



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



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

Mono ve Bi-Fonksiyonel Reaktif Boyarmaddelerle Pamuklu Kumaşların Boyanmasında Tuz Kullanımının Azaltılması ve Organik Tuz Kullanımının Araştırılması

Reducing Salt Use in Dyeing of Cotton Fabrics with Mono and Bi-Functional Reactive Dyes and Investigation of Organic Salt Use

Canan USTA^{1*}, Gülay ÖZCAN¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):30 Haziran 2021 (30 June 2021)

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

Canan USTA, Gülay ÖZCAN (2021): Mono ve Bi-Fonksiyonel Reaktif Boyarmaddelerle Pamuklu Kumaşların Boyanmasında Tuz Kullanımının Azaltılması ve Organik Tuz Kullanımının Araştırılması, Tekstil ve Mühendis, 28: 122, 100-109.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/1300759920212812204>

Arastırma Makalesi / Research Article

MONO VE Bİ-FONKSİYONEL REAKTİF BOYARMADDELERLE PAMUKLU KUMAŞLARIN BOYANMASINDA TUZ KULLANIMININ AZALTILMASI VE ORGANİK TUZ KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Canan USTA^{1*}
Gülşay ÖZCAN¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 03.03.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 21.06.2021

ÖZ: Reaktif boyarmaddeler, sahip oldukları yüksek haslık, uygun maliyet ve geniş renk gamı avantajları nedeniyle tekstilde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak, bu boyarmaddelerin uygulanması, yüksek oranda çözünmüş katı madde ve atık su yükü gibi çevresel olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelmek için, reaktif boyarmaddeler, boyama makineleri ve pamuk lifinin modifikasyonu ve ekolojik atık su arıtma işlemi gibi konularda farklı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada, reaktif boyamadaki çekim, fikse ve yıkama adımları göz önünde bulundurularak, yüksek fikse verimine sahip boyarmaddelerle boyama ve inorganik tuzlar yerine biyo-bozunur özellikteki organik tuzların kullanımıyla ekolojik reaktif boyama işleminin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Atık sudaki fikse olmamış boyarmadde miktarının önemli ölçüde azaltılması ve boyarmadde çekiminin artmasıyla daha yüksek boyama verimi elde edilmesinin, boyama sürdürülebilirliğine büyük yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada, farklı yapı ve fonksiyonellikte 3 farklı reaktif boyarmadde (Reactive Red 180, Reactive Red 24, Reactive Red 195) kullanılmış ve inorganik tuz (NaCl) yerine 4 farklı organik tuz (sodyum sitrat, NTA, glutamat, poliakrilik asit sodyum tuzu) alternatifinin farklı konsantrasyonlarında boyama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tuz ve su kullanımını minimize edecek ve çevre dostu reçeteler oluşturulmaya çalışılmıştır. Ekolojik boyamalar sonucu elde edilen veriler, NaCl kullanılarak yapılan klasik boyama işlemiyle karşılaştırılmıştır. Boyama sonrası her bir kumaş numunesinin renk verimleri ölçülmüştür. Elde edilen sayısal değerler, SPSS ve Minitab yazılımlarında analiz edilerek istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; boyamada düşük konsantrasyonda trisodyum sitrat ve glutamat organik tuzlarının kullanımı olumlu sonuçlar vermiş, klasik boyamaya göre daha yüksek boyama verimi elde edilmiştir. Klasik boyama işlemine göre daha az kimyasal madde tüketilerek ve organik tuz kullanılarak etkili boyamalar yapılabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Reaktif boyama, sürdürülebilirlik, biyo-bozunur tuz, çektirme, pamuk

REDUCING SALT USE IN DYEING OF COTTON FABRICS WITH MONO AND BI-FUNCTIONAL REACTIVE DYES AND INVESTIGATION OF ORGANIC SALT USE

ABSTRACT: Reactive dyestuffs are widely used in textile industry due to their high fastness, affordable cost and wide color range advantages. However, the application of these dyestuffs causes environmental problems such as high total dissolved solids and wastewater load. In order to overcome these problems, different studies have been carried out on the modification of reactive dyestuffs, dyeing machines or cotton fiber and ecological wastewater treatment. In this study, considering the exhausting, fixing and washing steps in reactive dyeing, dyeing with dyestuffs with high fixation yield and using biodegradable organic salts instead of inorganic salts is aimed to conduct ecological and sustainable reactive dyeing. It is thought that significantly reduce in the amount of unfixed dyestuff in wastewater and increase in color yield by higher dye exhaustion will greatly benefit sustainability. In the experimental study, 3 reactive dyestuffs (Reactive Red 180, Reactive Red 24, Reactive Red 195) with different structures and functionalities were used and dyeing processes were carried out with different concentrations of 4 different organic salt (trisodium citrate, NTA, glutamate, polyacrylic acid sodium salt) alternatives instead of inorganic salt (NaCl). Environmentally friendly dyeing recipes were generated to minimize the salt and water consumption. The color data obtained from ecological dyeing were compared with the classical dyeing process used NaCl. After dyeing, color yields of each sample were measured and the obtained numerical values were analyzed in SPSS and Minitab software and evaluated statistically. Consequently, the use of organic salts, trisodium citrate and glutamate, at lower concentrations in dyeing

imparted favorable results and higher dyeing efficiency values were obtained. Compared to the classical dyeing process, results have been indicated that efficient reactive dyeing with less waste salt load to the environment can be conducted by consuming less chemicals.

Keywords: Reactive dyeing, sustainability, bio-degradable salt, exhaustion, cotton,

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** cananusta@itu.edu.tr

DOI: <https://doi.org/10.7216/1300759920212812204> www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Tekstil üretim ve hazır giyim sektöründe aktif bir rol oynayan ülkemizde üretime bağlı olarak lif ve boyarmadde tüketimleri sürekli yükselmektedir. Burada en büyük tüketim payına sentetik lifler sahipken bunu geniş bir pamuk üretim alanına sahip olan ülkemizde pamuk lifi takip etmektedir. Pamuk lifinin boyanmasında reaktif boyarmaddeler dışında direkt, kükürt, azoik ve küp boyarmaddeleri de kullanılmasına rağmen sahip oldukları üstün boyama özelliklerinden dolayı reaktif boyarmaddeler, pamuklu kumaşların boyanmasında yaygın olarak kullanılan temel boyarmadde grubudur. Bununla birlikte boyama esnasında en fazla su tüketen ve çevreye zararlı atıklar oluşturan boyarmadde grubu da yine reaktif boyarmadde ve pamuk ikilisidir [1].

Pamuklu kumaşların reaktif boyarmaddelerle boyanmasında kullanılan klasik yöntemler, yüksek su tüketimi ve enerji gerektiren, yüksek maliyetli, ekolojik olmayan ve çevre kirliliği yaratan işlemlerdir. Boyama ve yıkama işlemlerinde yüksek oranlarda temiz su tüketilmektedir. Ayrıca boyama sonrasında ise banyoda kalan fikse olmamış boyarmadde ve inorganik tuzlar önemli atık yükü oluşturmaktadır [2]. Kirliletmeyi ortadan kaldırmak ve atık suyu renksizleştirmek için kullanılan kimyasallar da atıklara neden olmaktadır [3, 4]. Bu nedenle, boyama işlemindeki su, enerji, boyarmadde ve kimyasal tüketimini, atık yükünü ve atık su kirliliğini azaltmak üzere daha ekolojik ve sürdürülebilir yöntemlere gereksinim vardır. Ancak pek çok araştırmacı daha sürdürülebilir reaktif boyama işlemi için alternatif yollar geliştirmiş, yeni yöntemler ortaya koymuş olsa da, çok büyük sermaye yatırımları gerektirdiğinden bunların pek çoğu ticarileştirilememiş, akademik seviyede kalmıştır.

Reaktif boyarmaddelerle pamuklu kumaşların boyanmasıyla ilgili yapılan çalışmalar, genellikle, istenilen renk ve haslık değerlerine sahip boyamaların uygun maliyet ile gerçekleştirilmesinde yoğunlaşmaktadır. Farklı fonksiyonellikteki boyarmaddelerin geliştirilmesi, tuz kullanımının azaltılması ve atık suların geri kazanımı, su yerine başka çözücü ortamlarda veya karbon-dioksit ortamında susuz boyama yapılması [5] gibi konularda çeşitli çalışmalar literatürde önemli bir yere sahiptir. Özdemir ve Tutak çalışmalarında, %100 pamuklu kumaş, 3 farklı boyarmadde konsantrasyonu ve üçer farklı tuz konsantrasyonunda boyamıştır. Boyama sonrası elde edilen sonuçlara göre, tuz miktarının artırılması boyarmadde alımı ve hızını artırarak tüm boyama

süresinin kısalmasına yol açmıştır [6]. Ali ve diğerlerinin yürüttüğü çalışmada, haşıl sökme, ağartma ve reaktif boyama işlemi entegre edilmiş ve her işlem sonrası deşarj ban-yosu takip eden diğer işlem için kullanılmıştır. Amiloglukozida-zepullanaz enzimi kullanılarak giderilen haşıl sökme atık su deşarjı glikoz üretmek için ve glikoz oksidaz (GOx) enzimi (*Aspergillus oryzae*) hidrojen peroksit (H_2O_2) üretmek için kullanılmıştır. Ağartma işlemi sonrası banyo, kalıntı H_2O_2 'yi uzaklaştırmak ve reaktif boyama işlemi devam ettirmek için katalaz enzimi ile muamele edilmiştir. Katalaz enzimi ile ön terbiyesi yapılmış pamuklu havlu kumaşta, boyama işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Klasik yöntemle kıyasla, su tüketiminde yaklaşık % 400 ve termal enerjide % 50 potansiyel tasarruf sağlanmıştır. Tüm banyolara entegrasyonu ile, boyalı havlunun renk haslığı üzerinde herhangi bir olumsuz etki olmaksızın, klasik yöntem ile karşılaştırılabilir atık su yükü, beyazlık, hidrofilite ve klasik yöntemle göre daha düşük renk verimi (K/S) elde edilmiştir [7]. Pamuklu kumaşın ekolojik katyonik bir polimer ile kimyasal olarak değiştirildiği çalışmalarda Fang ve arkadaşları, işlem görmüş kumaşın tuz kullanılmadan boyama neticesinde gösterdiği renk haslığı ve yırtılma mukavemeti özelliklerinin, işlem görmemiş kumaşa göre daha iyi olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ortaya konan kumaşın reaktif boyarmaddelerle boyanması sonucu daha az atık yükü oluşturduğu belirtilmiştir [8]. Ayrıca, yapılan bir diğer benzer çalışmada, katyonize kumaşların reaktif boyarmaddelerle tuz kullanılmadan boyanmasında boyarmadde konsantrasyonu arttıkça, renk koyuluğunun arttığını gözlemlenmiştir [9, 10]. Siddiqui ve arkadaşları, selüloz esaslı kumaşlar, vinilsülfonmonoklorotriazin fonksiyonel gruplarını içeren hetero bi-fonksiyonel reaktif boyarmadde ile boyamıştır. Çektirme yöntemi için önemli parametreler; sıcaklık, tuz konsantrasyonu ve alkali miktarı optimize edilmiş ve etkileşimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen bi-fonksiyonel boyarmaddenin, maksimum çekim ve fikse değerlerine sahip olduğunu, yüksek haslık değerlerinin eldesine imkan verdiğini ve ayrıca ticari boyama için uygun ve etkili olduğunu göstermiştir [11]. B.J. Agrawal'ın yaptığı çalışmada, enerji verimliliğinin sağlanması için boyama esnasında sıcaklığın düşürülmesi gerektiği fikri incelenmiştir. Bu kapsamda, düşük sıcaklıklarda bis-monoklor-s-triazin reaktif boyarmaddelerin uygulanabilmesi için uygun koşulların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Boyama işlemleri, bir alkali kimyasal madde ve trietanolamin varlığında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, boyama performansının alkali kullanımı ile arttığı

belirtilmiştir [12]. Boyarmadde yapısının geliştirilmesinin yanı sıra tuz yükünü azaltabilmek için N.S.E. Ahmed'in yaptığı çalışmada, pamuğu reaktif boyarmaddelerle çektirme yöntemine göre boyamış, inorganik sodyum sülfat tuzunun yerine organik olan sodyum edat tuzu kullanılmıştır [13]. Elde edilen sonuçlar, organik bir tuz olan sodyum edatın, kumaşın boyarmadde çekimi ve fiksajı üzerinde olumlu etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Deniz suyu tuzluluğundan esinlenilerek pamuklu kumaşın terbiye işlemlerinde deniz suyunun kullanılabileceğinin öne sürüldüğü başka bir çalışmada [14] ise, deniz suyu tuzluluk derecesi ile boyamalarda tuz gereksiniminin büyük oranda azalacağı vurgulanmıştır. Çalışma neticesinde deniz suyu kullanılarak yapılan reaktif boyama işleminde, klasik boyamaya göre daha az inorganik tuz kullanılarak benzer renk derinliklerinin elde edildiği gözlemlenmiştir.

M.T. İslam, çalışmasında pamuklu kumaşın reaktif boyarmaddelerle boyanması esnasında ortaya çıkan çevre kirliliğinin azaltılması için, zararlı yardımcı kimyasallar yerine, düşük konsantrasyonda etanol kullanmıştır [2]. Çalışmada haslık özellikleri ve boyama dereceleri de kontrol edilmiştir. Reaktif boyama reçetesine etanol ilave edildiğinde yıkamada renk hashığı ve sürtme hashığı özelliklerinin değişmediği görülmüştür. Sonuç olarak, zararlı yardımcı kimyasal maddeler kullanılmadan, etanol kullanımı ile çevre dostu bir boyama işlemi önerilmiştir. Pamuklu kumaşların reaktif boyarmaddelerle boyanmasında su ve tuz tüketimini azaltmak için etanolün kullanıldığı bir diğer çalışmada [15] ise, pamuklu kumaş, önce alkali çözelti ile ön işleme tabi tutulmuş, ardından 6 farklı reaktif boyarmadde ile 90:10 (v/v) etanol- su karışımında boyanmıştır. Elektron mikros-kobu ve diğer analiz yöntemleri kullanılarak, etanolün reaktif boyarmaddelerin partikül boyutuna etkisi ve zeta potansiyeli etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Klasik yöntemlerle kıyaslandığında, tuz kullanılmadan etanol-su karışımında farklı reaktif boyar maddelerle boyanan pamuk ipliklerinin çekim, fiksaj, renk parlaklığı özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Susuz siloksanlı bir boyama sisteminde pamuklu tekstil ürünle-rinin reaktif boyarmaddelerle boyanmasının araştırıldığı bir başka çalışmada, su kullanılarak yapılan klasik boyama işlemi ile karşılaştırıldığında, reaktif boyarmaddelerin tamamının susuz boyama sistemlerinde tuz kullanılmadan pamuklu kumaşlar tarafından adsorbe edilebilmiş ve boyarmadde fiksasyonunun da yükseldiği tespit edilmiştir [16].

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, reaktif boyamada ekoloji ve sürdürülebilirliği etkileyen her bir parametrenin ele alınarak tek başına ve birlikte boyama kalitesini ve su, kimyasal ve enerji tüketimini değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla çalışmamızda, reaktif boyamada ekoloji ve sürdürülebilirliği etkileyen her bir parametre tek başına ele alınmış, parametrelerin sonuçlar üzerine etkisi hem ayrı ayrı hem de bir arada incelenerek, alternatif ürün ve yöntemler ile süreç iyileştirilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak; fikse ve çekim özellikleri daha yüksek olan bi-fonksiyonel ve multi-fonksiyonel boyarmaddelerin kullanılarak, biyo-bozunur olmayan inorganik tuzlar yerine organik tuzların kullanımı ile boyama verimliliği

daha yüksek, su ve enerji tüketimi daha az, çevreye daha az zararlı ve sürdürülebilir boyama işlemleri tasarlanabilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

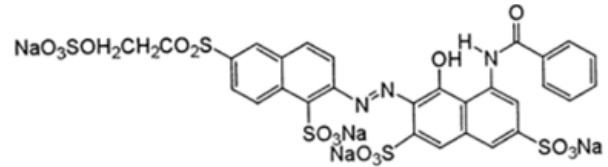
2.1. Materyal

Yapılan deneysel çalışmada %100 pamuklu penye süprem kumaş kullanılmıştır.

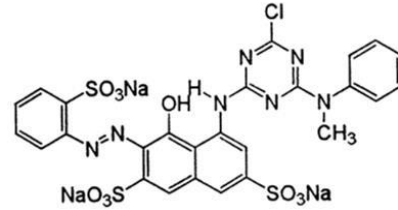
Reaktif boya olarak, farklı yapı ve fonksiyonelliklere sahip 3 farklı reaktif boyarmadde kullanılmıştır. Bu boyarmaddeler;

- C.I. Reaktif Red 180 (VS)
- C.I. Reaktif Red 24 (MCT)
- C.I. Reaktif Red 195 (MCT/VS) tir.

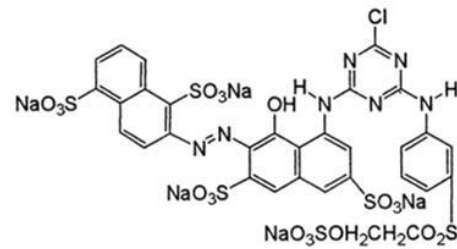
Çalışmada kullanılan boyarmaddelerin yapısı Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te sırasıyla verilmiştir.



Şekil 1. C.I. Reaktif Red 180'in kimyasal yapısı.



Şekil 2. C.I. Reaktif Red 24'ün kimyasal yapısı.



Şekil 3. C.I. Reaktif Red 195'in kimyasal yapısı.

Boyama işleminde kullanılan; inorganik tuz olan NaCl ve yerine kullanılabilecek alternatif organik tuzlar ile fiksaj için gerekli pH'ı sağlayan sodyum karbonat kimyasallarına ait yapı ve formüller Tablo 1'de sunulmaktadır.

Boyama işlemi için, Şekil 4 (a)'da gösterilen infrared (IR) ısıtma sistemine sahip Eco Dyer HT laboratuvar tipi boyama cihazı kullanılmıştır. Boyama sonrası kurutmalar, Şekil 4 (b) ile gösterilen, ATAÇ firmasının ATC-FT200 modeli olan kuru-tucuda 102 °C'de yapılmıştır.



Şekil 4. Boyama ve kurutma işleminde kullanılan makineler. (a) Boyama makinesi [17]. (b) Kurutma makinesi [18].

Laboratuvar denemeleri tamamlandıktan sonra, gerçekleştirilen boyamaların renk ölçümleri için Datacolor marka, SF850 model spektrofotometre kullanılmıştır. Tüm numunelerin ölçümleri CIELab sistemine göre 10°'lik standart gözlemci kullanılarak D65 ışığı altında yapılmıştır. Ayrıca boyama öncesi ve sonrası banyoların kıyaslanması için kuvvet ölçümleri yine aynı cihaz üzerinde, transmisyon ölçüm aparatı kullanılarak yapılmıştır.

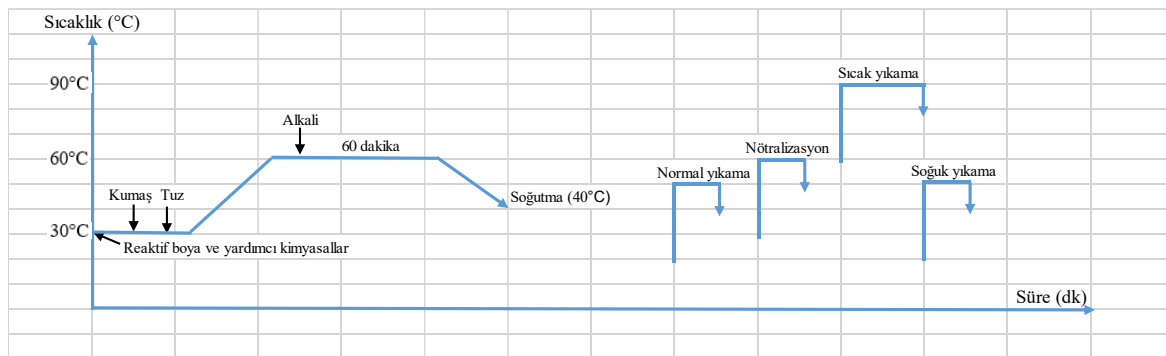
2.2. Metot

2.2.1. Prosesler

Kasar, biyoparlatma ve merserizasyon gibi ön terbiye işlemleri uygulanan numune kumaşlar, Şekil 5'te gösterilen proses ve Tablo 2'de verilen boyama reçetesine göre boyanmışlardır. Boyama sonrası renk şiddetleri ile haslık değerleri ölçülmüştür.

Tablo 1. Boyamada kullanılan kimyasallar ve özellikleri

Ticari Adı	Kimyasal Formülü	Kimyasal Yapısı
Sodyum klorür	NaCl	$[Na]^+ [Cl]^-$
Trisodyum sitrat	$Na_3C_6H_5O_7$	
Nitrotriasetik asit trisodyum tuzu (NTA)	$C_6H_6NO_6Na_3$	
Tetrasodyum N,N- bi(karboksimetil)-L- glutamat (GLDA)	$C_9H_9NNa_4O_8$	
Poliakrilik asit sodyum tuzu (PAA)	-	
Sodyum karbonat	Na_2CO_3	



Şekil 5. Boyama işlemi.

Tablo 2. Boyama reçetesi

Kimyasal	Seviye
Tuz	45 g/L (NaCl) 25- 35- 45 g/L (organik tuz alternatifleri)
Reaktif boyarmadde	%2
Alkali (Soda)	15 g/L

Laboratuvar ortamında çektirme yöntemine göre boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kumaşlar 5 g ağırlığında kesilmiş ve flotte oranı ve boyama yüzdesine göre gerekli boyarmadde ve kimyasal miktarları hesaplanmıştır. Standart tuz (NaCl) için kullanım miktarı 45 g/L olarak belirlenmiş, organik tuz alternatifleri için 25 g/L, 35 g/L ve 45 g/L olacak şekilde üçer farklı konsantras-yonda, 60°C'de 60 dakika boyama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Her ayrı deney numunesi için; banyo flotte oranı 1/10 standart alınmış, boyarmadde ve soda konsantrasyonu ile 60°C'de 60 dakika olan boyama süresi sabit tutulmuştur. Farklı organik tuzlar ve farklı konsantrasyonları kullanılarak değişikliklerin boyama verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Boyama sonrası ayrı numunelerin yıkamaları aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır.

- Taşar yıkama (30°C- 10 dakika)
- Asetik asit ile nötralizasyon (1 g/L, pH:5-6, 60°C- 10 dakika)
- Yıkama (80°C- 10 dakika)
- Anyonik deterjanla yıkama (1 g/L, 95°C- 10 dakika)
- Yıkama (80°C- 10 dakika)
- Soğuk durulama (30°C- 10 dakika)

Numune kumaşların boyama işlemleri tamamlandıktan sonra, spektrofotometrede (Datacolor SF850) absorpsiyon değerleri ölçülmüştür. Kubelka-Munk eşitliği (1) kullanılarak renk koyuluğu (K/S değerleri) hesaplanmıştır.

$$K/S = (1 - R^2)/2R \quad (1)$$

R = Maksimum absorpsiyon dalga boyundaki reflektans değeri

K = Absorpsiyon katsayısı

S = Saçılma katsayısı

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen renk verimliliği sonuçlarının sayısal olarak dağılımları, IBM SPSS Statistics ve Minitab yazılımlarında analiz edilmiştir.

2.2.2. Haslık testleri

Boyanmış kumaşlara, TS EN ISO 105-C06:2010'a göre deterjanlı yıkamaya karşı renk haslığı testi, TS EN ISO 105-E01:2013'e göre su haslığı testi ve TS EN ISO 105-X12:2016'ya göre krokmeter cihazı ile sürtme haslığı testi uygulanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; farklı yapı ve özelliklere sahip 3 farklı reaktif boyarmadde grubu ele alınarak organik tuz kullanımının boyama verimine etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, test edilen numuneler; %2 oranında mono-fonksiyonel vinilsülfon grup içeren ve lif ile katılma reaksiyonu veren C.I. Reaktif Red 180, mono fonksiyonel triazin grup içeren ve lif ile yer değiştirme reaksiyonu veren C.I. Reaktif Red 24, bi-fonksiyonel vinilsülfon

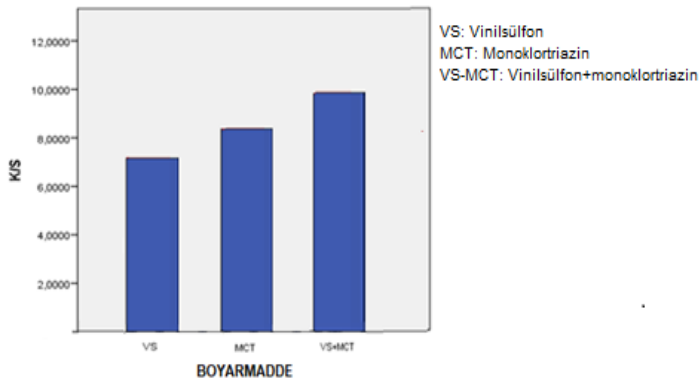
ve triazin gruplarını içeren ve lif ile yer değiştirme reaksiyonu veren C.I. Reaktif Red 195 3 farklı reaktif boyar-madde grubu ile boyanmıştır. Boyamalarda; NaCl ile boyanan kumaşlar standart olarak ele alınmış, deneylerde boyanmış diğer numuneler renk verimliliği açısından bu kumaş ile kıyaslanmıştır.

Reaktif boyarmadde ile selülozik lif arasında, bir alkalinin varlığında, kimyasal reaksiyonla kovalent bağ oluşmaktadır. Bu reaksiyon boyarmaddede bulunan reaktif grup ile selülozun hidroksil (-OH) grupları arasında gerçekleşmektedir. Reaktif gruplar, selüloz ile olan reaksiyon mekanizmalarına göre; nükleofilik yer değiştirme reaksiyonu verenler ve nükleofilik katılma reaksiyonu verenler olmak üzere temel olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Nükleofilik yer değiştirme reaksiyonu iki aşamada yürümektedir. İlk olarak, lifin fonksiyonel grubu bazik ortamda katalizlenmekte ve reaktif grubun elektrofilik merkezine katılmaktadır. Sonrasında nükleofilik yapıdan bir başka grubun ayrılması gerçekleşmektedir. Reaksiyon sonunda elyaf ile boyarmadde arasında bir ester bağı oluşmaktadır. Nükleofilik katılma reaksiyonunda ise, önce alkali ile katalizlenen bir ayrılma reaksiyonu, ardından yine alkaliyle katalizlenen bir katılma reaksiyonu gerçekleşmektedir. Reaksiyon sonucunda elyaf ile boyarmadde arasında eter bağı meydana gelmektedir. Boyarmaddenin reaktif gruba bağlı olarak elyaf ile gerçekleştirilen kimyasal reaksiyon çeşidi farklılaşmaktadır. Triazinil türevleri ve diğer heterosiklik grupları içeren boyarmaddeler lif ile nükleofilik yer değiştirme reaksiyonu verebilirken, vinilsülfon grup içeren boyarmaddeler lifle katılma reaksiyonu vermektedir.

Reaktif boyarmaddelerin selülozik lif ile reaksiyona girme koşulları ve mekanizması, boyarmaddedeki grupların reaktiflik derecesine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle reaktif boyarmaddenin reaktivitesi boyama verimliliği üzerinde çok önemli etkiye sahiptir. Yapılan ANOVA analizleri, boyarmadde yapısının renk verimi üzerinde önemli (p < 0.01) ve anlamlı (R²:0.81) bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir [19]. İçerdikleri farklı reaktif gruplar nedeniyle, kullanılan farklı boyarmaddelerle elde edilen renk verimleri arasındaki ilişki incelenmiş ve sonuçlar Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilde belirtilen 'VS' vinilsülfon reaktif grubunu içeren boyarmaddeyi, 'MCT' monoklortriazin reaktif grubunu içeren boyarmaddeyi, 'VS-MCT' ise yapısında hem vinilsülfon hem de monoklortriazin reaktif gruplarını içeren bi-fonksiyonel reaktif boyarmaddeyi temsil etmektedir. Yapılan bu kıyaslamada, üç farklı boyarmadde grubunun, %2 boyarmadde konsantrasyonunda, 45 g/L inorganik tuz (NaCl) ve 15 g/L soda kullanılarak gerçekleştirilen standart boyama koşullarında elde edilen renk verimleri esas alınmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek boyama verimliliğinin VS-MCT bi-fonksiyonel boyarmaddelerle, en düşük renk kuvvetinin ise VS mono-fonksiyonel boyarmaddelerle elde edildiği görülmektedir. Bu bağlamda, vinilsülfon fonksiyonel grubuna sahip boyarmaddelerin reaktivitesi monoklortriazin fonksiyonel grubunu içeren boyarmaddelere göre daha yüksektir. Ancak sahip oldukları yüksek reaktivite nedeniyle daha fazla hidrolize uğramakta ve bu nedenle fikse oranları düşmektedir.

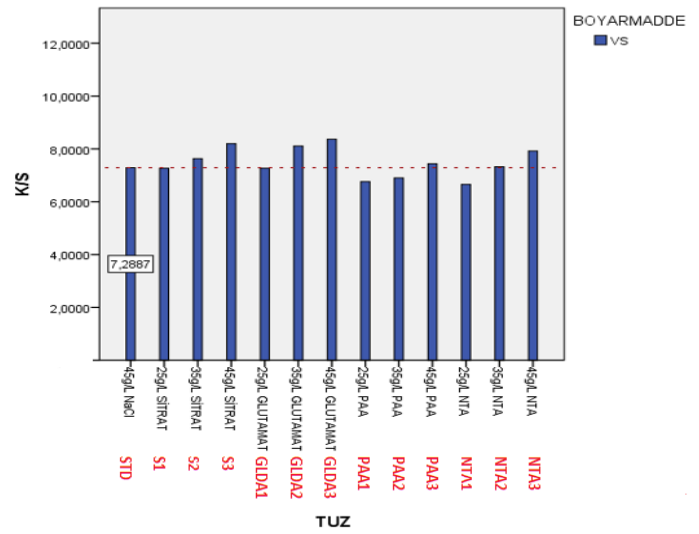
Hetero bi-fonksiyonel reaktif boyarmaddelerin pamuk liflerine afinitesi mono-fonksiyonel boyalara kıyasla daha yüksektir. VS-MCT karışımı bi-fonksiyonel boyaların avantajı, içerdikleri MCT grup sayesinde yüksek fikse değerlerine sahip olmalarıdır. Hem VS hem de MCT grubu sayesinde, diğer boyarmaddelere göre daha kontrollü bir reaktivite göstermekte ve daha az hidroliz problemi ile karşı karşıya kalmaktadır [20].



Şekil 6. Boyarmadde yapı ve fonksiyonelliklerinin boyama verimi üzerine etkisi.

Pamuk liflerinin reaktif boyarmaddelerle boyanması esnasında, boyarmaddenin verimli uygulanması için önemli miktarda inorganik tuz ve alkali kullanılması gerekmektedir. Bu tuzlar ve alkaliler, atık suya deşarj edildiğinde, çevre kirliliğine yol açan yüksek miktarda toplam çözünmüş katı (TDS) üretimine neden olmaktadır. Bu sorunu azaltmak için birçok çevresel yaklaşım üzerinde çalışılmıştır. İnorganik tuz ve alkali yerine organik tuzların kullanılması bu yaklaşımlardan birisidir [21]. Bu çalışma, inorganik tuz yerine biyolojik olarak parçalanabilen 4 farklı organik tuzun kullanıldığı araştırmaların sonuçlarını sunmaktadır. Bu tuzlar; trisodyum sitrat (S), tetrasodyum N,N-bi(karboksimetil)-L-glutamat (GLDA), trisodyum nitritotriasetat (NTA), poliakrilik asit sodyum tuzu (PAA) dur. 25 g/L, 35g/L ve 45g/L olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda kullanılan bu tuzlar kullanım miktarlarına göre sırasıyla 1, 2, 3 olarak numaralandırılmıştır. 3 farklı konsantrasyonda organik tuzun kullanıldığı numunelerin boyama sonrası renk verimleri, her bir boyarmadde için ayrı ayrı olacak şekilde, inorganik tuz ile boyanmış standart numune ile kıyaslanmıştır. VS yapıdaki Red 180 boyası için elde edilen sonuçlar Şekil 7’de belirtilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, klasik boyama işlemine göre, S1(25 g/L trisodyum sitrat), GLDA1 (25 g/L glutamat) ve NTA2 (35 g/L nitritotriasetik asit sodyum tuzu) tuzları ile daha düşük miktarda tuz kullanılarak daha yüksek renk verimlilikleri elde edilebileceğini göstermiştir. Sitrat ve glutamat tuzlarının yüksek konsantrasyonlarında ise klasik boyamaya göre elde edilen renk verimliliğinin çok arttığı gözlenmiştir. PAA1 ve PAA2 tuz kullanımlarında renk verimi açısından tatmin edici sonuçlar elde edilemediği fakat yüksek konsantrasyonda (PAA3) kullanımında renk veriminin arttığı görülmüştür.



Şekil 7. C.I. Reactive Red 180 boyarmaddesi için organik tuz alternatiflerinin renk verimi üzerine etkisi.

Bu boyarmadde grubu için klasik boyamaya göre renk verimliliği açısından en yüksek renk verimliliği GLDA3 kullanımı ile elde edilmiştir. Bu durumun GLDA tuzunun sulu ortamdaki iyonik kuvvetinin ve pH stabilitesinin diğer tuzlara kıyasla daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca artan GLDA konsantrasyonlarıyla birlikte, boyarmadde- lif arasındaki itmenin etkili bir şekilde azaltılarak boyarmaddenin lif tarafından alınmasının artması dolayısıyla daha yüksek renk verimliliklerinin elde edilebildiği bilinmektedir. S2 ve GLDA2 kullanımının da klasik boyamalara göre yüksek renk derinliği verdiği görülmektedir.

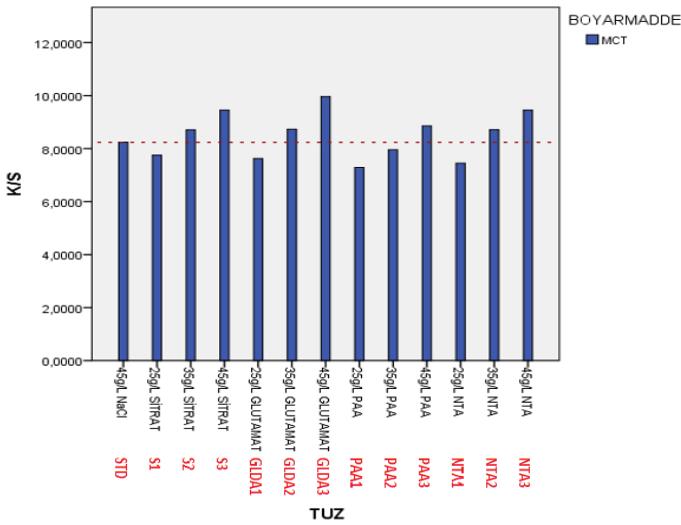
Ayrıca organik tuz alternatifleri ile yapılan boyama sonucu elde edilen yıkama, su ve sürtme haslıkları klasik boyamanınki ile benzer neticeler vermiştir, sonuçlar motive edicidir. PAA ve NTA tuzlarının düşük konsantrasyonlardaki kullanımlarında ise su ve sürtme haslıklarında yarım puan geri kaldığı Tablo 3’de görülmektedir. Bu durumun PAA ve NTA tuzlarının düşük konsantrasyonlarda boyarmaddenin lif tarafından çekimi üzerinde diğer tuzlara göre daha az etkili olması ve bu nedenle banyoda kalan fikse olmamış/ hidrolize boyarmadde miktarının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Monoklorotriazin tipi C.I. Reactive Red 24 boyarmaddesi için farklı organik tuz alternatiflerinin farklı miktarlarda kullanımının elde edilen renk verimine etkisi Şekil 8’de verilmiştir.

C.I. Reactive Red 24 (mono fonksiyonel) boyası ile elde edilen sonuçlar klasik boyama işlemine göre, S2, GLDA2 ve NTA2 tuzları ile daha yüksek renk verimliliklerinin daha düşük miktarda tuz kullanılarak elde edilebileceğini göstermiştir. Sitrat, GLDA ve NTA tuzlarının yüksek konsantrasyonlarında ise klasik boyamaya göre elde edilen renk kuvvetinin çok arttığı gözlenmiştir. Düşük konsantrasyonlarında (25 g/L) ise yeterli renk veriminin elde edilemediği görülmüştür. PAA1 ve PAA2 tuzları ise renk verimi açısından tatmin edici sonuçlar vermemiş fakat 45 g/L’de (PAA3) renk veriminin arttığı gözlenmiştir.

Tablo 3. VS tip boyarmaddenin farklı organik tuzlar ile boyanmasında elde edilen renk haslık değerleri

PROSES	SU HASLIĞI			SÜRTME HASLIĞI		YIKAMA HASLIĞI (40°C)		
	Renk Değişimi (Ch)	Pamuk Kirlenme (CO)	Yün Kirlenme (WO)	Kuru	Yaş	Renk Değişimi (Ch)	Pamuk Kirlenme (CO)	Yün Kirlenme (WO)
Standart boyama	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
S1	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
S2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
S3	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
GLDA1	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
GLDA2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
GLDA3	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
PAA1	4	4	4	4	4	4-5	4	4-5
PAA2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
PAA3	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
NTA1	4	4	4-5	4	4	4-5	4-5	4-5
NTA2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
NTA3	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5

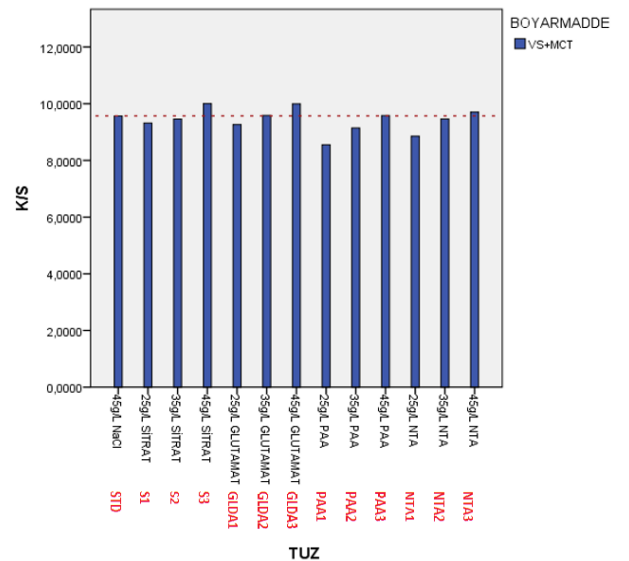
**Şekil 8.** C.I. Reactive Red 24 boyarmaddesi için organik tuz alternatiflerinin renk verimi üzerine etkisi.

Bu boyarmadde grubu için klasik boyamaya göre renk verimliliği açısından en yüksek renk verimliliği GLDA3 ile elde edilmiştir. S2, GLDA2, NTA2 kullanımının da klasik boyamalara göre yüksek renk derinliği verdiği görülmektedir.

Ayrıca, organik tuz alternatifleri ile yapılan boyama sonucu elde edilen yıkama, su ve sürtme haslıkları klasik boyamanınki ile benzer neticeler vermiştir, sonuçlar motive edicidir (Tablo 4). PAA tuzunun düşük konsantrasyonlardaki kullanımında su haslığında yarım puan geri kaldığı, sitrat tuzunun yüksek konsantrasyonda kullanımında ise sürtme haslığının yarım puan yükseldiği görülmüştür. Bu durumun PAA tuzunun düşük konsantrasyonlarda boyarmadde çekimi üzerinde diğer tuzlara

göre daha az etkili olması ve bu nedenle banyoda kalan fikse olmamış/ hidrolize boyarmadde miktarının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sitrat tuzunun ise yüksek konsantrasyonlarda boyarmadde çekim ve dolayısıyla renk verimi değerleri üzerinde yarattığı olumlu etki Şekil 8’de görülmektedir. Fakat sürtme haslık özelliklerinde meydana getirdiği artış durumunun istisnai olduğu düşünülmektedir.

Monoklorotriazin ve vinilstülfon olmak üzere yapısında iki fonksiyonel grup bulunduran C.I. Reactive Red 195 boyarmaddesi için farklı tuz alternatiflerinin farklı miktarlarda kullanımından elde edilen renk verimine ilişkin sonuçlar Şekil 9’da gösterilmiştir.

**Şekil 9.** C.I. Reactive Red 195 boyarmaddesi için organik tuz alternatiflerinin renk verimi üzerine etkisi.

C.I. Reactive Red 195 (bi- fonksiyonel) boyası ile elde edilen sonuçlar, klasik boyama işlemine göre, GLDA2 ve S2 kullanımı ile daha düşük miktarda tuz kullanarak daha yüksek renk verimlilikleri elde edilebileceğini göstermiştir. Sitrat ve GLDA tuzlarının yüksek konsantrasyonlarında ise klasik boyamaya göre elde edilen renk verimliliğinin çok arttığı gözlenmiştir. S1 ve GLDA1 tuzlarında ise yeterli renk veriminin elde edilemediği görülmüştür. NTA1, NTA2, PAA1 ve PAA2 tuzları ise renk verimi açısından klasik boyamaya göre düşük kalmakta fakat NTA3 ve PAA3 (yüksek konsantrasyon) kullanımında renk veriminin arttığı gözlenmiştir.

Bu boyarmadde grubu için klasik boyamaya göre renk verimliliği açısından en yüksek değer GLDA3 ve S3 kullanımı ile elde

edilmiştir. GLDA2 kullanımının da klasik boyamaya yakın renk derinliği verdiği görülmektedir.

Ayrıca bi-fonksiyonel boyarmadde kullanımında organik tuz alternatifleri ile yapılan boyama sonucu elde edilen yıkama, su ve sürtme haslıkları klasik boyama ile benzer neticeler vermiştir, sonuçlar motive edicidir (Tablo 5). PAA tuzunun düşük konsantrasyonlardaki kullanımında ise su haslığında yarım puan geri kaldığı, sitrat tuzunun yüksek konsantrasyonda kullanımında ise sürtme haslığının yarım puan yükseldiği görülmüştür.

Tablo 4. MCT tip boyarmaddenin farklı organik tuzlar ile boyanmasında elde edilen renk haslık değerleri

PROSES	SU HASLIĞI			SÜRTME HASLIĞI		YIKAMA HASLIĞI (40°C)		
	Renk Değişimi (Ch)	Pamuk Kirlenme (CO)	Yün Kirlenme (WO)	Kuru	Yaş	Renk Değişimi (Ch)	Pamuk Kirlenme (CO)	Yün Kirlenme (WO)
Standart boyama	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
S1	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
S2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
S3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
GLDA1	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5	4	4-5
GLDA2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
GLDA3	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
PAA1	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
PAA2	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
PAA3	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
NTA1	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
NTA2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
NTA3	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5

Tablo 5. MCT/ VS tip boyarmaddenin farklı organik tuzlar ile boyanmasında elde edilen renk haslık değerleri

PROSES	SU HASLIĞI			SÜRTME HASLIĞI		YIKAMA HASLIĞI (40°C)		
	Renk Değişimi (Ch)	Pamuk Kirlenme (CO)	Yün Kirlenme (WO)	Kuru	Yaş	Renk Değişimi (Ch)	Pamuk Kirlenme (CO)	Yün Kirlenme (WO)
Standart boyama	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
S1	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
S2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
S3	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
GLDA1	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5	4	4-5
GLDA2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
GLDA3	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
PAA1	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
PAA2	4-5	4	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
PAA3	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
NTA1	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
NTA2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5
NTA3	4-5	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5

4. SONUÇ

Bu çalışma, pamuk liflerinin boyanmasında, çok yüksek miktarlarda ve yaygın olarak kullanılan sodyum klorür inorganik tuzunun yerine alternatif kimyasalların uygulama çalışmaları yapılmıştır. İnorganik tuzlardan kaynaklanan yüksek oranda çevre kirliliği ve kaynakların tüketilmesi sorunlarının azaltılarak daha sürdürülebilir ve ekolojik reaktif boyama işleminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu problemleri azaltmak ve/veya ortadan kaldırmak için boyama prosesindeki parametreler tek tek ele alınmış ve alternatif olabilecek ürün, reçete ve yöntemler geliştirilmiştir.

Boyama banyosunda organik tuz kullanımı; mono fonksiyonel vinilsülfon grubunu içeren ve lif ile katılma reaksiyonu veren, mono fonksiyonel triazin grubunu içeren ve lif ile yer değiştirme reaksiyonu veren ve bi-fonksiyonel vinilsülfon/triazin gruplarını içeren ve lif ile yer değiştirme reaksiyonu veren 3 farklı boyarmadde tipi için, 35 g/L trisodyum sitrat ve glutamat tuzları kullanılarak yapılan boyamalarda olumlu sonuçlar vermiş, sodyum klorür inorganik tuzu ile yapılan klasik boyamaya göre daha yüksek boyama verimi elde edilmiştir.

Organik tuz kullanılmasıyla elde edilen renk haslığı değerleri incelendiğinde, inorganik tuz kullanılan klasik boyama ile benzer ve daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiş, alternatif organik tuz kullanımının reaktif boyamadaki haslık beklentisini karşılayabileceği tespit edilmiştir. Reaktif boyamada biyo-bozunur tuz kullanımı ile hem daha düşük kimyasal tüketimi hem de standart boyama ile eşit veya hatta daha yüksek renk verimliliği elde edilmiştir.

Ayrıca, çalışma kapsamında elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, fikse ve çekim özellikleri daha yüksek olan bi-fonksiyonel boyarmaddelerin, mono-fonksiyonel grup içeren boyarmadde tiplerine göre daha yüksek renk verimine sahip olduğu görülmüştür. Yürütülen çalışmadan elde edilen sonuçlar; bi-fonksiyonel reaktif boyarmaddeler ile trisodyum sitrat veya glutamat organik tuzlarının pamuk kumaşların reaktif boyarmaddeler ile boyanmasında etkili şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Can, Y., (2014), Tekstil Sektöründe Su Kullanımı ve Atık Su Yönetimi, ISEM2014, Adıyaman, Türkiye.
- Islam, M. T., (2016), Environment-friendly reactive dyeing process for cotton to substitute dyeing additives, Clean Techn. Environ Policy, vol. 18, sf. 601–608.
- Shu, D., Fang, K., Liu, X., Cai, Y., Zhang, X., Zhang, J., (2018), Cleaner coloration of cotton fabric with reactive dyes using a pad-batch-steam dyeing process, Journal of Cleaner Production, DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.080.
- Holkar, C. R., Jadhav, A. J., Pinjari, D. V., Mahamuni, N. M., Pandit, A. B., (2016), A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches, Journal of Environmental Management, vol. 182, sf. 351–366.
- Andrade, R. S., Torres, D., Ribeiro, F. R., Chiari-Andréo, B. G., Augusto, J., Junior, O., Iglesias, M., (2017), Sustainable Cotton Dyeing in Nonaqueous Medium Applying Protic Ionic Liquids, ACS Sustainable Chem. Eng., vol. 5, sf. 8756–8765.
- Ozdemir, A. O., Tutak, M., (2013), Pamuklu örme kumaşların reaktif boya ile boyanması esnasında tuz ve boyar madde miktarına bağlı olarak boyama kinetiğinin incelenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol. 29(3), sf. 200-205.
- Ali, S., Khatri, Z., Khatri, A., Tanwari, A., (2014), Integrated desizing-bleaching-reactive dyeing process for cotton towel using glucose oxidase enzyme, Journal of Cleaner Production, vol. 66, sf. 562-567.
- Fang, L., Zhang, X., Ma, J., Sun, D., Zhanga, B. ve Luana, J., (2015), Eco-friendly cationic modification of cotton fabrics for improving utilization of reactive dyes, (DOI:10.1039/c5ra05887b) RCS Advances Journal, vol. 5, no. 57, sf.45654-45661.
- Ristić, N., Ristić, I., (2012), Cationic Modification of Cotton Fabrics and Reactive Dyeing Characteristics, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, vol. 7, no. 4, sf. 113-121.
- Lewis, M. D., Lei, X., (1989), Improved Cellulose Dyeability by Chemical Modification of the Fiber, Textile Chemist and Colorist, Vol. 21(10), sf. 23-29.
- Siddiqua, U. H., Ali, S., Hussain, T., Bhatti, H. N., Asghar, M., (2017), The Dyeing Process and the Environment: Enhanced Dye Fixation on Cellulosic Fabric Using Newly Synthesized Reactive Dye, Pol. J. Environ. Stud., vol., 26, No., 5. DOI: 10.15244/pjoes/68430
- Agrawal, B. J., (2015), Sustainable and energy-efficient dyeing of hot brand reactive dyes on cotton substrat, Eastern Academic Journal, vol. 3, sf. 63-70.
- Ahmed, N. S. E., (2005), The Use of Sodium Ediate in the Dyeing of Cotton with Reactive Dyes, Dyes and Pigments, vol. 65, sf. 221-225.
- Bahtiyari, M. İ., Davulcu, A., Benli, H., (2012), Deniz Suyunun Tekstil Terbiye Proseslerinde Kullanılabilirliği, IV. Uluslararası Arge Proje Pazarı, sf. 273-274.
- Xia, L., Wang, A., Zhang, C., Liu, Y., Guo, H., Ding, C., Wang, Y., Xu, W., (2018), Environmentally friendly dyeing of cotton in an ethanol–water mixture with excellent exhaustion, Green Chemistry, The Royal Society of Chemistry, DOI: 10.1039/c8gc01814f.
- Wang, J., Gao, Y., Zhu, L., Gu, X., Dou, H. ve Pei, L., (2018), Dyeing Property and Adsorption Kinetics of Reactive Dyes for Cotton Textiles in Salt-Free Non-Aqueous Dyeing Systems, Polymers, vol. 10, 1030, doi:10.3390/polym10091030.
- <https://laborteks.com.tr/urun/numune-boyama-makinesi-eco-dyer>
- <https://www.atacmakina.com.tr/urun/numune-kurutma-dolabi-atc-ft200/>
- Usta, C., Ozcan, G., (2019), Pamuklu Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanmasında Sürdürülebilirlik ve Kaynak Tüketiminin Optimizasyonu, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Dalal, M. M., Desai, K. R., (1996), Dyeing Effects Of Bifunctional Reactive Dyes On Knitted Cotton Fabrics, American Dyestuff Reporter, vol. 85, no. 4.

21. Khatri, A., Padhye, R., White, M., Cowlshaw, K., (2010), Biodegradable organic salts for reactive dyeing of cotton, IFFTI Conference, Fashion: Sustainability and Creativity.
22. Gordon, S., Hsieh, Y.L., (2007), Cotton: Science and Technology, first ed. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, England.
23. Hauser, P. J., (2000), Reducing Pollution and Energy Requirements in Cotton Dyeing, Textile Chemist and Colorist, Vol. 32(6), sf. 44-48.
24. Yi, S. X., Dong, Y. C., Li, B., (2012), Adsorption and fixation behaviour of CI Reactive Red 195 on cotton woven fabric in a nonionic surfactant Triton X-100 reversemicelle, Coloration Technology, Vol, 128(4), pp. 306-314.
25. Çoban, S., (1999), Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri, Ege Üniversitesi Basımevi, 1. Baskı, ISBN NO: 975-483-457-1.
26. Farrell, M. J., (2012), Sustainable Cotton Dyeing, Graduate Faculty of North Carolina State University, Doktora Tezi.
27. Hsieh, Y. L., (2007), Chemical structure and properties of cotton, Cotton Science and technology, Chapter 1, University of California, USA.