



**TEKSTİL VE MÜHENDİS**  
**(Journal of Textiles and Engineer)**



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

**PAMUKLU KUMAŞLARIN BOYAMA VE GÜÇ TUTUŞURLUK BİTİM İŞLEMLERİNİN SOL-JEL YÖNTEMİ İLE TEK ADIMDA UYGULANMASI**

**APPLICATION OF DYEING AND FLAME RETARDANT FINISHING OF COTTON FABRICS IN ONE-STEP BY USING THE SOL-GEL METHOD**

Evren SERGİN<sup>1\*</sup>  
Aysun AKŞİT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):30 Eylül 2024 (30 September 2024)

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

Evren SERGİN, Aysun AKŞİT (2024): PAMUKLU KUMAŞLARIN BOYAMA VE GÜÇ TUTUŞURLUK BİTİM İŞLEMLERİNİN SOL-JEL YÖNTEMİ İLE TEK ADIMDA UYGULANMASI, Tekstil ve Mühendis, 31: 135, 155- 167.

**For online version of the article:** <https://doi.org/10.7216//teksmuh.1490957>

## Arastırma Makalesi / Research Article

# PAMUKLU KUMAŞLARIN BOYAMA VE GÜÇ TUTUŞURLUK BİTİM İŞLEMLERİNİN SOL-JEL YÖNTEMİ İLE TEK ADIMDA UYGULANMASI

Evren SERGİN<sup>1\*</sup> 

Aysun AKŞİT<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 27.05.2024

Kabul Tarihi / Accepted: 29.08.2024

**ÖZ:** Bu çalışmada, pamuklu kumaşların boyama ve güç tutuşurluk bitim işlemlerinin tek adımda uygulanması üzerine araştırma yapılmıştır. Pamuklu kumaşların reaktif boyarmaddelerle boyanmasında yüksek miktarlarda tuz kullanılmasının atık su yükünü arttırması yanında çoklu ard yıkamaların yapılmasıyla fazla miktarda su kullanımı da söz konusudur. Konvansiyonel güç tutuşurluk bitim işleminde halojen içeren kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada tuz ve halojen içeren kimyasal madde kullanmadan boyama ve güç tutuşurluk bitim işlemleri sol-jel yöntemiyle tek adımda uygulanmıştır. Bu tür işlemlerde boyama düzgünsüzlüğü en büyük dezavantajdır. Bu sorun bu çalışmada kullanılan kumaşın katyonizasyon işlemiyle modifikasyonu sayesinde çözülmüş ve homojen bir boyama gerçekleştirilmiştir. Kumaşın katyonizasyon işlemi için poli(dimetilamin-ko-epiklorohidrin) içeren ticari bir ürün tercih edilirken sol-jel yöntemiyle gerçekleştirilen boyama ve güç tutuşurluk işleminde reaktif boyarmadde, azot-fosfor içeren kimyasal madde, tetraetoksasilan ve (3-glisidiloksiyopropil) trimetoksasilan kullanılmıştır. Kumaşların beyazlık, sarılık, K/S, haslık, alev yayılma, limit oksijen indeksi (LOI), eğilme uzunluğu ve eğilme direnci değerleri ölçülmüş, FTIR-ATR ve XPS analizleri yapılmış ve güç tutuşurluk özelliğinin kuru temizleme dayanımı incelenmiştir. Kumaşların yıkama sonrası atıksuları UV-Vis analiziyle değerlendirilmiştir. Katyonize pamuklu kumaşların hem boyama (K/S, haslık) ve güç tutuşurluk (alev yayılma, LOI) özelliklerinin birbirini olumsuz yönde etkilemeden tek bir adımda boyanması ve güç tutuşur özellik kazanması, hem de güç tutuşurluk özelliğinin kuru temizleme dayanımına sahip olması sağlanmıştır. K/S değeri 4, LOI değeri %32 ve kuru temizleme sonrası %31 olarak elde edilmiştir. Çalışma kapsamında kimyasal ve su tüketimi, atıksu yükü, işlem süresi ve enerji tüketimi azaltılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Pamuklu kumaş, sol-jel yöntemi, katyonizasyon, boyama, güç tutuşurluk

## APPLICATION OF DYEING AND FLAME RETARDANT FINISHING OF COTTON FABRICS IN ONE-STEP BY USING THE SOL-GEL METHOD

**ABSTRACT:** In this study, research has been carried out on the application of dyeing and flame-retardant finishing of cotton fabrics in one step. In the dyeing of cotton fabrics with reactive dyestuffs, the use of high amounts of salt increases the wastewater load, as well as the use of large amounts of water due to multiple post-washes. Conventional flame-retardant finishing uses halogen-containing chemicals. In this study, dyeing and flame-retardant finishing processes were applied in one step by sol-gel method without using salt and halogen-containing chemicals. Dyeing unevenness is the biggest disadvantage in such processes. This problem was solved by modifying the fabric used in this study with a cationization process, and homogeneous dyeing was achieved. While a commercial product containing poly(dimethylamine-co-epichlorohydrin) was preferred for the cationization process of the fabric, reactive dyestuff, nitrogen-phosphorus-containing chemical, tetraethoxysilane, and (3-glycidyoxypropyl) trimethoxysilane were used in the dyeing and flame retardancy processes carried out by the sol-gel method. Whiteness, yellowness, K/S, fastness, flame spread, limit oxygen index (LOI), bending length and flexural rigidity values of the fabrics were measured, FTIR-ATR and XPS analyses were performed, and the dry cleaning resistance of the flame retardancy property was investigated. The post-washing wastewater of the fabrics was evaluated by UV-Vis analysis. Both dyeing (K/S, fastness) and flame retardancy (flame spread, LOI) properties of the cationized cotton fabrics were dyed and flame retardant in a single step without adversely affecting each other, and the flame retardancy property was provided to have dry cleaning resistance. The K/S value was 4, the LOI value was 32% and 31% after dry cleaning. Within the scope of the study, chemical and water consumption, wastewater load, process time, and energy consumption were reduced.

**Keywords:** Cotton fabric, sol-gel method, cationization, dyeing, flame retardancy

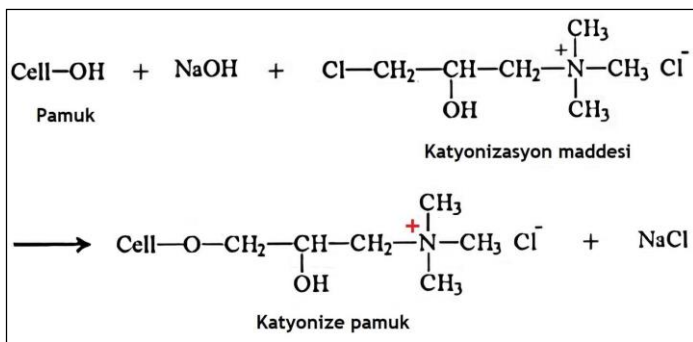
\*Sorumlu Yazarlar/Corresponding Authors: evrensergin@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.7216//tekstilmuh.1490957>

[www.tekstilmuhendis.org.tr](http://www.tekstilmuhendis.org.tr)

## 1. GİRİŞ

Biyoyumlu, yenilenebilir, hidrofil, esnek, yumuşak, nefes alabilir özellikleri nedeniyle giysilerde yaygın olarak kullanılan pamuk lifinin [1-9] boyanmasında geniş renk yelpazesi, uygulama kolaylıkları, yüksek yıkama hasılları ve iyi fiksasyon özellikleri nedeniyle genellikle anyonik karakterli reaktif boyarmaddeler tercih edilmektedir [1, 2, 10-13]. Sulu çözeltilerde pamuk lifleri hidroksil gruplarının iyonlaşmasından ve reaktif boyarmaddeler anyonik yapısından dolayı negatif yüklü olur. Meydana gelen elektrostatik itmenin azaltılması, sodyum klorür ve sodyum sülfat gibi yüksek miktarda (30-100 g/L) elektrolit (tuz) kullanılarak mümkün olmaktadır [1-4, 10, 12-14]. Boyarmadde moleküllerinin fikse olması için yeterli selüloz anyonlarının üretilmesi bir alkali varlığında gerçekleşmektedir [1]. Ayrıca, reaktif boyarmaddeler pamuk lifi yerine su ile reaksiyona girerek hidrolize olma eğilimi göstermektedir [10]. Bu nedenle reaktif boyama sonucu oluşan atıksu oldukça renkli, alkali ve tuzlu olması nedeniyle çevreyi kirletmektedir [1, 11, 12]. Diğer yandan, reaktif boyarmaddeler yalnızca sulu çözeltilerde çözülebildiğinden ve hidrolize boyarmaddelerin lif yüzeyinden uzaklaştırılması gerektiğinden pamuk lifinin boyama ve ard yıkama işlemleri çok fazla su tüketimine neden olmaktadır [3, 4, 10]. Pamuk lifinin reaktif boyarmaddelerle boyanmasında katyonizasyon işleminin önemi büyüktür [11]. Katyonik maddelerin etkisiyle pozitif yüklü hale gelen pamuk lifinin yüzeyi ile negatif yüklü boyarmadde molekülleri arasında elektrostatik bir çekim oluşmaktadır [1, 13, 14]. Bu sayede elektrolit ihtiyacı ortadan kalkarken pamuk lifinin boyarmadde alımı, renk verimi ve haslık özellikleri artmaktadır [15, 16]. Ek olarak, Acharya vd.'nin çalışmalarında da belirtildiği gibi boyama işleminin daha az su, kimyasal madde, enerji ve zaman kullanarak gerçekleşmesi sağlanmaktadır [1]. Pamuklu kumaşların katyonizasyon reaksiyonu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Katyonizasyon maddesi (kolin klorür) ve pamuk lifinin olası tepkimesi [13]

Pamuk lifi, limit oksijen indeksinin (LOI) ve yanma sıcaklığının düşük olması nedeniyle son derece yanıcıdır [5-8, 17]. Ayrıca, pamuklu kumaşların yanması sırasında genellikle için için yanma süreçleri de yaşanır ve bu nedenle gizli yangın kaynakları, duman ve toksik koşullar ortaya çıkmaktadır [6, 18]. Sonuç olarak, yangın tehlikelerini önlemek için başarılı güç tutuşurluk sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir [7]. Halojen içeren bileşikler pamuklu kumaşlar için en etkili güç tutuşur maddelerdir, ancak toksik ve

tehlikeli olmaları nedeniyle kullanımları birçok ülkede yasaklanmıştır [9]. Çevre dostu olması ve hem katı fazda hem de gaz fazında etki göstermesi sayesinde fosfor içeren güç tutuşur maddeler bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır [19]. Fosfor içeren güç tutuşur maddeler, termal bozunma veya yanma sırasında selüloz polimeri ile reaksiyona girerek kömürleşme tabakası oluşumunu arttırmaktadır. Bariyer görevi gören kömürleşme tabakası, altındaki polimeri oksijenden ve radyan ısıdan koruyarak yanmanın sönmesini sağlamaktadır [7, 17]. Fosfor ve azotun birlikte kullanılması sonucu oluşan sinerji ile zehirli gazların salınımı azalırken kömür oluşumu artmaktadır [19, 20].

Sol-jel teknolojisinin kimyasal tüketimini, maliyeti ve çevresel etkileri azaltması gibi avantajlarından dolayı boyama ve güç tutuşurluk gibi tekstil uygulamaları açısından önemi artmıştır [21]. Sol-jel yöntemiyle boyarmadde moleküllerinin silika kaplamanın inorganik matrisine katılanması sağlanmakta ve tekstil malzemeleri oluşan silika kaplamayla boyanabilmektedir [22-24]. Boyarmaddelerin inorganik matris içinde sabitlenmesi sayesinde boyanan kumaşlar başta yıkama haslığı olmak üzere yüksek haslık özellikleri kazanmaktadır [25]. Sol-jel yönteminin uygulanmasıyla kimyasal madde konsantrasyonunun azaltılması, halojen içermeyen kimyasal madde kullanılması, toksisitenin ve duman salımının düşürülmesi sayesinde kumaşların verimli, ekolojik ve ekonomik güç tutuşurluk etkisi kazanması sağlanmaktadır [6, 18, 26, 27]. Sol-jel teknolojisiyle pamuklu kumaşlara uygulanan güç tutuşurluk etkisi, silisyum esaslı başlatıcılarla oluşan üç boyutlu siloksan ağına fosfor ve azot içeren bileşiklerin katılanmasıyla sağlanan fosfor-azot-silisyum (P-N-Si) sinerjisi sayesinde artmaktadır [19, 28].

Pamuklu kumaşların boyama ve güç tutuşurluk bitim işlemlerinin ayrı olarak ve birlikte sol-jel yöntemiyle uygulandığı çalışmalar literatürde mevcuttur. Reaktif boyarmaddelerle yapılan boyama işlemlerinde Aksit ve Onar [29] K/S ve akma değerlerini, Hou vd. [30] K/S, sürtme ve yıkama haslığı değerlerini iyileştirmişlerdir. Genel olarak fosfor ve fosfor-azot içeren güç tutuşur maddelerin kullanıldığı çalışmalarda Aksit vd. [31], Sergin [32], Grancaric vd. [7] limit oksijen indeksi değerini, Cireli vd. [33] yanma süresini, Alongi vd. [34], Brancatelli vd. [35] ve Castellano vd. [5] kömürleşme oluşumunu silisyum katkısı sayesinde arttırmışlardır. Tek adımlı boyama ve güç tutuşurluk uygulamalarında sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan He vd. [36] ve Wang vd. [37] boyarmadde alımı-fiksasyonu ve LOI değerlerinin azaldığını belirtmiştir.

Bu çalışma kapsamında pamuklu kumaşların boyama ve güç tutuşurluk bitim işlemlerinin tek bir adımda gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Boyama işlemi tuz kullanmadan homojen bir şekilde ve güç tutuşurluk işlemi halojen içermeyen kimyasal kullanmadan yapılmıştır. Literatürden farklı olarak uygulanan tek adımlı işlem sayesinde boyama ve güç tutuşurluk özellikleri birbirini olumsuz şekilde etkilememiştir. Ayrıca tek adımlı işlem öncesinde uygulanan katyonizasyon işleminin pamuklu kumaşların boyama ve güç tutuşurluk özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Çalışma kapsamında 250 g/m<sup>2</sup> gramaja ve Ne 34/1 iplik numarasına sahip %100 pamuklu interlok örme kumaş, katyonizasyon maddesi olarak poli(dimetilamin-ko-epiklorohidrin) içeren ticari ürün (Mordiente M New, Asutex), dispergator olarak Levegal C-55 (Tanatex), alkali madde olarak sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Merck) ve sodyum hidroksit (NaOH, Merck), başlatıcı olarak tetraetoksisilan (TEOS, Sigma Aldrich), çapraz bağlayıcı olarak (3-glisidiloksipropil) trimetoksisilan (GPTMS, Sigma Aldrich), boyarmadde olarak CI Reactive Red 195 (RR195, DyStar), güç tutuşur madde olarak guanidin fosfat (GF), çözücü olarak etanol (Merck) ve saf su, non-iyonik deterjan olarak Lava Sperser KDS (DyStar), asidik madde olarak fosforik asit (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Sigma Aldrich) ve asetik asit (Merck) kullanılmıştır.

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. Katyonizasyon

Saf su, Mordiente M New (ağırlıkça %1, %2, %3), Levegal C-55 (ağırlıkça %0,4, %0,8, %1,2) ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (pH 10) 40 °C'de 1 saat karıştırılarak konvansiyonel yöntemle katyonizasyon çözeltisi hazırlanmıştır. Pamuklu kumaşlar katyonizasyon çözeltisiyle emdirilmiş, %80 AF olacak şekilde fularddan (ATC-F350, Ataç) geçirilmiş, 100 °C'de 10 dk etüvde (UF110, Memmert) kurutulmuştur.

#### 2.2.2. Boyama ve Güç Tutuşurluk

Nanosol B (boyama) çözeltisi; saf su, etanol, TEOS ve GPTMS saydam çözelti elde edilene kadar karıştırıldıktan sonra içerisine reaktif boyarmadde eklenmiş ve 3 saat karıştırılarak sol-jel yöntemiyle hazırlanmıştır. Nanosol B çözeltisi, pH4 ve pH7 olmak üzere 2 farklı şekilde hazırlanmış ve sırasıyla nanosol B4 ve nanosol B7 şeklinde kodlanmıştır. Nanosol G (güç tutuşurluk) çözeltisi; saf su, etanol, TEOS ve GPTMS saydam çözelti elde edilene kadar karıştırıldıktan sonra içerisine GF ve NaOH (pH 7) eklenmiş ve 3 saat karıştırılarak hazırlanmıştır. Saf su, etanol, TEOS ve GPTMS saydam çözelti elde edilene kadar karıştırıldıktan sonra içerisine GF, reaktif boyarmadde ve NaOH (pH 7) eklenmiş ve 3 saat karıştırılarak sol-jel yöntemiyle Nanosol BG (boyama ve güç tutuşurluk) çözeltisi hazırlanmıştır. Çözeltiler oda sıcaklığında hazırlanmıştır. Nanosol B ve nanosol BG çözeltileri 1 g/L reaktif boyarmadde içermektedir. Çözelti reçeteleri Tablo 1'de verilmiştir.

Nanosol çözeltileri pamuklu kumaşlara emdirme yöntemiyle aktarılmıştır. Pamuklu kumaşlar oda sıcaklığındaki nanosol B4, nanosol B7, nanosol G ve nanosol BG çözeltileriyle emdirilmiş, %80 AF olacak şekilde fularddan (ATC-F350, Ataç) geçirilmiş, sıcaklık 60 °C'den 140 °C'ye gelene kadar (kademeli sıcaklık artışı sağlanarak) 40 dk etüvde (UF30, Memmert) kurutulmuş ve fikse edilmiştir. Kumaşlar, 1:30 flote oranında 2 g/L non-iyonik deterjan, 1 g/L asetik asit ve saf su içeren 80 °C'deki sabun çözeltisinde 10 dk bekletilerek yıkanmış ve 1:30 flote oranında 20 °C'deki saf suda 10 dk bekletilerek durulanmıştır. Kumaşlar oda sıcaklığında 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kumaşlar Tablo 2'de görüldüğü gibi kodlanmıştır.

**Tablo 1.** Boyama ve güç tutuşurluk reçeteleri

Çözeltiler	pH	Molar Oran EtOH:TEOS:GPTMS:GF	Hacimce Oran EtOH/H <sub>2</sub> O	Kütlece Oran boyarmadde/çözelti
Nanosol B4	4	34,3:3,6:1,8:0,0	%30/%70	%0,1/%99,9
Nanosol B7	7	34,3:3,6:1,8:0,0	%30/%70	%0,1/%99,9
Nanosol G	7	34,2:3,6:1,8:2,0	%30/%70	–
Nanosol BG	7	34,2:3,6:1,8:2,0	%30/%70	%0,1/%99,9

**Tablo 2.** Kumaş kodları

Kumaş Kodu	Açıklama
N	İşlem görmemiş (normal) kumaş
K	Katyonizasyon işlemi uygulanmış (katyonize) kumaş
NB	Boyanmış normal kumaş
KB	Boyanmış katyonize kumaş
NG	Güç tutuşur normal kumaş
KG	Güç tutuşur katyonize kumaş
NBG	Boyanmış ve güç tutuşur normal kumaş (tek adımda uygulama)
KBG	Boyanmış ve güç tutuşur katyonize kumaş (tek adımda uygulama)

### 2.2.3. Karakterizasyon

Kumaşların beyazlık, sarılık ve renk kuvveti (K/S) değerleri, spektrofotometre (CM-3600d, Konica Minolta) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler, 20 farklı noktadan gerçekleştirilmiştir. K/S değeri, Eşitlik 1'de verilen Kubelka-Munk Denklemi kullanılarak hesaplanmıştır:

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

Burada K kumaşın absorpsiyon katsayısını, S kumaşın saçılma katsayısını ve R kumaşın maksimum absorpsiyon noktasındaki ( $\lambda_{max}$ ) reflektans değerini ifade etmektedir. Boyarmadde fiksasyonu (fikse olan boyarmadde miktarı) (%F), Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\%F = \frac{(K/S)_2}{(K/S)_1} \quad (2)$$

Burada (K/S)<sub>1</sub> yıkama öncesi K/S değerini ve (K/S)<sub>2</sub> yıkama sonrası K/S değerini ifade etmektedir. K/S değerinin standart sapması ( $\sigma_{K/S}$ ), Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\sigma_{K/S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Burada x K/S değerlerini,  $\bar{x}$  K/S değerlerinin aritmetik ortalamasını ve n toplam K/S değerinin sayısını ifade etmektedir. Kumaşların yıkama haslığı TS EN ISO 105-C06 standardına göre, asidik ve bazik ter haslığı TS EN ISO 105-E04 standardına göre, kuru ve yaş sürtme haslığı TS EN ISO 105-X12 standardına göre yapılmıştır. Boyama sonrası birinci yıkama (sabun çözeltisi) atıksularının UV-Vis değerleri, UV-Vis spektrofotometresi (Lambda 35, Perkin Elmer) kullanılarak belirlenmiştir. Kumaşların alev yayılma testi TS EN ISO 15025 standardına göre Prosedür A (yüzey tutuşması, 90°) ve Prosedür B (kenar tutuşması, 30°) kullanılarak ve limit oksijen indeksi (LOI) testi ASTM D 2863 standardına göre yapılmıştır. Kumaşların tutum (tuşe) özelliklerini belirlemek amacıyla eğilme uzunluğu ve eğilme direnci değerleri, BS 3356 standardına göre kumaş sertliği test cihazı (K 004, Prowhite) kullanılarak çubuk yönünde ölçülmüştür. Kumaşların kuru temizleme işlemi, TS EN ISO 3175-2 standardına göre 5 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. FTIR-ATR analizi, kumaşlarda bulunan fonksiyonel grupların ve bağların durumunu belirlemek amacıyla 650 – 4000 cm<sup>-1</sup> aralığında 2 cm<sup>-1</sup> çözünürlükte ve numune başına 64 kez taramayla Perkin Elmer Spectrum BX cihazında yapılmıştır. XPS analizi, kumaşlarda bulunan elementlerin belirlenmesi amacıyla 200 W ve 1,5 kW'lık güce sahip

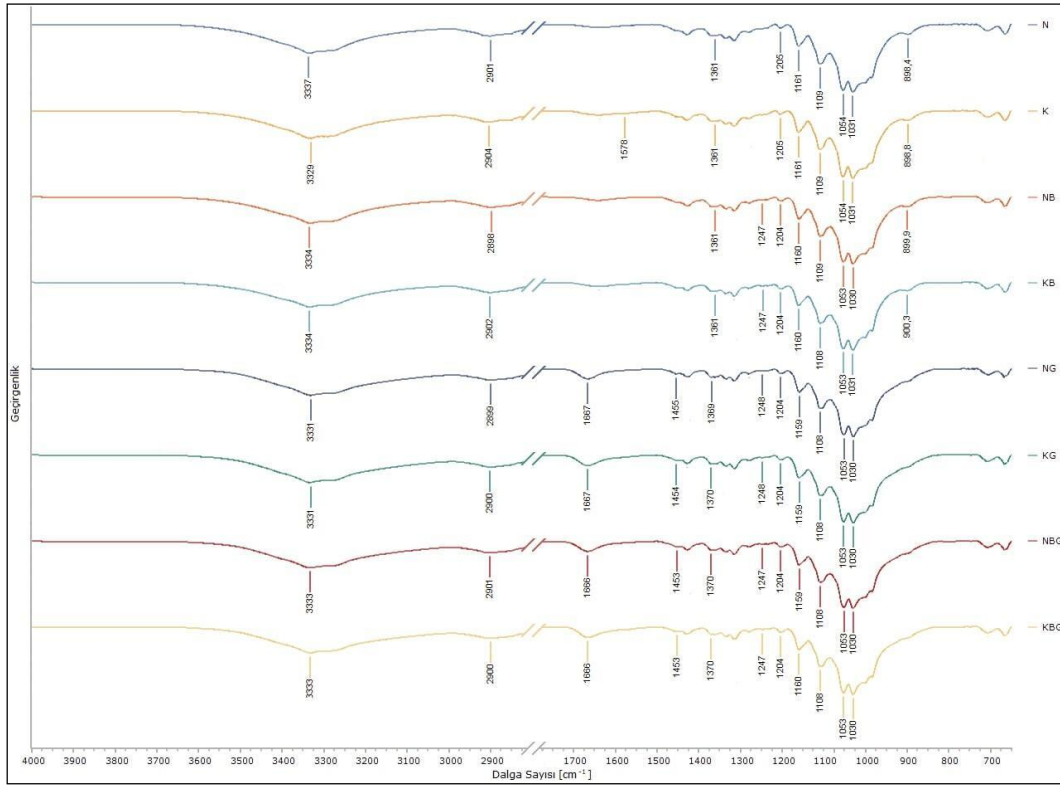
monokromatik Mg K $\alpha$  radyasyon kaynağı (hv = 1254 eV) ile Specs Phoibos 150 3D-DLD cihazında yapılmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

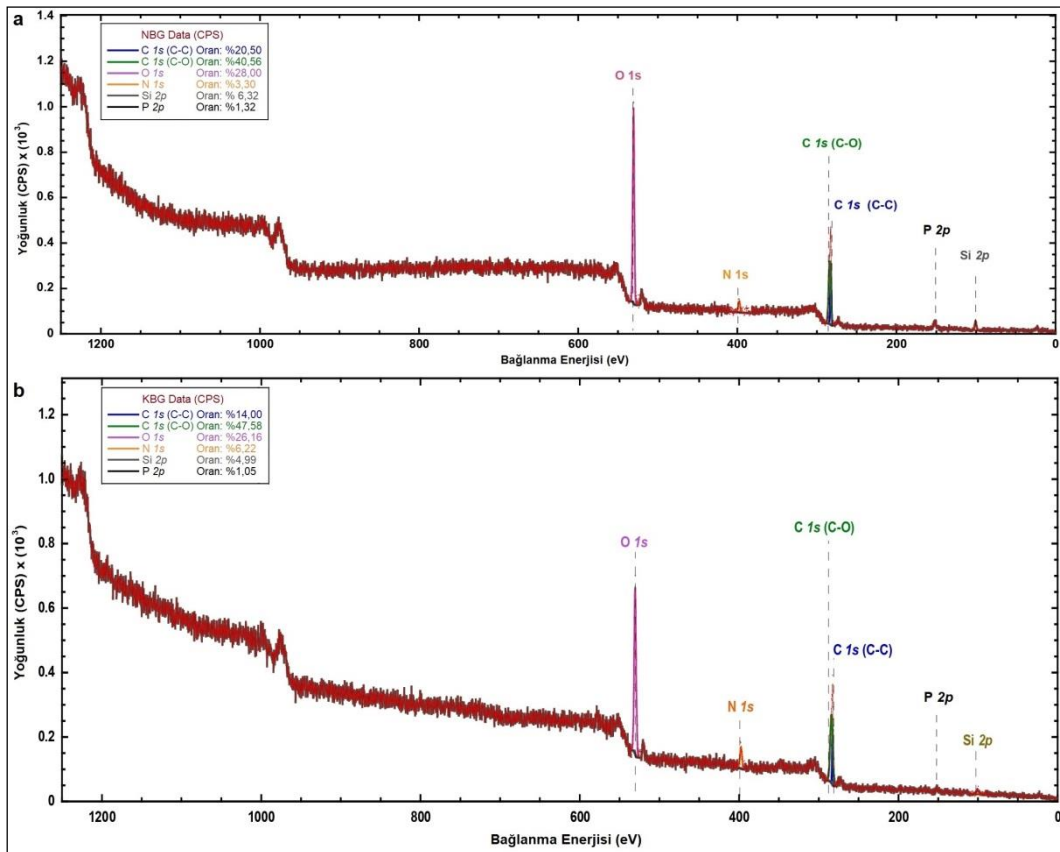
### 3.1. Kumaşların yüzey karakterizasyonu

Kumaşlarda bulunan kimyasal bağların belirlenmesi amacıyla yapılan FTIR-ATR analizinin sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Tüm kumaşlarda selüloza ait 3.500 ile 3.000 cm<sup>-1</sup> arasındaki geniş pik O–H gruplarının gerilme titreşimini, 2.900 cm<sup>-1</sup> civarındaki pik C–H gerilme titreşimini, 1.500 ile 1.100 cm<sup>-1</sup> arasındaki pikler C–H ve CH<sub>2</sub> bükülme titreşimlerini ve 1.100 cm<sup>-1</sup> civarındaki pik C–O gerilme titreşimini göstermektedir. Katyonize pamuklu kumaşlarda (K, KB, KG ve KBG) katyonik gruplarına ait pikler selüloz ile benzer olması ve oldukça düşük içeriği nedeniyle N ile benzer pikler görülmektedir [38]. Sadece K'da 1.578 cm<sup>-1</sup>'de görülen pik amid grubuyla ilişkilidir [10]. Boyanmış kumaşlarda (NB, KB, NBG ve KBG) RR195'e ait 1.376 cm<sup>-1</sup> civarındaki pik S=O bağı gerilimini, 1.251 cm<sup>-1</sup> civarındaki pik aromatik birincil aminin C-N gerilme titreşimi göstermektedir [39]. Güç tutuşur kumaşlarda (NG, KG, NBG ve KBG) GF'ye ait 1.668 cm<sup>-1</sup> civarındaki pik C-N titreşimini [40], 1.453 cm<sup>-1</sup> civarındaki pik N-H titreşimini [41], 1.248 cm<sup>-1</sup> civarındaki pik P=O titreşimini [9] göstermektedir. Boyanmış ve/veya güç tutuşur kumaşlarda (NB, KB, NG, KG, NBG ve KBG) silisyum bileşiklerine (TEOS ve GPTMS) ait 1.240, 1.200 ve 1.000 cm<sup>-1</sup> civarındaki pikler sırasıyla Si-O-Si gerilimini, Si-O-Si asimetrik gerilimini ve Si-O-C gerilimini ifade etmektedir [5]. Piklerin çoğu üst üste geldiği için ayırt edilememiştir.

XPS grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. İşlem görmemiş pamuklu kumaşta sadece C ve O elementleri bulunmaktadır [5, 40]. NBG'de C ve O yanında TEOS ve GPTMS kaynaklı %6,3 Si, GF kaynaklı %3,3 N ve %1,3 P tespit edilmiştir. KBG'de ise katyonizasyon maddesinden kaynaklı N miktarı %90 oranında artarak %6,2'ye artmıştır, bunun yanında Si ve P %20 oranında azalmıştır ve sırasıyla %5,0 ve %1,1 olarak tespit edilmiştir. Katyonizasyon işlemiyle artan N miktarına bağlı olarak beklendiği üzere KBG'deki Si ve P miktarlarının azaldığı görülmüştür. Kumaşlarda RR195'ten kaynaklanan S, Cl, Na ve N elementlerinin [42] RR195 miktarının çok düşük olması nedeniyle tespit edilemediği sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. Kumaşların FTIR-ATR grafikleri



Şekil 3. Kumaşların XPS grafikleri a. NBG b. KBG

### 3.2 Boya ve katyonizasyon çözeltilerindeki parametrelerin belirlenmesi

Pamuklu kumaşlar, farklı konsantrasyonlarda Mordiente M New ile katyonize edilmiştir. Boya çözeltileri (nanosol B çözeltileri) sol-jel yöntemiyle hazırlanmıştır. Pamuklu kumaşlar, asidik ve nötr ortamda hazırlanan Nanosol B4 (pH: 4) ve nanosol B7 (pH: 7) çözeltileriyle (boya çözeltileriyle) boyanmıştır. Kumaşların K/S ve yıkama haslığı değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Nanosol B7 çözeltisiyle elde edilen K/S ve haslık değerlerinin Nanosol B4 çözeltisiyle elde edilenlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle sonraki denemeler için NB7'nin seçilmesine karar verilmiştir. Kumaşların katyonizasyon işlemi için 3 farklı konsantrasyon denenmiş ve yıkama sonrası en yüksek K/S değeri (5,56) %3 konsantrasyonda (K3B7) bulunmuştur. Katyonizasyon maddesinin %1 konsantrasyonda kullanıldığı K1B7'nin yıkama sonrası K/S değeri 4 ve fikse olan boyarmadde miktarı (%F) %93,5 bulunmuştur. Bu değerlerin katyonizasyon maddesinin %2 ve %3 konsantrasyonda kullanıldığı K2B7 ve K3B7'nin değerleriyle karşılaştırılmasıyla %F açısından benzer olduğu ve K/S açısından düşük olduğu görülmüştür. Her ne kadar K3B7'nin 5,56 olarak ölçülen K/S değeri K1B7'ye göre %39 daha yüksek olsa da %F ve yıkama haslığı sonuçları göz önüne alındığında sonraki denemeler için katyonizasyon maddesinin %67 oranında daha düşük (%1) kullanıldığı K1B7'nin seçilmesine karar verilmiştir. Denemeler 3 tekrarlı yapılmıştır.

### 3.3. Kimyasal maddelerin kullanım miktarı

Katyonizasyon, boyama ve güç tutuşurluk işlemlerinde kullanılan kimyasal madde ve su miktarlarına ilişkin bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırmalı olarak Tablo 4'te

verilmiştir. Setthayanond vd., 100 kg pamuklu kumaşın katyonizasyon işleminde 18,5 – 92,6 kg kimyasal ve 4.000 L su tüketildiğini belirtmişler ve yaptıkları çalışmada kimyasal miktarını 2,34 kg'a ve su miktarını 1.080 L'ye düşürmüşlerdir [38]. Literatürden farklı olarak bu çalışmada kimyasal miktarı 1,2 kg'a ve su miktarı 80 L'ye düşürülmüştür. 100 kg pamuklu kumaşın reaktif boyarmaddelerle yapılan konvansiyonel boyama işleminde 20 – 30 kg alkali madde [3], 60 – 100 kg tuz, 7.000 – 20.000 L su [3, 43] tüketilmektedir. Literatürden farklı olarak bu çalışmadaki boyama işleminde tuz kullanmadan alkali madde miktarı 1,8 kg'a, su miktarı 6.000 L'ye düşürülmüş ve toplamda fazladan sadece 27,5 kg kimyasal madde (etanol, TEOS ve GPTMS) kullanılmıştır. Ayrıca literatürde ard yıkama 5 adımlı olarak uygulanmaktayken [44] literatürden farklı olarak bu çalışmada ard yıkama adımı 2'ye indirilmiştir. Pamuklu kumaşın konvansiyonel güç tutuşurluk bitim işleminde 300-500 g/L güç tutuşur madde kullanılmaktadır [26, 27]. He vd., %31 LOI değeri karşılığında 300 g/L güç tutuşur madde kullanırken [45] literatürden farklı olarak bu çalışmada %31-32 LOI değeri (Tablo 7) güç tutuşur madde miktarının %87 oranında azaltılmasıyla (39 g/L) sağlanmıştır. Sonuç olarak katyonizasyon işlemi kimyasal madde miktarları düşürülerek uygulanmış, bunun yanında boyama ve güç tutuşurluk işlemlerinde kullanılan kimyasal madde miktarlarının sol-jel yöntemiyle azaltılması sağlanmıştır.

Ek olarak mevcut çalışmada boyama ve güç tutuşurluk işlemlerinin tek adımlı olarak uygulanması sayesinde hem hazırlanan çözelti sayısı 2'den (nanosol B ve nanosol G) 1'e (nanosol BG), hem de çözeltilerin kumaşa aktarılmasından sonra uygulanan kurutma-fiksaj adımı ve ard yıkama adımı 2'den 1'e düşürülerek zamandan, enerjiden ve maliyetten tasarruf sağlanmıştır.

**Tablo 3.** Kumaşların K/S, %F ve yıkama haslığı değerleri

Kumaş Kodu	Katyonizasyon Maddesinin Konsantrasyonu	Nanosol B'nin pH Değeri	K/S Değeri (Yıkama Öncesi)	K/S Değeri (Yıkama Sonrası)	Boyarmadde Fiksasyonu, %F	Yıkama Haslığı
NB4	-	4	1,12	0,72	64,3%	4/5
K1B4	%1	4	4,12	3,51	85,2%	4
K2B4	%2	4	4,66	4,13	88,6%	4
K3B4	%3	4	5,44	4,70	86,4%	3/4
NB7	-	7	1,40	1,02	72,9%	4/5
K1B7	%1	7	4,28	4,00	93,5%	5
K2B7	%2	7	5,08	4,84	95,3%	4/5
K3B7	%3	7	5,85	5,56	95,0%	4

**Tablo 4.** Katyonizasyon, boyama ve güç tutuşurluk işlemlerinde kullanılan kimyasal madde miktarları (Katyonizasyon, boyama ve ard yıkama işlemlerinin verileri 100 kg kumaş içindir)

İşlem	Kimyasal Madde	Mevcut Çalışma	Literatür Çalışmaları	Kaynak
Katyonizasyon	Katyonizasyon maddesi	0,80 kg	0,58 – 65 kg	[38]
	Alkali madde	0,32 kg	1,76 – 27,60 kg	
	Dispergator	0,06 kg	0 kg	
	Su	80 L	80 – 2.000 kg	
Ard Yıkama	Su	0 L	1.000 – 2.000 kg	
Boyama	Tuz	0 kg	60 – 100 kg	[3, 43]
	Alkali madde	1,8 kg	20 – 30 kg	[3]
Ard Yıkama	Etanol, TEOS ve GPTMS	27,5 kg	0 kg	–
	Reaktif boyarmadde	0,08 kg	3 – 6 kg	[3]
	Su	47,9 L	7.000 – 20.000 L	[3, 43]
Su	6.000 L			
Güç Tutuşurluk	Güç tutuşur madde	39,3 g/L	100 – 300 g/L	[45]
			300-500 g/L	[26, 27]

### 3.4. Kumaşların sarılık ve beyazlık özellikleri

Kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri Tablo 5'te verilmiştir. İşlem görmemiş ve katyonize kumaşların (N ve K) beyazlık ve sarılık değerleri birbirine yakın değerlerde ölçülmüş, bu sayede katyonizasyon işleminin pamuklu kumaşın rengi üzerinde olumsuz herhangi bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Güç tutuşur kumaşların (NG ve KG) beyazlık değerleri %11 gibi düşük bir oranda azalmış, bu nedenle pamuklu kumaşın renginin güç tutuşurluk bitim işleminden olumsuz şekilde etkilenmediği sonucuna varılmıştır [46].

**Tablo 5.** Kumaşların beyazlık ve sarılık değerleri

Kumaş Kodu	Beyazlık Değeri	Sarılık Değeri
N	85,3	3,7
K	84,5	4,2
NG	76,0	8,7
KG	75,4	9,9

### 3.5. Kumaşların boyanma özellikleri

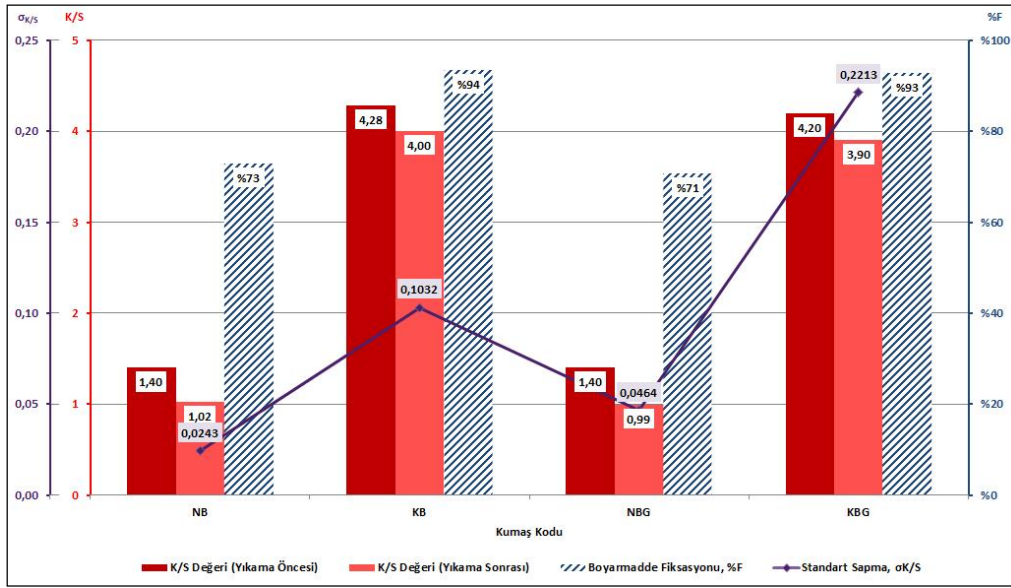
Kumaşların K/S, %F ve  $\sigma_{K/S}$  değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Katyonizasyon işlemi yapılmamış kumaşların (NB ve NBG), K/S değerleri yaklaşık 1 olarak ölçülmüştür. Kumaşların boyama işleminde kullanılan sol-jel yönteminde konvansiyonel boyama yönteminden farklı olarak boyarmadde alımını artıran tuz ve soda gibi kimyasal maddeler kullanılmamıştır. Çok düşük miktarlarda su, boyarmadde ve kimyasal madde kullanılmasına karşın

başlatıcı ve kimyasal madde türü, boyarmadde partikül büyüklüğü gibi parametrelere bağlı olarak kumaşın boya alımı konvansiyonel yöntemle göre düşük olmaktadır [29, 47-49]. Katyonizasyon işleminin K/S değerini yaklaşık 4 kat artırdığı ve %F değerini yaklaşık 1,3 kat artırdığı tespit edilmiştir. Katyonize işlemi yapılmış ve yapılmamış kumaşlara uygulanan boyama ve güç tutuşurluk işlemleri sonrasında (NB ile NBG'nin ve KB ile KBG'nin) K/S ve boyarmadde fiksasyonu (%F) değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Boyama işlemiyle birlikte uygulanan güç tutuşurluk bitim işleminin K/S ve %F değerleri üzerinde herhangi bir etkisi görülmemiştir. K/S değerlerinin standart sapma değerleri oldukça düşük bulunmuştur. Bu değerlerin düşük olması görsel algılama ile kabul edilebilir homojen bir boyamanın sağlandığını ifade etmektedir [50, 51]. Ayrıca bu değerler, kumaşlarda herhangi bir kanat farkının olmadığını da göstermektedir. Boyanmış kumaşların görselleri Şekil 5'te verilmiştir.

### 3.6. Kumaşların haslık özellikleri

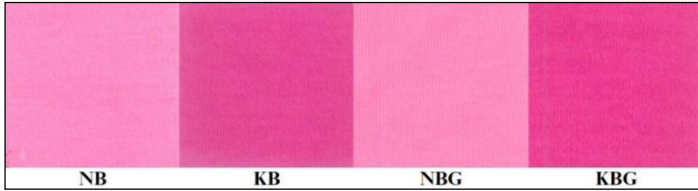
Kumaşların haslık değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 6'da verilmiştir. Katyonizasyon işleminin yıkama, asidik ve bazik ter haslıklarını 0,5 – 1,5 puan artırdığı, kuru ve yaş sürtme haslıklarını 0,5 – 1,0 puan azalttığı belirlenmiştir. Güç tutuşurluk bitim işleminin etkisiyle NBG'nin asidik ve bazik ter haslığı NB'ye göre 0,5 puan azaldığı, KB ve KBG'nin asidik ve bazik ter haslığının değişmediği göz önüne alındığında katyonizasyon işleminin bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırdığı bulunmuştur. Sonuç olarak katyonizasyon işlemi sonrasında uygulanan güç tutuşurluk işleminin kumaşın yıkama, asidik ve bazik ter haslığı üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür.



Şekil 4. Kumaşların K/S, %F ve  $\sigma_{K/S}$  değerleri

Tablo 6. Kumaşların haslık değerleri

Kumaş Kodu	Yıkama	Kuru Sürtme	Yaş Sürtme	Asidik Ter	Bazik Ter
NB	4/5	5	4/5	4/5	4
KB	5	4/5	3/4	5	5
NBG	4/5	5	4/5	4	3/4
KBG	5	4/5	3/4	5	5



Şekil 5. Boyanmış kumaşlar: NB: boyanmış normal kumaş, KB: boyanmış katyonize kumaş, NBG: boyanmış ve güç tutuşur normal kumaş, KBG: boyanmış ve güç tutuşur katyonize kumaş

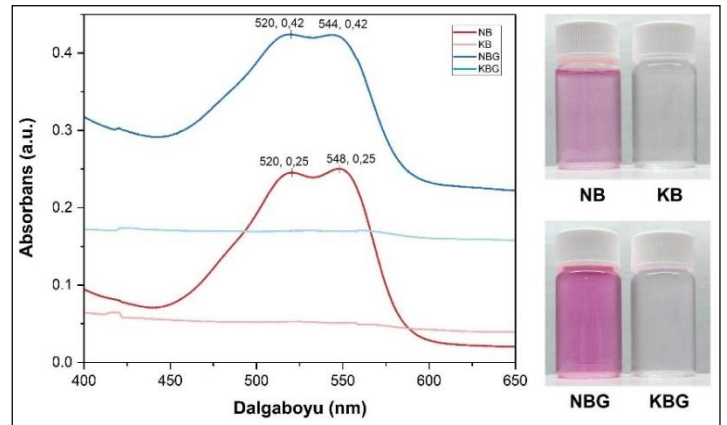
### 3.7. Atıksuların özellikleri

Yıkama atıksularının görselleri ve UV-Vis grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Katyonizasyon işlemi yapılmadan boyanmış kumaşların (NB ve NBG) yıkama sonrası atıksularının renkli, katyonizasyon işlemi yapılarak boyanmış kumaşların (KB ve KBG) atıksularının renksiz olarak elde edildiği görülmektedir. Bunun bir kanıtı olarak absorbans değerinin NB'nin atıksuyu için 548 nm'deki pikte 0,25, NBG'nin atıksuyu için 544 nm'deki pikte 0,42, KB'nin ve KBG'nin atıksuları için bir pik oluşmadan sırasıyla 0,05 ve 0,17 olarak ölçüldüğü görülmektedir. Ayrıca, NB'nin ve NBG'nin atıksuları için 520 nm'de non-iyonik deterjanın neden olduğu kayma pikleri [52, 53] tespit edilmiştir.

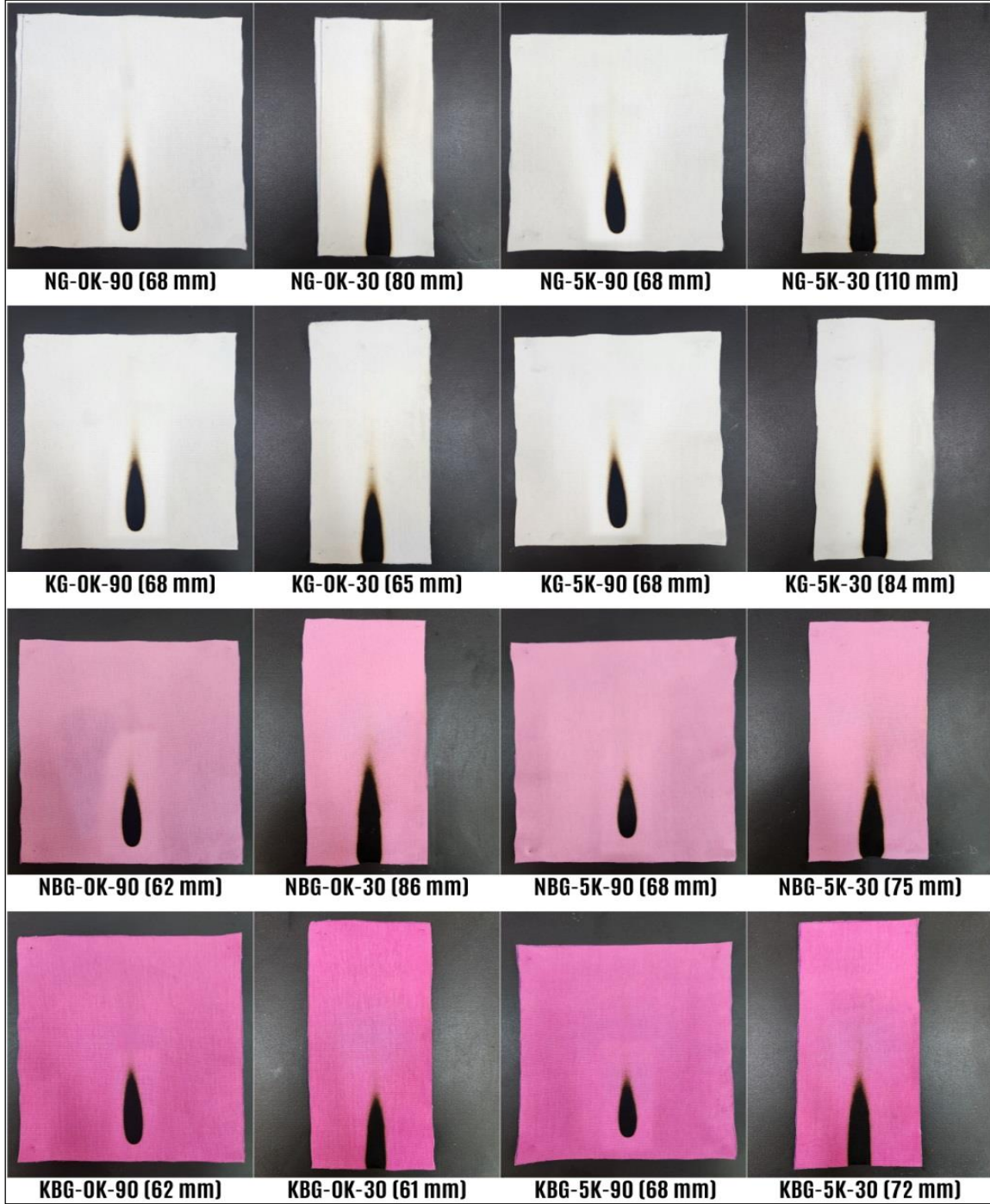
### 3.8. Kumaşların güç tutuşurluk özellikleri

Güç tutuşur kumaşların alev yayılma testi sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Kumaşlara 10 sn süreyle *i.* kumaş yüzeyine dik ( $90^\circ$ )

açıyla ve *ii.* kumaş alt kenarına  $30^\circ$  açıyla uygulanan alev ile güç tutuşurluk işlemi görmemiş kumaşlar (N ve K) tutuşmuş ve tamamen yanmış, güç tutuşurluk işlemi görmüş kumaşlar ise tutuşmamış ve yanmamıştır. Ayrıca güç tutuşurluk işlemi görmüş kumaşlar yanmadığı için kendi kendini sönmeye gözlenmemiştir. 5 tekrarlı kuru temizleme sonrasında tek adımda boyama ve güç tutuşurluk işlemi yapılmış kumaşların da sadece güç tutuşurluk işlemi görmüş kumaşlar gibi tutuşmadığı ve yanmadığı tespit edilmiştir. Kumaşların yüzeyden veya kenardan tutuşması durumları arasında herhangi bir fark görülmemiştir.



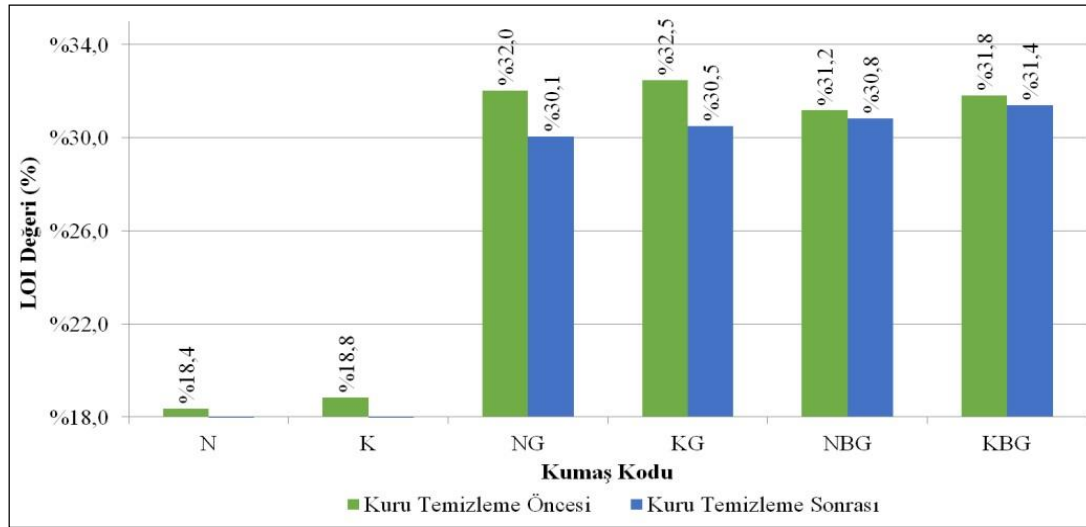
Şekil 6. Yıkama atıksularının görselleri (sağda) ve UV-Vis grafikleri (solda)



Şekil 7. Alev yayılma testi sonrası kumaş görselleri (OK: kuru temizleme öncesi, 5K: 5 tekrarlı kuru temizleme sonrası, 90: kumaş yüzeyine 90° açıyla uygulanan alevle tutuşma, 30: kumaş alt kenarına 30° açıyla uygulanan alevle tutuşma, parantez içinde: kömürleşme uzunluğu)

Güç tutuşur kumaşların limit oksijen indeksi (LOI) değerleri Şekil 8'de verilmiştir. LOI değeri;  $\leq 21$  ise kumaş havada kolayca tutuşarak hızla yanar,  $> 21$  ve  $\leq 26$  ise kumaş daha yavaş tutuşarak yanar ve kendi kendine sönebilir ve  $> 26$  ise kumaş güç tutuşur özellik gösterir [54]. Buradan işlem görmemiş kumaşın (N) %18,4 ve katyonize kumaşın (K) %18,8 değerleriyle yanıcı (güç tutuşur olmayan) olduğu, NG'nin %32,0, KG'nin %32,5,

NBG'nin %31,5 ve KBG'nin %31,8 değerleriyle güç tutuşur özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. 5 tekrarlı kuru temizleme sonrasında LOI değeri NG (%30,1) ve KG (%30,5) için %6 oranında azalırken, NBG (%30,8) ve KBG (%31,4) için %1 oranında azalmıştır. Katyonizasyon işleminin LOI değerini %2 oranında arttırdığı ve güç tutuşur özelliğinin kuru temizlemeye karşı dayanım gösterdiği bulunmuştur.



Şekil 8. Kumaşların kuru temizleme öncesi ve sonrası LOI değerleri

### 3.9. Kumaşların tutum (tuşe) özellikleri

Kumaşların eğilme uzunluğu ve eğilme direnci değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Eğilme uzunluğu ve eğilme direnci, kumaşların tuşesini belirlemede kullanılmaktadır [55]. Bu değerlerin daha düşük olması kumaşın daha yumuşak olduğunu göstermektedir [56]. Ayrıca eğilme uzunluğu kumaşın esnekliği, eğilme direnci ise kumaşın şekillendirilmesi ve bükülmesi hakkında bilgi vermektedir [55, 56]. Kumaşların eğilme uzunluğu değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Katyonize kumaşın eğilme direncinin işlem görmemiş kumaşa göre %8 arttığı belirlenmiştir. Katyonizasyon işlemi sonrasında boyanmış ve güç tutuşurluk işlemi görmüş kumaşların eğilme dirençlerinin işlem görmemiş kumaşlara göre %11 arttığı bulunmuştur. Eğilme uzunluğu ve kumaş gramajı eğilme direncine etki eden faktörlerdir [56]. Bu nedenle katyonizasyon, boyama ve güç tutuşurluk işlemlerinden sonra kumaşların artan ağırlıklarına bağlı olarak eğilme direnci değerleri de artmıştır. Eğilme direnci değerlerinin kumaşların şekil alma-bükülme davranışlarını olumsuz yönde etkilemeyecek bir oranda arttığı sonucuna varılmıştır. Kumaşların tuşe özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmediği ve benzer yumuşak tutum sergiledikleri görülmüştür.

Tablo 7. Kumaşların eğilme uzunluğu ve eğilme direnci değerleri

Kumaş Kodu	Eğilme Uzunluğu (cm)	Eğilme Direnci (mg.cm)
N	2,8	548,8
K	2,8	593,6
NB	2,8	596,0
KB	2,9	664,0
NG	2,8	594,9
KG	2,9	661,6
NBG	2,8	607,9
KBG	2,9	675,2

### 4. SONUÇ

Bu çalışmada sol-jel yöntemiyle boyama ve güç tutuşurluk işlemlerinin tek adımda uygulanması, daha az su ve kimyasal madde kullanarak kumaşların boya alımlarının artırılması ve güç tutuşurluk özellik kazandırılması amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada katyonizasyon işlemiyle modifiye edilen kumaşlara boyama sonrasında kademeli sıcaklık artışının sağlandığı bir kurutma rejimi uygulanmış, bu sayede kumaşların homojen bir şekilde boyanması amaçlanmıştır. Ek olarak uygulanan katyonizasyon işleminin mevcut çalışmalardan farklı olarak çok düşük konsantrasyonda yapılması amaçlanmıştır.

Uygulanan katyonizasyon işlemiyle pamuklu kumaşın RR195 ile kanat farkı olmadan homojen şekilde boyanması ( $\sigma_{K/S}$ : 0,02 – 0,22) sağlanmıştır. Homojen bir boyama için kurutma adımında 60 °C ile 140 °C arasında kademeli sıcaklık artışı uygulanmıştır. Silisyum içeren TEOS ve GPTMS, fosfor-azot içeren GF ile bir araya getirilerek FTIR-ATR ve XPS analizleriyle kanıtlanan P-N-Si sinerjisinin etkisiyle pamuklu kumaşın güç tutuşurluk özellik kazanması (LOI: %31,2-32,5) sağlanmıştır.

Sol-jel yöntemi sayesinde boyama ve güç tutuşurluk özellikleri, birbirlerini olumsuz şekilde etkilemeden pamuklu kumaşa tek bir adımda kazandırılmıştır: Sadece boyama işlemi ve sadece güç tutuşurluk işlemi uygulanan kumaşların özellikleri (K/S, haslık, alev yayılma ve LOI) ile boyama ve güç tutuşurluk işlemleri uygulanan kumaşların özellikleri birbirine yakın bulunmuştur. Sol-jel yöntemiyle kumaşların kazandığı güç tutuşurluk etkisi kuru temizlemeye karşı dayanım sağlamıştır: Güç tutuşurluk işlemi uygulanan kumaşların 5 tekrarlı kuru temizleme işlemi sonrasında tutuşma/yanma davranışları değişmemiş, LOI değerleri en fazla %6 oranında azalmıştır.

Boyama ve güç tutuşurluk işlemleri öncesinde uygulanan katyonizasyon işlemi sayesinde pamuklu kumaşın boya alımının (%F ve K/S) önemli ölçüde artırılması sağlanmıştır.

Katyonizasyon işleminin kumaşın rengi (beyazlık ve sarılık) ve güç tutuşurluk özelliği (alev yayılma ve LOI) ve bu özelliğin kuru temizlemeye karşı dayanımı üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca katyonizasyon işlemi sayesinde boyama sonrası yıkama atıksuyundaki boyarmadde miktarı neredeyse tamamen giderilmiştir.

Kumaşların tutum özellikleri, uygulanan katyonizasyon, boyama ve güç tutuşurluk işlemlerinden olumsuz yönde etkilenmemiştir.

Bu çalışmada pamuklu kumaşların boyama ve güç tutuşurluk işlemlerinde katyonizasyon işleminin ve sol-jel yönteminin kullanılması sayesinde kimyasal ve su tüketiminin azaltıldığı literatürden elde edilen veriler ışığında açıklanmıştır. Boyama işleminde elektrolit (tuz) ve güç tutuşurluk bitim işleminde halojen içeren kimyasal madde kullanılmamıştır. Bu sayede uygulanan işlemlerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltılmıştır. Sonuç olarak uygulanan tek adımlı çalışmanın; işlem süresi ve maliyeti, su/kimyasal tüketimi, zararlı kimyasal kullanımı, atıksu yükü, enerji kullanımı açısından olumlu etkiler gösterdiği ve bu sayede daha çevresel üretim sağlayabileceği ortaya konulmuştur.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin temin edilmesindeki katkılarından dolayı kumaş için Üniteks Tekstil Ticaret ve San. A.Ş.'den Begüm ODAMAN'a ve Aydan ÖZAL SEVER'e, Mordiente M New için Parboy Tekstil San. ve Tic. A.Ş.'den Salih ŞAHİN'e, Levegal C-55 için Spot Kimya San. ve Tic. A.Ş.'den Sinem SÖNMEZ KÜRKCÜ'ye, Reactive Red 195 için TYH Uluslararası Tekstil Pazarlama San. Tic. A.Ş.'den Dilara SEVİNDİK'e, Lava Spense KDS için Özgün Boya San. ve Tic. A.Ş.'den Velittin KARAGÖZ'e ve Roteks Tekstil İhr. San. ve Tic. A.Ş.'den Abdulkadir SEVER'e teşekkür ederiz. Bu çalışmada yer alan testlerin ve analizlerin yapılmasındaki katkılarından dolayı FTIR-ATR analizi için Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Aylin ZİYLAN'a, XPS analizi için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fizik Bölümü'nden Prof. Dr. Gülnur AYGÜN'e, eğilme uzunluğu ve eğilme direnci testleri için Sun Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş. Ar-Ge Merkezi'ne teşekkür ederiz. Bu çalışmadaki kumaş görsellerinin dijital ortama aktarılmasındaki katkılarından dolayı Öykü DEĞİOĞLU'na ve Sümeyle YILDIZ'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Acharya, S., Abidi, N., Rajbhandari, R., & Meulewaeter, F. (2014). *Chemical cationization of cotton fabric for improved dye uptake*. Cellulose, 21, 4693-4706.
- Arivithamani, N., & Dev, V. R. G. (2017). *Cationization of cotton for industrial scale salt-free reactive dyeing of garments*. Clean Technologies and Environmental Policy, 19, 2317-2326.
- 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, 20(19), 4473-4483.
- Zhai, S., Li, Y., Dong, W., Zhao, H., Ma, K., Zhang, H., Wang, H., Zhao, Y., Li, X., & Cai, Z. (2022). *Cationic cotton modified by 3-chloro-2-hydroxypropyl trimethyl ammonium chloride for salt-free dyeing with high levelling performance*. Cellulose, 1-14.
- Castellano, A., Colleoni, C., Iacono, G., Mezzi, A., Plutino, M. R., Malucelli, G., & Rosace, G. (2019). *Synthesis and characterization of a phosphorous/nitrogen based sol-gel coating as a novel halogen- and formaldehyde-free flame retardant finishing for cotton fabric*. Polymer Degradation and Stability, 162, 148-159.
- Li, G., You, F., Zhou, S., Wang, Z., Li, D., Zhang, X., Zhou, C., Zhuang, C., & Zhao, Y. (2022). *Preparations, characterizations, thermal and flame retardant properties of cotton fabrics finished by boron-silica sol-gel coatings*. Polymer Degradation and Stability, 202, 110011.
- Grancaric, A. M., Colleoni, C., Guido, E., Botteri, L., & Rosace, G. (2017). *Thermal behaviour and flame retardancy of monoethanolamine-doped sol-gel coatings of cotton fabric*. Progress in Organic Coatings, 103, 174-181.
- Liu, J., Dong, C., Zhang, Z., Sun, H., Kong, D., & Lu, Z. (2020). *Durable flame retardant cotton fabrics modified with a novel silicon-phosphorus-nitrogen synergistic flame retardant*. Cellulose, 27, 9027-9043.
- Rao, W., Shi, J., Yu, C., Zhao, H. B., & Wang, Y. Z. (2021). *Highly efficient, transparent, and environment-friendly flame-retardant coating for cotton fabric*. Chemical Engineering Journal, 424, 130556.
- Ahmed, M., Sukumar, N., Yusuf, A., & Awol, Y. (2022). *Cationisation of cotton with natural source based gelatin for salt-free reactive dyeing of cationised cotton*. Journal of Natural Fibers, 19(17), 15353-15366.
- Zhang, T., Zhang, S., Qian, W., He, J., & Dong, X. (2021). *Reactive dyeing of cationized cotton fabric: The effect of cationization level*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 9(36), 12355-12364.
- Wang, L., Xie, G., Mi, X., Kang, X., Zhu, Q., & Yu, Z. (2022). *A single-step pad-steam cationisation and dyeing process for improving dyeing properties of cotton fabrics*. Coloration technology, 138(5), 509-521.
- Kıçık, H., & Gökbulut, Ç. (2023). *Investigation of the effect of cationization process on wastewater characterization, physical and fastness values of cotton fabric*, Tekstil ve Mühendis, 30(130), 131-140.
- Dong, W., Zhou, M., Li, Y., Zhai, S., Jin, K., Fan, Z., Zhao, H., Zou, W., & Cai, Z. (2020). *Low-salt dyeing of cotton fabric grafted with pH-responsive cationic polymer of polyelectrolyte 2-(N, N-dimethylamino) ethyl methacrylate*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 594, 124573.
- Arivithamani, N., & Dev, V. R. G. (2016). *Salt-free reactive dyeing of cotton hosiery fabrics by exhaust application of cationic agent*. Carbohydrate Polymers, 152, 1-11.
- Arivithamani, N., & Dev, V. R. G. (2018). *Characterization and comparison of salt-free reactive dyed cationized cotton hosiery fabrics with that of conventional dyed cotton fabrics*. Journal of Cleaner Production, 183, 579-589.
- Rosace, G., Castellano, A., Trovato, V., Iacono, G., & Malucelli, G. (2018). *Thermal and flame retardant behaviour of cotton fabrics treated with a novel nitrogen-containing carboxyl-functionalized organophosphorus system*. Carbohydrate polymers, 196, 348-358.

18. Li, D., Wang, Z. H., Zhu, Y. S., You, F., Zhou, S. T., Li, G., Zhang, X. F., & Zhou, C. (2022). *Synergistically improved flame retardancy of the cotton fabric finished by silica-coupling agent-zinc borate hybrid sol*. Journal of Industrial Textiles, 51(5S), 8297S-8322S.
19. Ozer, M. S., & Gaan, S. (2022). *Recent developments in phosphorus based flame retardant coatings for textiles: Synthesis, applications and performance*. Progress in Organic Coatings, 171, 107027.
20. Wang, S., Sun, L., Li, Y., Wang, H., Liu, J., Zhu, P., & Dong, C. (2021). *Properties of flame-retardant cotton fabrics: Combustion behavior, thermal stability and mechanism of Si/P/N synergistic effect*. Industrial Crops and Products, 173, 114157.
21. Ismail, W. N. W. (2016). *Sol-gel technology for innovative fabric finishing—a review*. Journal of sol-gel science and technology, 78, 698-707.
22. Mahltig, B., & Textor, T. (2006). *Combination of silica sol and dyes on textiles*. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 39, 111-118.
23. Yuan, W., Grethe, T., & Mahltig, B. (2023). *Sol-gel coatings with the fluorescence dye Rhodamine B for optical modification of cotton*. Communications in Development and Assembling of Textile Products, 4(1), 1-17.
24. Mahltig, B., Textor, T., & Kumbasar, P. A. (2015). *Photobactericidal and photochromic textile materials realized by embedding of advantageous dye using sol-gel technology*. Celal Bayar University Journal of Science, 11(3).
25. Mahltig, B., Haufe, H., & Böttcher, H. (2005). *Functionalisation of textiles by inorganic sol-gel coatings*. Journal of materials chemistry, 15(41), 4385-4398.
26. Camlibel, N. O., & Arik, B. (2017). Sol-gel applications in textile finishing processes. U. Chandra (Ed.), *Recent applications in sol-gel synthesis* (253-281). London: InTech Open Limited.
27. Periyasamy, A. P., Venkataraman, M., Kremenakova, D., Militky, J., & Zhou, Y. (2020). *Progress in sol-gel technology for the coatings of fabrics*. Materials, 13(8), 1838.
28. Alongi, J., Carosio, F., & Malucelli, G. (2014). *Current emerging techniques to impart flame retardancy to fabrics: an overview*. Polymer Degradation and Stability, 106, 138-149.
29. Aksit, A. C., & Onar, N. (2008). *Leaching and fastness behavior of cotton fabrics dyed with different type of dyes using sol-gel process*. Journal of applied polymer science, 109(1), 97-105.
30. Hou, A., Shi, Y., & Yu, Y. (2009). *Preparation of the cellulose/silica hybrid containing cationic group by sol-gel crosslinking process and its dyeing properties*. Carbohydrate Polymers, 77(2), 201-205.
31. Aksit, A., Onar, N., Kutlu, B., Sergin, E., & Yakin, I. (2016). *Synergistic effect of phosphorus, nitrogen and silicon on flame retardancy properties of cotton fabric treated by sol-gel process*. International Journal of Clothing Science and Technology, 28(3), 319-327.
32. Sergin, E. (2017). *Sol-jel yöntemi ile çevreye duyarlı, yıkama dayanımı yüksek, güç tutuşur hibrid tekstil kaplama malzemelerinin geliştirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
33. Cireli, A., Onar, N., Ebeoğlu, M. F., Kayatekin, I., Kutlu, B., Culha, O., & Celik, E. (2007). *Development of flame retardancy properties of new halogen-free phosphorous doped SiO<sub>2</sub> thin films on fabrics*. Journal of Applied Polymer Science, 105(6), 3748-3756.
34. Alongi, J., Colleoni, C., Rosace, G., & Malucelli, G. (2013). *Phosphorus-and nitrogen-doped silica coatings for enhancing the flame retardancy of cotton: synergisms or additive effects?* Polymer degradation and stability, 98(2), 579-589.
35. Brancatelli, G., Colleoni, C., Massafra, M. R., & Rosace, G. (2011). *Effect of hybrid phosphorus-doped silica thin films produced by sol-gel method on the thermal behavior of cotton fabrics*. Polymer Degradation and Stability, 96(4), 483-490.
36. He, P., Dong, C., Chen, X., Wang, P., Lu, Z., Jiang, Z., Liu, Y., & Zhu, P. (2020). *Flame retardant finishing and dyeing of cotton fabric in one bath*. AATCC Journal of Research, 7(4), 9-14.
37. Wang, S., Liu, J., Sun, L., Wang, H., Zhu, P., & Dong, C. (2020). *Preparation of flame-retardant/dyed cotton fabrics: flame retardancy, dyeing performance and flame retardant/dyed mechanism*. Cellulose, 27, 10425-10440.
38. Setthayanond, J., Netzer, F., Seemork, K., Suwanruji, P., Bechtold, T., Pham, T., & Manian, A. P. (2023). *Low-level cationisation of cotton opens a chemical saving route to salt free reactive dyeing*. Cellulose, 30(7), 4697-4711.
39. Birmole, R., Parkar, A., & Aruna, K. (2019). *Biodegradation of reactive red 195 by a novel strain Enterococcus casseliflavus RDB\_4 isolated from textile effluent*. Nature Environment & Pollution Technology, 18(1).
40. Bi, X., Xue, D., Wang, Y., Lv, C., Li, Z., & Zhao, T. (2024). *A flexible high-efficiency approach to preparing a durable flame-retardant cellulosic fabric as well as the research of the property*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 680, 132697.
41. Lu, Y., Jia, Y., Zhang, G., & Zhang, F. (2018). *An eco-friendly intumescent flame retardant with high efficiency and durability for cotton fabric*. Cellulose, 25, 5389-5404.
42. Pei, L., Zhu, H., Chen, J., Shi, W., Wang, J., & Alebeid, O. K. (2023). *Study on reactive dyeing in a sustainable nonaqueous medium dyeing system by X-ray electron spectroscopy*. Textile Research Journal, 93(19-20), 4469-4481.
43. Allègre, C., Moulin, P., Maisseu, M., & Charbit, F. (2006). *Treatment and reuse of reactive dyeing effluents*. Journal of Membrane Science, 269(1-2), 15-34.
44. Khatri, A., Peerzada, M. H., Mohsin, M., & White, M. (2015). *A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution*. Journal of Cleaner Production, 50-57.
45. He, P., Chen, X., Zhu, P., Liu, J., Fan, G., Sui, S., Lu, Z., & Dong, C. (2018). *Preparation and flame retardancy of reactive flame retardant for cotton fabric*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 132, 1771-1781.
46. Wan, C., Tian, P., Liu, M., Zhang, G., & Zhang, F. (2019). *Synthesis of a phosphorus- nitrogen flame retardant endowing cotton with high whiteness and washability*. Industrial Crops and Products, 141, 111738.
47. Topel, E. (2014). *Sol-jel teknolojisi ile tekstil materyallerinin boyanması ve haslık özelliklerinin geliştirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
48. Yin, Y. J., & Wang, C. X. (2009). *Enhancement of colour fixation behaviour of cotton fabric via sol-gel process*. Materials Research Innovations, 13(1), 41-44.
49. Sampaio, S., Maia, F., & Gomes, J. R., (2010). *Sol-gel technology for ecological dyeing cellulosic of fibres*, 39th Textile Research Symposium. 16-19 Kasım 2010, Hindistan.

50. Zhang, F., Chen, Y., Lin, H., & Lu, Y. (2007). *Synthesis of an amino-terminated hyperbranched polymer and its application in reactive dyeing on cotton as a salt-free dyeing auxiliary*. *Coloration Technology*, 123(6), 351-357.
51. Wang, A., Xia, L., Zhou, S., Guo, H., Wang, Y., & Xu, W. (2020). *Solvent assisted reactive dyeing of cotton with high exhaustion in the absence of salt*. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122062.
52. Cai, G., Sun, L., Wu, J., & Wang, J. (2015). *Influence of nonionic surfactant on hydrolysis of vinyl sulfone reactive dye*. *Journal of Surfactants and Detergents*, 18(6), 1127-1135.
53. Younis, S., Usman, M., ul Haq, A., Akram, N., Saeed, M., Raza, S., Siddiq, M., & Bukhtawar, F. (2020). *Solubilization of reactive dyes by mixed micellar system: Synergistic effect of nonionic surfactant on solubilizing power of cationic surfactant*. *Chemical Physics Letters*, 738, 136890.
54. Horrocks, A. R., Tune, M., & Cegiela, L. (1988). *The burning behaviour of textiles and its assessment by oxygen-index methods*. *Textile Progress*, 18(1-3), 1-186.
55. Tohidi, S. D., Jeddi, A. A., & Nosrati, H. (2013). *Analyzing of the woven fabric geometry on the bending rigidity properties*. *International Journal of Textile Science*, 2(4), 73-80.
56. Shiddique, M. N. A., Repon, M. R., & Mamun, R. A. (2019). *Analysis of drape co-efficient, bending length, flexural rigidity and tightness factor of 4×1 rib, 4×4 rib, half cardigan and full cardigan knit structure fabric*. *J Textile Eng Fashion Technol*, 5(2), 119-124.