluşan bu köpüğün yoğunluğunun, jeneratör ve eklenen köpük ajanı ile rahatlıkla değiştirilebileceği de tespit edilmiştir. Atmosferdeki hava yerine, jeneratöre bağlanan azot gazının etkisiyle, köpük oluşumu sırasında indigo boyanın yükseltgenmesi engellenmiştir. Bu çalışmada boyanan 11 farklı çözgü dokuma işletmesinde aynı makinada ve aynı parametrelerde dokunmuştur. Tüm proseslerde dokuma randımanını negatif yönde etkileyecek herhangi bir sorun ile karşılaşılmamıştır. Ayrıca dokunmuş ve mamul yapılmış kumaşların fiziksel kalite özelliklerinin de genel hatlarıyla olumsuz etkilenmediği söylenebilmektedir.

Bu çalışma sonunda konvansiyonel boyamaya göre boya ve enerji tüketiminin daha az, işçiliğin daha düşük olacağı belirlenmiştir. Ayrıca her boyama sonunda çevreye verilen zararın köpüklü sistem ile daha az olacağı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu proses için, daha sürdürülebilir bir boyama prosesi tanımı yapmanın yanlış olmayacağı söylenebilmektedir.

Köpük aplikasyon ile indigo boyama yapılan 10 farklı proses incelendiği zaman, hem test sonuçları açısından hem de boyama esnasında yapılan gözlemler bakımında olumlu sonuçlar olduğu gibi, geliştirmeye açık negatif verilerin de olduğu tespit edilmiştir. Özellikle renk derinliğinin (özellikle L* ve b*) geliştirilmesi gereken en önemli performans

olduğu belirlenmiştir. Köpük aplikasyonda, emdirme metoduna göre düşük miktarda boyarmadde ipliğe aktarılmaktadır. Bunun ilk nedeni daha düşük pick-up değerinde aplikasyon yapılması, diğeri ise 10 tekne yerine tek tekne kullanılmasından kaynaklı, iplik dalma sayısı ve süresinin düşmesidir. Bu halka efektinin oluşması ve renk derinliği açısından problem teşkil ettiği ispatlanmıştır. Bunu çözebilmek için boyarmadde konsantrasyonunun artması ve köpük aplikasyon tekne sayısının artırılması önerileri sunulabilmektedir. Fiziksel performans açısından sonuçlar irdelendiğinde köpük-konvansiyonel uygulamalar veya köpük aplikasyonun kendi arasında önemli bir fark tespit edilmediği belirlenmiştir. Bu açıdan konu incelendiğinde, köpük aplikasyonun slasher boyama makinesi üzerinde yapılacak modifikasyonlarla iyi bir alternatif olacağı düşünülmektedir.

5. REFERANSLAR

1. Toksöz, M., Mezarcıöz, S., 2013. Denim Kumaşlara Uygulanan Özel Yıkama Uygulamaları. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(2), 141-147.
2. Yavuz, S., 2016. %100 Pamuklu İpliklerin Denim Sektörü için Köpük Aplikasyon Yöntemi ile Renklendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı. Kahramanmaraş.
3. Kadem, F.D., Bakırcı, G.G., 2016. Denim Kumaşların Dikiş Performansları Üzerine Deneysel Bir Çalışma. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(1), 143-148.
4. Oğulata, R.T., Nergis, A., 2016. Rins Yıkamanın Denim Kumaş Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 421-435.
5. Kadem, F.D., Tölek, Ş., 2016. Kaplamalı Denim Kumaşlarda Performans Özellikleri Üzerine Deneysel Bir Çalışma. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 307-315.

6. Oğulata, R.T., Nergis, A., 2017. Farklı Yıkamaların Denim Kumaş Performansının Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(4), 87-98.
7. Sarker, M.E., Mezarcıöz, S., 2023. The Effects of Several Washings on Some Comfort Features of Denim Fabrics Made Cotton and Coolmax Weft Yarns with and without Elastan. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 38(4), 1151-1159.
8. Luo, Y., Pei, L., Wang, J., 2020. Sustainable Indigo Dye and Improvement Rubbing Fasteness of Dyed Cotton Fiber Using Different Fixing Agents for Optainning Eco Friendly Cowboy Products. Journal of Cleaner Production, 251(2020), 119728
9. Yi, C., Tan, X., Bie, B., Ma, H., 2020. Practical and Environment-Friendly Indirect Electrochemical Reduction of Indigo Dyeing. Scientific Reports, 10, 4927.
10. Li, X., Wang, K., Wang, M., Zhang, W., Yuo J., 2020. Sustainable Electrochemical Dyeing of Indigo with Fe(II) Based Complexes. Journal of Cleaner Production. 276(2020), 123251.
11. Mezarcıöz, S., Sırlıbaş, S., 2021. Denim Kumaşlara Çevre Dostu Ön Terbiyesiz Boyama Metodunun Uygulanması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(4), 1127-1135.
12. Rai, S., Saremi, R., Sharma, S., Minko, S, 2021. Environment – Friendly Nanocellulose – Indigo Dyeing of Textiles. Royal Society of Chemistry, July-2021.
13. Wu, M., Chen, Y., Peng, P., Zuo D., Wing Q., Liu, L., Liao, S., 2022. Optimization of Dark Dyeing Poly (Lactic Asid) with Indigo Dyes Applied to Denim Fabric. The Journal of Textile Institute. 114(3), 455-461.
14. Mohsin, M., Sardar, S., 2020. Development of Sustainable and Cost Efficient Textile Foam Finishing and Its Comparison with Conventional Padding. Cellulose, 27,4091-4107.
15. Abate, M.T., Tadesse, M.G., 2021. Airflow, Foam and Supercritical Carbon Dioxide Dyeing Technologies. Ethiopian Institute of Textile and Fashoin Technology. Bahir Dar University, Bahir Dar, Ethiopia.
16. Cohen, N.S., 2021. Analysis of Reactive Dyes on Pretreated Fabric for Foam Dyeing. A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in Partial Fulfilment of The Requirement for the Degree of Master Science.
17. Zhu, D., Wan, Z., Liao, S., Wang, Q., Liu, L., Yi, C., 2022. Foaming Indigo: An Efficient Technology for Yarn Dyeing. Dyes and Pigments 197(2022), 109862.
18. Mohsin, M., Sardar, S., Shehzad, A., Anam, W, İjaz, S., Afraz, N., Jamil, A., 2023. Performance Enhancement of Water and Energy Efficient Foam Dyeing and Finishing Through Different Foaming Agents. Journal of Natural Fibers. 20(1), 216.