



## Investigation of the effects of reactive dyes functionality on dyeing behaviors of fabrics and the environment

Tuba Toprak-Çavdur<sup>1\*</sup>, Pervin Anis<sup>2</sup>, Naime Çalışkan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Textile, Clothing, Footwear and Leather Department, Vocational School of Orhaneli, Bursa Uludag University, Bursa, 16980, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Textile Engineering, College of Engineering, Bursa Uludag University, Bursa, 16120, Türkiye

### Highlights:

- High color strengths
- High fastness values
- Highly transmittance wastewater

### Keywords:

- Sustainability
- Environmentally friendly production
- Reactive washing
- Wastewater
- Transmittance

### Article Info:

Research Article

Received: 09.12.2021

Accepted: 09.08.2022

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1034583

### Acknowledgement:

The authors would like to thank the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) TÜBİTAK TEYDEB 1505- 5180061

### Correspondence:

Author: Tuba Toprak-Çavdur  
e-mail:  
tubatoprak@uludag.edu.tr  
phone: +90 224 294 2009

### Graphical/Tabular Abstract

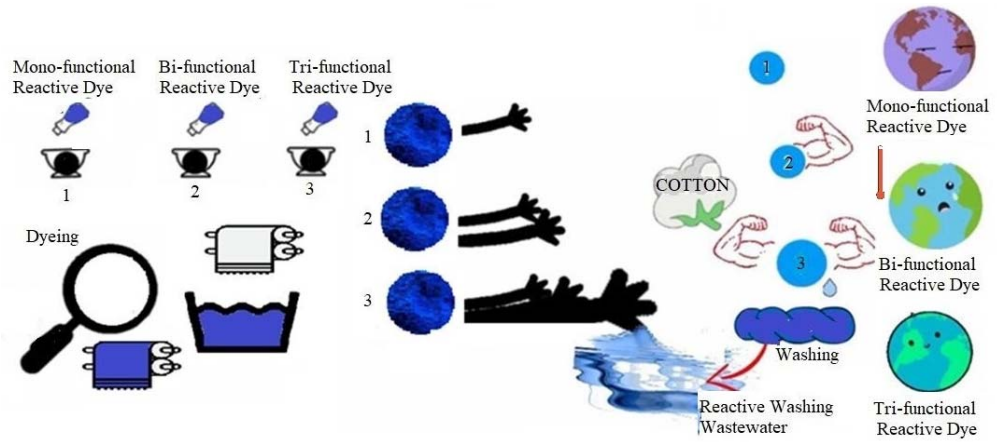


Figure A. Reducing environmental pollution with increasing reactive dyes functionality

### Purpose:

Reactive dyes are widely used in dyeing of cotton which is the most preferred natural fiber in the world. Although these dyes have many advantages such as wide color gamut, bright colors and being able to be applied in different ways, they have some disadvantages such as losing their dye properties by hydrolysis, remaining hydrolyzate in the liquor and on the fiber surface, and requiring long and costly washing processes to remove hydrolyzates. Various dyes modifications have been conducted within the scope of environmentally friendly production in reactive dyeing.

### Theory and Methods:

In this study, the dyeing behavior of cotton using dyestuffs with different functional group numbers developed for this purpose and the properties of these dyes in washing wastewater solutions were investigated. The dyeing behaviors of fabrics dyed with reactive dyes with mono-, bi- and tri-functional group numbers were evaluated by colorimeter and color strengths. The absorbance and transmittance measurements of the wastewater of all baths of the reactive washing processes were performed.

### Results:

Despite using dye at the same concentration, higher color depth and similar fastness values were obtained with tri-functional dyes compared to the others. All of the tri-functional reactive washing baths had higher transmittance values than those of the others, except for the first one. It was thought that this could have been explained by the tri-functional dye was fixed to the fiber at a higher rate than the others. In addition, the gradually increasing transmittance values of tri-functional reactive washing wastewater were interpreted as contributing to sustainability by increasing the possibility of reuse of the final wastewater baths or reducing the number of washing baths.

### Conclusion:

Predicting that similar color strength values can be obtained by using less amount of tri-functional reactive dyes than bi- and mono-functional dyes may save dye, while the gradual decrease in the coloring of washing wastewater baths may increase their reusing possibility. These situations mean less dye consumption in dyeing and less water consumption in reactive washing with the use of tri-functional dyes in reactive dyeing within the scope of sustainable and clean textile production.



## Reaktif boyarmadde fonksiyonelliğinin kumaşların boyanma davranışlarına ve çevreye etkilerinin incelenmesi

Tuba Toprak-Çavdur<sup>1\*</sup>, Pervin Anis<sup>2</sup>, Naime Çalışkan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Orhaneli Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Bursa, 16980, Türkiye

<sup>2</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bursa, 16120, Türkiye

### ÖNEÇİKANLAR

- Yüksek renk kuvvetleri
- Yüksek haslık değerleri
- Yüksek geçirgenlikteki atık sular

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 09.12.2021

Kabul: 09.08.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1034583

### Anahtar Kelimeler:

Sürdürülebilirlik,  
çevre dostu üretim,  
reaktif yıkama,  
atık su,  
transmittans

### ÖZ

Reaktif boyalar en çok tercih edilen doğal elyaf olan pamuğun boyanmasında kullanılmaktadır. Bu boyaların geniş renk gamı, parlak renkleri ve farklı şekillerde uygulanabilme gibi birçok avantajı olmasına rağmen hidrolizle boyarmadde özelliklerini kaybetmeleri, flotte ve lif yüzeyinde hidrolizat kalması ve hidrolizatları uzaklaştırmak için uzun ve maliyetli yıkama işlemleri gerektirmesi gibi bazı dezavantajları vardır. Reaktif boyamada çevre dostu üretim kapsamında çeşitli boyarmadde modifikasyonları yapılmıştır. Bu çalışmada, bu amaçla geliştirilen farklı fonksiyonel grup sayılarına sahip boyalarla pamuğun boyama davranışı ve bu boyaların yıkama atık su çözeltilerindeki özellikleri incelenmiştir. Mono-, bi- ve tri-fonksiyonel grup sayısına sahip reaktif boyarmaddeler ile boyanan kumaşların boyanma davranışları kolorimetre ve renk kuvvetleriyle değerlendirilmiştir. Reaktif yıkama işlemlerine ait tüm banyoların atık sularının absorbans ve transmittans ölçümleri yapılmıştır. Tri-fonksiyonel boyalarda aynı konsantrasyonda boya kullanılması rağmen diğerlerine göre daha yüksek renk derinliği ve benzer haslık değerleri elde edilmiştir. Tri-fonksiyonel reaktif yıkama banyolarının tümü, birincisi hariç, diğerlerinden daha yüksek geçirgenlik değerlerine sahiptir. Bu durum, tri-fonksiyonel boyarmaddenin diğerlerine göre life daha yüksek oranda fikse olması ile açıklanabileceği düşünülmüştür. Ayrıca tri-fonksiyonel reaktif yıkama atık sularının kademeli olarak artan transmittans değerleri son atık su banyolarının yeniden kullanım ihtimalini artırarak veya yıkama banyo sayısını azaltarak sürdürülebilirliğe katkı sağladığı şeklinde yorumlanmıştır.

## Investigation of the effects of reactive dyes functionality on dyeing behaviors of fabrics and the environment

### HIGHLIGHTS

- High color strengths
- High fastness values
- Highly transmittance wastewater

### Article Info

Research Article

Received: 09.12.2021

Accepted: 09.08.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1034583

### Keywords:

Sustainability,  
environmentally friendly  
production,  
reactive washing,  
wastewater,  
transmittance

### ABSTRACT

Reactive dyes are most commonly used for dyeing of cotton which is the most preferred natural fiber. Although these dyes have many advantages such as wide color gamut, bright colors and being able to be applied in different ways, they have some disadvantages such as losing their dye properties by hydrolysis, remaining hydrolyzate in the liquor and on the fiber surface, and requiring long and costly washing processes to remove hydrolyzates. Various dyes modifications have been conducted within the scope of environmentally friendly production in reactive dyeing. In this study, the dyeing behavior of cotton using dyestuffs with different functional group numbers developed for this purpose and the properties of these dyes in washing wastewater solutions were investigated. The dyeing behaviors of fabrics dyed with reactive dyes with mono-, bi- and tri-functional group numbers were evaluated by colorimeter and color strengths. The absorbance and transmittance measurements of the wastewater of all baths of the reactive washing processes were performed. Despite using dye at the same concentration, higher color depth and similar fastness values were obtained with tri-functional dyes compared to the others. All of the tri-functional reactive washing baths had higher transmittance values than those of the others, except for the first one. It was thought that this could have been explained by the tri-functional dye was fixed to the fiber at a higher rate than the others. In addition, the gradually increasing transmittance values of tri-functional reactive washing wastewater were interpreted as contributing to sustainability by increasing the possibility of reuse of the final wastewater baths or reducing the number of washing baths.

## 1. Giriş (Introduction)

Pamuk lifi, 1990'lı yıllardan günümüze kadar lif tüketiminde ilk sırayı sentetiklere vermesine rağmen en çok tüketilen doğal lif konumundadır. 2019 yılındaki lif üretimi 111 milyon ton olup bunun %23'ü pamuğa aittir. Hızla değişen moda, iyileşen yaşam şartları gibi etkenlerle tekstil ürünlerine olan talebin hızla artmaya devam etmesiyle 2030 yılında lif üretiminin %30 oranında artarak 146 milyon tona ulaşması beklenmektedir [1-2]. Dünyada pamuk lifinin boyanmasında kullanılan boyarmaddelerinin tüketimi yaklaşık 360 000 ton olup, 6 milyar dolarlık hacmi ile boya sektörünün önemli bir kısmını oluşturmaktadır [3]. Bu hacimde en yüksek paya sahip olan reaktif boyarmaddeler geniş renk gamı, yüksek yıkama haslığı ve farklı yöntemlerle uygulanabilme gibi birçok avantaja sahiptir [4-6]. Bu avantajlarına rağmen bir kilogram pamuklu materyalin reaktif boyarmadde ile boyanmasında 70-150 L su, 0,6-0,8 kg elektrolit ve 30-60 g boyarmadde kullanılması [7-9] gerekliliği reaktif boyamalar için önemli dezavantajlardır. Reaktif boyama banyosunda, negatif yüklü lif yüzeyi anyonik boyarmadde moleküllerini ittiğinden, suda çözünür anyonik yüklü reaktif boyarmadde moleküllerinin çözeltiden lif yüzeyine transferi için bir elektrolite ihtiyaç vardır. En çok tercih edilen elektrolit olan Glauber ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) veya yemeklik tuz ( $\text{NaCl}$ ), boya/lif ara yüzeyi arasında oluşan zeta potansiyelini etkin bir şekilde ortadan kaldırır [3, 10, 11]. Alkali koşullar altında selülozun hidroksil grupları ile kovalent bağlar oluşturan ve bu sayede yüksek yıkama haslığı veren reaktif boyarmaddelerin reaktif grup(lar)ı aynı zamanda banyodaki hidroksil iyonları ile de reaksiyona girerek boyarmaddenin hidrolize olmasına sebep olur. Hidrolizatın ve life fikse olmayan boyarmaddenin lifler üzerinden uzaklaştırılarak yüksek haslık değerlerinin elde edilebilmesi için reaktif boyama işleminden sonra etkili bir yıkama işlemi yapılır [11-13]. Yüksek miktarda su, zaman ve enerji tüketimine neden olan reaktif yıkama işlemleri sonunda yüksek oranda alkali, tuzlu ve renkli atık su açığa çıkar [11, 14]. Ayrıca, yüksek oranda çözülmüş katılar [15] ve adsorbe edilebilir organik halojenler [16] içeren bu atık suyun yüksek oksijen ihtiyacı [17] sürdürülebilir üretim talepleri nedeniyle "etik" tüketiciler ve çevre için büyük bir sorundur [18].

Sürdürülebilir ve yeşil üretim perspektifinden bakıldığında, ne yazık ki, yüksek konsantrasyonlarda alkali, elektrolit ve fikse olmayan/hidrolize boyarmaddeler içeren atık suların deşarjı nedeniyle reaktif boyarmadde sınıfı çevre dostu değildir [10-12]. Reaktif boyama işleminde %40'a varan hidrolizat liflere van der Waals, hidrojen bağı ve iyon-dipol kuvvetleri ile bağlanabildiği için afinitesi yüksektir. Bu nedenle hidrolize boyarmaddeler boyama sonrası çok aşamalı, zaman alıcı ve yüksek miktarda enerji tüketen yıkama işlemi ile liften uzaklaştırılarak reaktif boyarmaddelerin karakteristiği olan yüksek yıkama haslıkları elde edilir. Durulama ve sabunlama gibi çeşitli adımları içeren yıkama işlemi ve bu işlemlerden kaynaklanan atık suların artırılması da yüksek miktarda su ve enerji tüketimine neden olmakta ve reaktif boyamanın toplam maliyetinin %50'sini oluşturabilmektedir. Bu bilgiler ışığında reaktif boyamada tartışmasız en büyük sorunlardan biri su ve enerji tüketimidir [11, 21-23]. Reaktif boyamanın çevresel etkilerini azaltmak için yapılan çalışmalardan başlıcaları; (i) boyarmadde modifikasyonları ile boyarmadde-lif fikse oranının artırılması (multi-fonksiyonel boyarmaddeler) [16-18], (ii) elektrolit gereksiniminin boyarmadde modifikasyonu ile azaltılması [27-30], (iii) selüloz substratların çeşitli şekillerde yapılabilen modifikasyonlar ile katyonikleştirilmesidir [31-33]. Reaktif boyarmaddelerin fonksiyonel grup sayılarının artırılması ile iyileşen kovalent bağ yapma kabiliyetleri reaktif boyama işleminin çevresel etkilerinin azaltılmasında önemli bir yöntemdir. Literatür araştırması sonucunda farklı fonksiyonellikteki reaktif boyarmaddelerin kumaşların boyanma davranışlarına ve çevreye etkilerinin birlikte değerlendirilmesi noktasında önemli bir boşluk olduğu görülmüştür.

Bu nedenle bu çalışmada mono-, bi- ve tri-fonksiyonel reaktif boyarmaddelerle pamuklu havlu kumaşların boyanması ve çevresel etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla farklı sayıda reaktif gruba sahip boyarmaddelerin havlu kumaşların renk koordinatları ve kuvvetleri gibi boyanma özelliklerindeki ve yıkama ve sürtme haslıkları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca atık suların absorbanstans-transmitans ölçümleri ile fonksiyonel grup sayısı ile ilişkili olarak atık su kirlilikleri değerlendirilmiştir.

## 2. Deneysel Metot (Experimental Method)

### 2.1. Malzemeler (Materials)

Çalışmada kullanılan %100 pamuk dokuma havlu kumaş, zemin çözgü ipliği Ne 20/2, hav çözgü ipliği Ne 16/1 ve atkı ipliği Ne 16/1 numaralarındaki ipliklerden üretilmiştir. Ön terbiye işlemleri yapılmış kumaşın gramajı  $370 \text{ g/m}^2$ 'dir. Kumaşların boyanmasında mono-fonksiyonel *Everzol Blue C-R S/P (Blue 19)*, bi-fonksiyonel *Synozol Blue KBR (Blue 221)* ve tri-fonksiyonel *Kimsoline Navy Blue KBD Conc.* boyarmaddeleri kullanılmıştır. Boyama aşamasında kullanılan tuz ( $\text{NaCl}$ ), alkali ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve asetik asit ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) TEKKİM Kimya'dan tedarik edilmiştir. Yıkama adımıyla kullanılan sabun (*Isopon HDS-T Bozetto Group*'tan ve tampon asit (*Securon BATH3*) ise *Pulcra Chemicals*'tan alınmıştır. Boyama ve yıkama işlemleri *ATAÇ Lab Dye HT* cihazında gerçekleştirilmiş olup, absorbanstans ve transmitans ölçümleri için *Rayleigh VIS723 G* cihazı kullanılmıştır.

### 2.2. Metot (Method)

#### 2.2.1. Konvansiyonel boyama (Conventional dyeing)

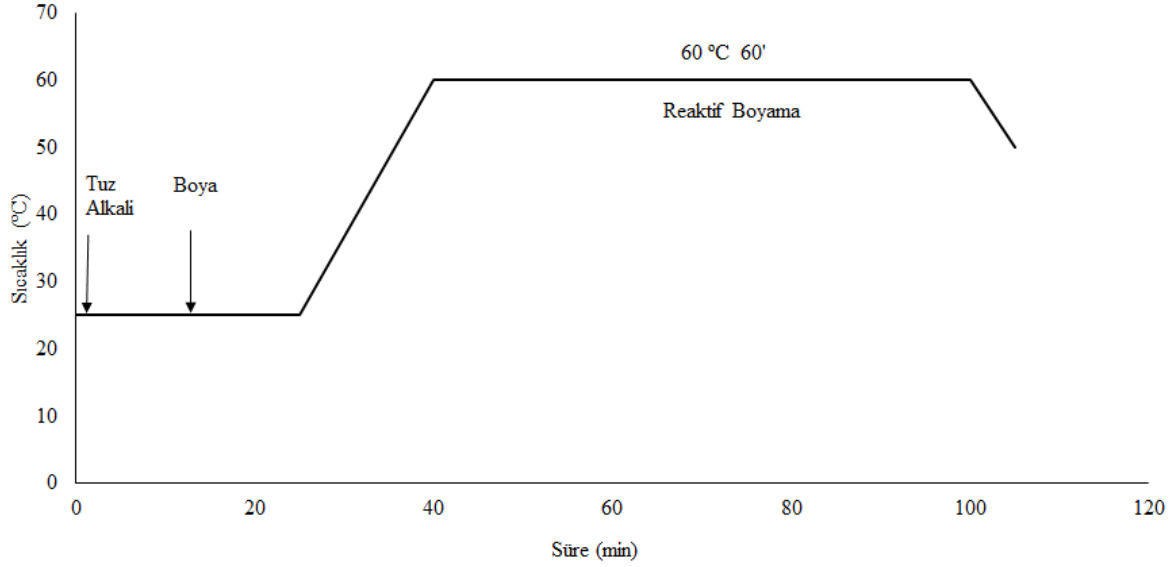
Boyama işleminde ön terbiye işlemlerine tabi tutulmuş dokuma havlu kumaşlar kullanılmıştır. Boyama işleminden önce numuneler %0,05 konsantrasyonda ıslatıcı içeren banyoda  $\text{AF}=\%100$  olacak şekilde muamele edilmiştir. Boyamaya  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta başlanmış olup, boyama çalışmaları her şeyi baştan koyma (all-in) metoduna göre yürütülmüştür. Boyama banyosuna sırasıyla tuz (30 g/L), alkali (15 g/L) ve boyarmadde (%1) ilaveleri yapılmıştır. Kumaş bu çözelti ile on dakika (min) muamele edildikten sonra banyonun sıcaklığı  $1-2^\circ\text{C}/\text{dakika}$  (min) artışla  $60^\circ\text{C}$ 'a çıkarılmış ve boyama işlemi bu sıcaklıkta 60 dakika (min) boyunca yapılmıştır. Boyama çalışmalarında 1:10 flote oranı kullanılmıştır. Konvansiyonel boyama prosesine ait detaylar Şekil 1'de verilmiştir.

#### 2.2.2. Konvansiyonel yıkama (Conventional washing)

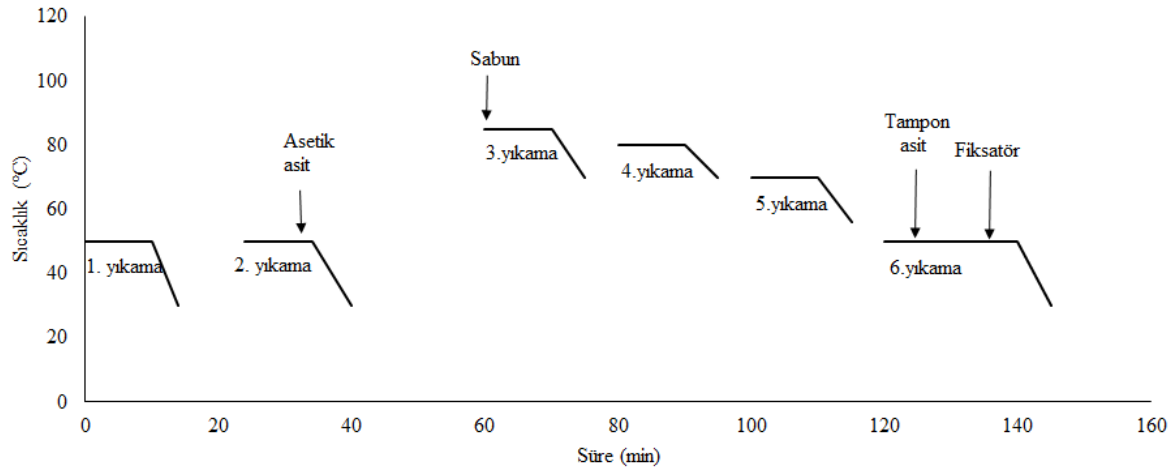
Kumaş ağırlığına göre %1 konsantrasyonda reaktif boyarmadde ile gerçekleştirilen boyamalardan sonra altı adımdan oluşan yıkama işlemi yapılmıştır. İlk banyoda  $50^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 10 dakika (min) step durulama ve aynı sıcaklıktaki ikinci banyoda asetik asitle 10 dakika (min) nötralizasyon işlemleri yapılmıştır. Üçüncü banyonun sıcaklığı  $1-2^\circ\text{C}/\text{dakika}$  (min) artışla  $85^\circ\text{C}$ 'ye çıkarılmış ve bu sıcaklıkta 10 dakika (min) deterjanla sabunlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dördüncü banyonun sıcaklığı  $80^\circ\text{C}$  olup 10 dakika (min) step ve beşinci yıkama adımıyla ise  $70^\circ\text{C}$ 'ta 10 dakika (min) taşarlı durulama yapılmıştır. Altıncı banyonun sıcaklığı  $50^\circ\text{C}$  olup bu sıcaklıkta sırasıyla 10'ar dakika (min) tampon asit ve fiksator ile toplamda 20 dakika (min) olacak şekilde step yıkama gerçekleştirilmiştir. Konvansiyonel reaktif yıkama prosesine ait detaylar Şekil 2'de verilmiştir.

#### 2.2.3. Testler (Tests)

Renk koordinatları ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  ve  $h^\circ$ ) ve reflektans değerleri Konica Minolta CM-3600D spektrofotometresinde ( $10^\circ$  standart



Şekil 1. Konvansiyonel reaktif boyama sıcaklık-süre diyagramı (Conventional reactive dyeing temperature-time diagram)



Şekil 2. Konvansiyonel reaktif yıkama sıcaklık-süre diyagramı (Conventional reactive washing temperature-time diagram)

**Tablo 1.** Reaktif boyarmadde ile boyanan kumaşlara ait renk koordinatları  
(Color coordinates of fabrics dyed with reactive dyes)

	L*	a*	b*	C*	h°
Mono-fonks.	50,01 ± 1,42	-1,68 ± 0,06	-35,43 ± 0,36	35,47 ± 0,36	267,24 ± 0,11
Bi-fonks.	44,73 ± 0,74	-2,97 ± 0,08	-26,08 ± 0,27	26,25 ± 0,27	263,45 ± 0,16
Tri-fonks.	30,96 ± 1,42	-7,80 ± 0,12	-14,77 ± 0,38	16,70 ± 0,31	242,10 ± 0,86

gözlemci ve D65 ışığı altında) ölçülmüştür. Renk kuvvetleri Kubelka-Munk eşitliğine göre belirlenmiştir. Kubelka-Munk eşitliği Eş. 1'de verilmiştir [34].

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

Reaktif boyama ve yıkama işlemleri tamamlanan dokuma havlu kumaşlara ISO 105-C06/C2S standardı ile evsel ve ticari yıkamaya ve EN ISO 105-X12 standardı ile sürtmeye karşı renk haslık testleri yapılmıştır. Reaktif yıkama banyolarına ait absorpsiyon ve transmittans değerleri, tek demetli (ışık yolu) Rayleigh UV-Vis spektrofotometre cihazında, 380-750 nm aralığında ölçülmüştür.

### 3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

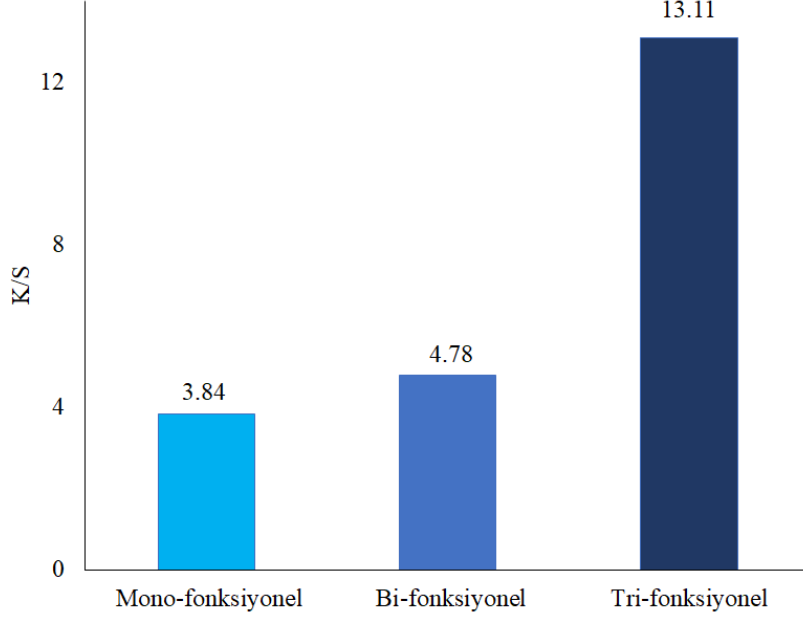
#### 3.1. Renk Koordinatları (Color Coordinates)

Mono-fonksiyonel, bi-fonksiyonel ve tri-fonksiyonel boyarmaddeler ile boyanan kumaşların renk koordinatları Tablo 1'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan boyarmaddelerin renkleri farklı olsa da renk koordinatları hakkında genel olarak bazı değerlendirmeler yapılmıştır. L\* değerlerinin boyarmaddenin artan fonksiyonelliği ile azaldığı, yani renklerin koyuluğunun arttığı saptanmıştır. Bu sonuçların Şekil 3'te verilen renk kuvvetleri ile de ters orantılı olduğu, yani en yüksek renk

derinliğine sahip numunelerin L\* değerlerinin en düşük olduğu görülmüştür. Boyarmaddelerin artan fonksiyonelliğinin numunelerin a\* ve b\* eksenleri üzerindeki etkileri incelendiğinde, renklerin

yeşilliklerinin artarken maviliklerinin azaldığı ortaya çıkmıştır. Renk açıları ise renkler arasındaki farklılığı ortaya koymuştur. Bu analiz Şekil 4'de verilen numune görselleri ile desteklenmiştir.



Şekil 3. Farklı reaktif grup sayısına sahip reaktif boyarmaddelerle boyanan kumaşların K/S değerleri (K/S values of fabrics dyed with reactive dyes with different reactive group numbers)



Şekil 4. Farklı reaktif grup sayısına sahip reaktif boyarmaddelerle boyanan kumaşlara ait görseller (Images of fabrics dyed with reactive dyes with different reactive group numbers)

### 3.2. Renk Kuvvetleri (Color Strengths)

Monofonksiyonel *Everzol Blue*, bifonksiyonel *Synozol Blue* ve trifonksiyonel *Kimsoline Navy Blue* boyarmaddeleri ile boyanan kumaşların renk kuvvetleri (K/S) ölçümlerine ait değerler Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 4'te ise kumaş görsellerine yer verilmiştir.

Her bir boyarmaddeden aynı miktarda kullanılarak gerçekleştirilen boyamaların renk kuvvetlerinin fonksiyonel grup sayısı ile orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Tri-fonksiyonel boyarmaddenin kullanıldığı boyamalardan diğerlerine göre daha yüksek renk derinliği alınmıştır. Bu durumun sebebinin artan fonksiyonellikten kaynaklanan daha yüksek miktardaki boyarmaddenin life bağlanmasının yanı sıra tinktorial kuvveti ile de alakalı olduğu düşünülmüştür. Bi-fonksiyonel boyarmadde kullanımı ise mono-fonksiyonele göre renk derinliğinde yaklaşık %24 artış sağlamıştır. Şekil 4'te boyalı kumaş numunelerine ait görseller de yukarıda bahsedilen yorumu desteklemiş, en koyu rengin tri-fonksiyonel, en açık rengin ise mono-fonksiyonel boyarmadde ile alındığı gözlemlenmiştir. Numunelerin Tablo 1'de verilen açıklık-koyuluk (L\*) değerleri ile renk derinlikleri arasında zıt bir ilişki olduğu, yani en yüksek L\* değerine sahip mono-fonksiyonel boyarmadde kullanımı ile en düşük K/S değeri elde edildiği saptanmıştır.

### 3.3. Yıkama ve Sürtme Haslıkları (Washing and Rubbing Fastnesses)

Fonksiyonel grup sayısı doğrultusunda incelenen kumaşlara ait yıkama ve sürtme haslık değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Farklı sayıda fonksiyonel grup içeren boyarmaddelerle yürütülen boyamaların yıkama haslık değerleri incelendiğinde haslıkların iyi ve mükemmel seviyesinde olduğu ve artan fonksiyonel grup sayısının haslıkları ½ puan kadar iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Kumaşların yıkamadan sonraki renk kayıplarının değerlendirildiği solma analizinde ise kumaşların renklerinin değişmediği saptanmıştır. Sürtme haslıklarının da yıkama haslıkları gibi iyi ve mükemmel seviyede olduğu, ancak tri-fonksiyonel boyarmadde ile yürütülen boyamalarda kuru sürtme değerinin yaş sürtmeden ½ puan kadar yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek yıkama ve sürtme haslık değerlerinin reaktif boyamanın karakteristiği olan lif-boyarmadde

arasındaki kovalent bağın gücünden kaynaklandığı düşünülmüştür [35].

### 3.4. Yıkama Banyolarının Absorbans-Transmitans Ölçümleri (Absorbance-Transmittance Measurements of Washing Baths)

Reaktif boyama devamında yapılan yıkamalara ait atık su çözeltilerinin absorbans ve transmitans değerleri Tablo 3'te, diğer banyoların birinci banyoya kıyasla absorbans değerlerindeki değişimin grafiği Şekil 5'te, banyoların absorbans-transmitans değerlerinin tamamı Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 7'de ise bu ölçümlerin yapıldığı banyoların görselleri mevcuttur. Mono-fonksiyonel, bi-fonksiyonel ve tri-fonksiyonel reaktif yıkama işlemlerine ait ilk banyolar en yüksek absorbans değerlerini 605 nm dalgaboyunda vermiştir. Çalışmada diğer banyoların da bu dalgaboyuna karşılık gelen değerleri dikkate alınmıştır.

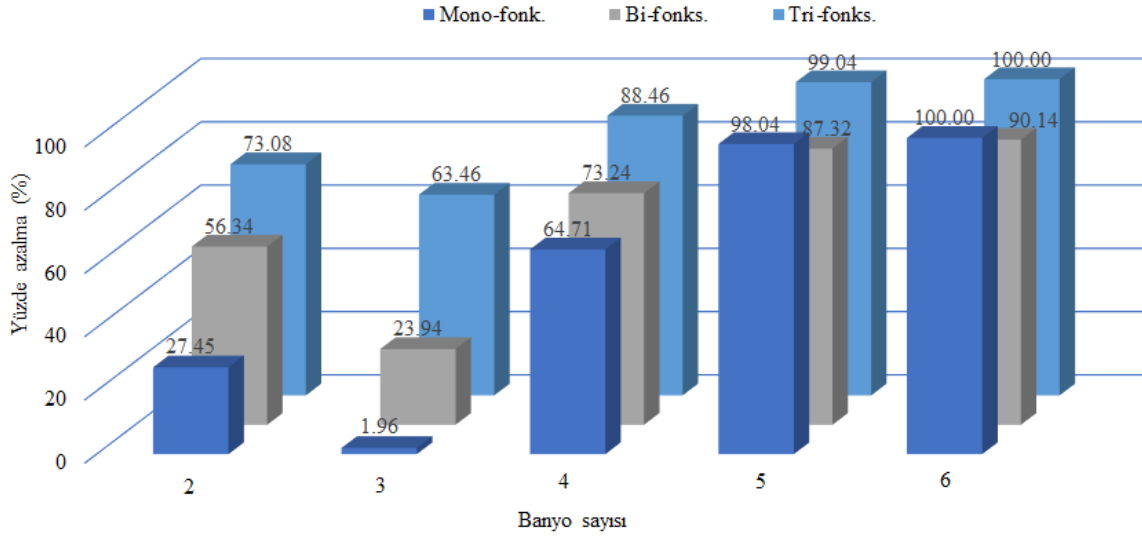
Üç farklı fonksiyonellikteki boyarmaddeler ile yürütülen boyama işlemleri devamındaki yıkamaların ilk banyoları karşılaştırıldığında, reaktif grup sayısındaki artışla paralel olarak absorbans değerlerinin artış gösterdiği (0,51-0,71-1,04) görülmüştür. Reaktif yıkamaların ikinci banyolarında birinciye göre azalan absorbans değerleri üçüncü (sabunlama) banyoda yeniden artış göstermiş (Şekil 5), yani yıkama suyuna geçen hidrolizat miktarı artmıştır. Mono-fonksiyonel reaktif yıkamada bu artışla ilk banyodaki absorbans değerine ulaşılması, sabunlama adımı da ilk banyodaki kadar hidrolizatın banyoya geçtiği şeklinde yorumlanmıştır. Her bir boyarmadde için üçüncü banyodan son banyoya kadar absorbans değerleri azalırken, transmitans değerleri artmaya devam etmiştir. Bu durum özellikle en düşük absorbans değerlerinin alındığı beşinci ve altıncı banyoların yeniden kullanılabilirliği ortaya çıkarmıştır. Sabunlama işlemine ait üçüncü yıkama banyolarında tri-fonksiyonel reaktif yıkamanın geçirgenliğinin diğer yıkamalara kıyasla yüksek olduğu saptanmıştır. Tri-fonksiyonel boyarmadde kullanıldığında, son banyoya doğru gidildikçe yüzeyden arındırılan hidrolizat miktarının kademeli olarak azaldığı Şekil 7 ile belirgin şekilde görülmüştür. Kademeli azalış parametresi tri-fonksiyonel boyarmaddeler kullanılarak gerçekleştirilen boyamadan sonraki yıkamaların son banyolarının tekrar kullanım kapasitesini arttıracak veya yıkama banyo sayısının azaltılmasını sağlayacağı şeklinde yorumlanmıştır.

**Tablo 2.** Farklı reaktif grup sayısına sahip reaktif boyarmaddelerle boyanan kumaşların haslık değerleri (Fastness values of fabrics dyed with reactive dyes with different reactive group numbers)

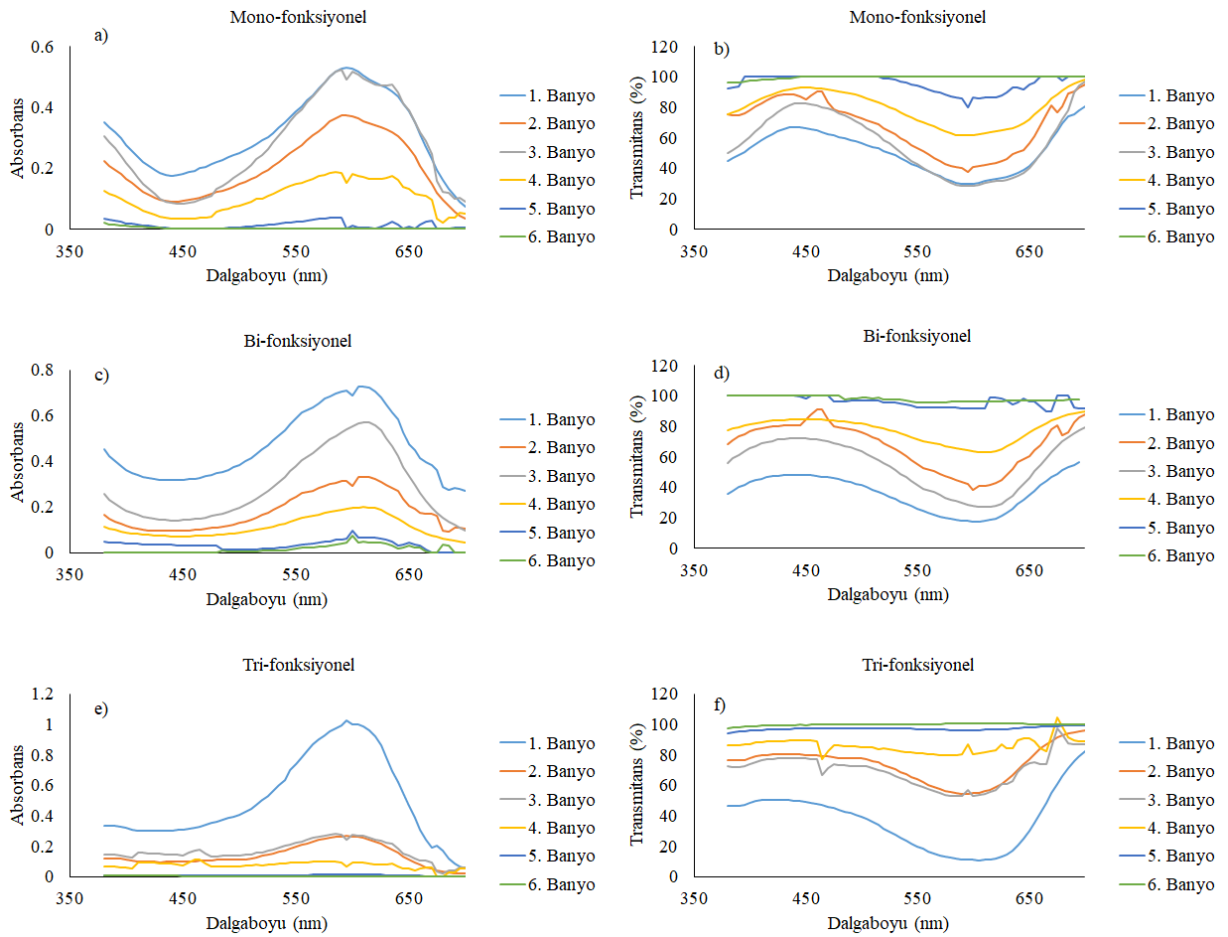
	Yıkama						Solma		Sürtme	
	CA	CO	PA	PES	PAN	WO			Yaş	Kuru
Mono-fonks.	5	4/5	4/5	5	4/5	4/5	5	5	4/5	4/5
Bi-fonks.	5	4/5	5	5	4/5	4/5	5	5	4/5	4/5
Tri-fonks.	5	4/5	5	5	4/5	5	5	5	4/5	5

**Tablo 3.** Reaktif yıkama banyolarına ait absorbans ve transmitans değerleri (Absorbance and transmittance values of reactive washings baths)

Banyo sayısı	Mono-fonksiyonel		Bi-fonksiyonel		Tri-fonksiyonel	
	Abs.	%T	Abs.	%T	Abs.	%T
1	0,51	30,00	0,71	17,70	1,04	8,38
2	0,37	41,00	0,31	42,07	0,28	51,69
3	0,50	28,00	0,54	27,80	0,38	41,50
4	0,18	61,00	0,19	63,60	0,12	74,31
5	0,01	86,00	0,09	91,90	0,01	96,09
6	0,00	86,00	0,07	96,00	0,00	100,00



Şekil 5. Reaktif yıkama banyolarının birinci banyoya göre absorban değerlerindeki değişim (Change in absorbance values of reactive washing baths compared to first bath)



Şekil 6. Reaktif yıkamalara ait absorban (a, c, e) ve transmittans (b, d, f) grafikleri (Absorbance (a, c, e) and transmittance (b, d, f) graphs of reactive washings)





Şekil 7. Reaktif yıkama atık su banyolarının görselleri (Images of reactive washing wastewater baths)

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Tekstil endüstrisi suyun yoğun olarak kullanıldığı bir sektördür. Tekstil üretim süreçlerinde hemen hemen tüm boyarmaddeler ve kimyasallar sulu banyolarda uygulanmaktadır. Birçok ülkedeki tekstil endüstrileri yerel su kaynaklarını kullanmaları ve arıtılmamış atık suları doğrudan akarsulara ve nehirlere karıştırarak ekosistemi kirletmesiyle dikkat çekmektedir. 2025 yılına kadar dünya nüfusunun yarısının su kıtlığı çeken bölgelerde yaşayacak olması ve 2030'a kadar ise yaklaşık 700 milyon insanın yoğun su kıtlığı nedeniyle göç edecek olması öngörülerini dikkate alındığında her alanda olduğu gibi tekstilde de çevre-su dostu üretimlerin yapılması elzemdir.

Bu çalışmada çevreyi çok kirleten, yüksek miktarda su ve enerji tüketimlerine sebep olan reaktif boyamada farklı fonksiyonellikteki reaktif boyarmaddeler kullanılarak boyama performansları ve yıkama atık suları incelenmiştir. Aynı konsantrasyonda üç farklı fonksiyonellikteki boyarmadde ile yürütülen reaktif boyama çalışmalarının renk kuvvetleri karşılaştırıldığında reaktif grup sayısındaki artışın renk derinliğinin arttığı görülmüştür. Bu duruma tri-fonksiyonel reaktif boyarmaddenin diğerlerine göre daha çok sayıda reaktif gruba sahip olduğundan lif daha yüksek miktarda bağlanması veya tri-fonksiyonel boyarmaddenin tinktorial kuvvetinin diğerlerinden yüksek olmasının sebep olduğu düşünüldü. Tri-fonksiyonel reaktif boyama ile en yüksek renk derinliği elde edilmesine rağmen haslıkları mono- ve bi-fonksiyonel ile benzer

çıkmıştır. Reaktif boyarmaddenin artan fonksiyonelliği ile yıkama haslık değerlerinde görülen  $\frac{1}{2}$  puan kadar iyileşmenin fonksiyonelliğin lif ile arttığı kuvvetli bağların sayısından kaynaklandığı aşikardır. Yıkama atık sularına ait absorpsiyon ölçümleri mono- ve bi-fonksiyonel yıkamaların atık su çözeltilerinde sabunlama adımıyla sıcaklık ve sabun etkisiyle ilk banyoya yakın absorpsiyon değerlerine ulaşıldığını ve son banyoların azalan absorpsiyon değerleri ise drenaja daha az renkli atık su gideceği anlamına geldiği için çevre açısından önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca son yıkama banyolarına doğru azalan absorpsiyon değerleri bu banyoların bir sonraki yıkamada yeniden kullanılabilirliği göstermiştir. Tri-fonksiyonel yıkama işlemlerine ait ilk banyonun en renkli atık su içeren banyo olduğu ve devamındaki banyoların absorpsiyon değerlerinin kademeli düşüş gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu durum tri-fonksiyonel yıkama banyolarının gerikazanım kapasitesini artırabileceği veya yıkama banyo sayısını azaltabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Tri-fonksiyonel boyarmaddelerin hem yüksek renk derinliği sağlaması hem de yıkama banyolarının tekrar kullanıma olanak sağlaması açısından sürdürülebilir üretim için faydalı olduğu sonucuna varılmıştır.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından TEYDEB 1505 Üniversite-Sanayi İşbirliği Destek Programı kapsamında desteklenen 5180061 numaralı "Yeni ve



Çevreci Teknolojilerin Reaktif Boyama Sonrası Yıkamada ve Atık Suyun Dekolorizasyonunda Kullanımı” başlıklı proje kapsamında yapılmıştır.

#### Kaynaklar (References)

- Textile Exchange. 2025 Sustainable Cotton Challenge Second Annual Report 2020. [https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2020/06/2025\\_Sustainable-Cotton-Challenge-Report\\_20201.pdf](https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2020/06/2025_Sustainable-Cotton-Challenge-Report_20201.pdf). Yayın tarihi 2020. Erişim tarihi Aralık 10, 2021.
- Textile Exchange. Preferred Fiber & Materials Market Report 2020. [https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2020/06/Textile-Exchange\\_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report\\_2020.pdf](https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2020/06/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2020.pdf). Yayın tarihi 2020. Erişim tarihi Aralık 10, 2021.
- King D., Dyeing Cotton and Cotton Products, Cotton: Science and Technology, Editör: Gordon S., Hsieh Y.-L., Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 353–80, 2007.
- Fang L., Zhang X., Sun D., Chemical Modification of Cotton Fabrics for Improving Utilization of Reactive Dyes, Carbohydrate Polymers, 91 (1), 363–9, 2013.
- Arivithamani N., Giri Dev V.R., Salt-Free Reactive Dyeing of Cotton Hosiery Fabrics by Exhaust Application of Cationic Agent, Carbohydrate Polymers, 152, 1–11, 2016.
- Irfan M., Xie K., Hou A., Effect of Reactive Dye Structures and Substituents on Cellulose Fabric Dyeing, Fibers and Polymers, 21, 2018–23, 2020.
- Allègre C., Moulin P., Maisseu M., Charbit F., Treatment and Reuse of Reactive Dyeing Effluents, Journal of Membrane Science, 269, 15–34, 2006.
- Farha S.A.A., Gamal A.M., Sallam H.B., Mahmoud G.E.A., Ismail L.F.M., Sodium Edetate and Sodium Citrate as an Exhausting and Fixing Agents for Dyeing Cotton Fabric with Reactive Dyes and Reuse of Dyeing Effluent, Journal of American Science, 6, 109–27, 2010.
- Khatri A., Peerzada M.H., Mohsin M., White M., A Review on Developments in Dyeing Cotton Fabrics with Reactive Dyes for Reducing Effluent Pollution, Journal of Cleaner Production, 87, 50–7, 2015.
- Tarbuk A., Grancaric A.M., Leskovic M., Novel Cotton Cellulose by Cationization during Mercerization-Part 2: The Interface Phenomena, Cellulose, 21, 2089–99, 2014.
- Chattopadhyay D.P., Chavan R.B., Sharma J.K., Salt-Free Reactive Dyeing of Cotton, International Journal of Clothing Science and Technology, 19, 99–108, 2007.
- Khatri A., Peerzada M.H., Mohsin M., White M., A Review on Developments in Dyeing Cotton Fabrics with Reactive Dyes for Reducing Effluent Pollution, Journal of Cleaner Production, 87, 50–7, 2015.
- Gregory P., Toxicology of Textile Dyes, Environmental Aspects of Textile Dyeing, Editör: Christie R.M., Woodhead Publishing, Abington, USA, 44–73, 2007.
- Forgacs E., Cserháti T., Oros G., Removal of Synthetic Dyes from Wastewaters: A Review, Environment International, 30, 953–71, 2004.
- Khatri A., Padhye R., White M., The Use of Trisodium Nitrilo Triacetate in the Pad-steam Dyeing of Cotton with Reactive Dyes, Coloration technology, 129, 76–81, 2013.
- Bashar M.M., Khan M.A., An Overview on Surface Modification of Cotton Fiber for Apparel Use, Journal Of Polymer And Environment, 21, 181–90, 2013.
- Ali S., Khatri Z., Khatri A., Tanwari A., Integrated Desizing-bleaching-Reactive Dyeing Process for Cotton Towel using Glucose Oxidase Enzyme, Journal of Cleaner Production, 66, 562–7, 2014.
- Parisi M.L., Fatarella E., Spinelli D., Pogni R., Basosi R., Environmental Impact Assessment of An Eco-efficient Production for Coloured Textiles, Journal of Cleaner Production, 108, 514–24, 2015.
- Dong X., Gu Z., Hang C., Ke G., Jiang L., He J., Study on the Salt-Free Low-Alkaline Reactive Cotton Dyeing in High Concentration of Ethanol in Volume, Journal of Cleaner Production, 226, 316–23, 2019.
- Toprak T., Anis P., Textile Industry’s Environmental Effects and Approaching Cleaner Production and Sustainability: an Overview, Journal of Textile Engineering & Fashion Technology, 2, 429–42, 2017.
- Amin M.N., Blackburn R.S., Sustainable Chemistry Method to Improve the Wash-off Process of Reactive Dyes on Cotton, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 3, 725–732, 2015.
- Khatri A., White M., Padhye R., Momin N.H., The Use of Reflectance Measurements in The Determination of Diffusion of Reactive Dyes into Cellulosic Fiber, Color Research & Application, 39, 63–9, 2014.
- Broadbent A.D., Reactive Dyes, Basic Principle of Textile Coloration, Society of Dyers and Colourists, Bradford, UK, 332–57, 2001.
- Morris K.F., Lewis D.M., Broadbent P.J., Design and Application of A Multifunctional Reactive Dye Capable of High Fixation Efficiency on Cellulose, Coloration Technology, 124, 186–94, 2008.
- Siddiqua U.H., Ali S., Hussain T., Iqbal M., Masood N., Nazir A., Application of Multifunctional Reactive Dyes on the Cotton Fabric and Conditions Optimization by Response Surface Methodology, Journal of Natural Fibers, 1–13, 2020.
- Taylor J.A., Recent Developments in Reactive Dyes, Review of Progress in Coloration and Related Topics, 30, 93–108, 2000.
- Malik M.T., Barhanpurkar M.S., Rajput M.S., Bhargava M.A., Developments in Reactive Dyes, Text Value Chain, 25–7, 2016.
- Xiao H., Zhao T., Li C.H., Li M.Y., Eco-friendly Approaches for Dyeing Multiple Type of Fabrics with Cationic Reactive Dyes, Journal of Cleaner Production, 165, 1499–507, 2017.
- Javadi M.S., Mokhtari J., Synthesis and Evaluation of Technical Properties of Novel Cationic Mono-s-chloro Triazinyl (MCT) Reactive Dyes on Cotton, Journal of the Chinese Chemical Society, 59, 793–801, 2012.
- Zheng C., Yuan A., Wang H., Sun J., Dyeing Properties of Novel Electrolyte-free Reactive Dyes on Cotton Fibre, Coloration Technology, 128, 204–7, 2012.
- Toprak T., Anis P., Kutlu E., Kara A., Effect of Chemical Modification with 4-vinylpyridine on Dyeing of Cotton Fabric with Reactive Dyestuff, Cellulose, 25, 6793–809, 2018.
- Burkinshaw S.M., Mignanelli M., Froehling P.E., Bide M.J., The Use of Dendrimers to Modify the Dyeing Behavior of Reactive Dyes on Cotton, Dyes and Pigments, 47, 259–67, 2000.
- Kamel M.M., El Zawahry M.M., Ahmed N.S.E., Abdelghaffar F., Ultrasonic Dyeing of Cationized Cotton Fabric with Natural Dye. Part 2: Cationization of Cotton Using Quat 188, Industrial Crops and Products, 34, 1410–7, 2011.
- Akgun M., Becerir B., Alpay H.R., Reflectance Prediction of Colored Polyester Fabrics by A Novel Formula, Fibers and Polymers, 15, 126–37, 2014.
- Siddiqua U.H., Ali S., Iqbal M., Hussain T., Relationship Between Structure and Dyeing Properties of Reactive Dyes for Cotton Dyeing, Journal of Molecular Liquids, 241, 839–44, 2017.

