

# TENCEL™ KUMAŞLARIN SU VE YAĞ İTİCİLİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE SİKLODEKSTRİN VE ÇAPRAZ BAĞLAYICI ETKİSİNİN İNCELENMESİ

*Deniz ILDIZ* \*<sup>ID</sup>

*Buket ARIK* \*\*<sup>ID</sup>

Alınma: 19.01.2024; düzeltme: 16.04.2024; kabul: 17.04.2024

**Öz:** Bu çalışmada, normalde hidrofil olan Tencel™ liflerinin kullanım olanaklarını genişletmek için su ve yağ iticilik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Tencel™ kumaşlara floaloalkiloligosiloksan (Dynasylan F 8815), siklodekstrin, çapraz bağlayıcı ve katalizör kullanılarak işlem yapılmıştır. Yedi farklı işlem reçetesi hazırlanarak tek aşamalı veya iki aşamalı olarak kumaşlara uygulanmıştır. Daha sonra numunelerin su ve yağ iticilik değerleri, yıkama sonrası işlemlerin kalıcılığı, patlama mukavemetleri, tutum sertleşmesi ve sararma gibi özellikleri belirlenmiş ve kıyaslanmıştır. Ayrıca numunelerin mikroskopik görüntüleri incelenmiş ve kumaş yüzeylerinin kimyasal yapısı karakterize edilmiştir. En başarılı sonuç, floaloalkiloligosiloksan, siklodekstrin, çapraz bağlayıcı ve katalizörün Tencel™ kumaş yüzeylerine birlikte uygulandığı iki aşamalı işlemle elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tencel™, Siklodekstrin, Çapraz bağlayıcı, Su iticilik, Yağ iticilik, Yıkama dayanımı

## Investigation of the Effect of Cyclodextrin and Crosslinking Agent on Enhancement of Water and Oil Repellency Properties of Tencel™ Fabrics

**Abstract:** In this study, it was intended to enhance the water and oil repellency properties of Tencel™ fibres that are in naturally hydrophilic character to expand their usage possibilities. For this aim, Tencel™ fabrics were treated by floaloalkyloligosiloxan (Dynasylan F 8815), cyclodextrin, crosslinking agent and catalyst. By preparing seven different treatment recipes, fabric application processes were carried out in one or in two stages. Then, the properties of the samples like water and oil repellency values, durability of the treatments after washing, bursting strength, stiffness and yellowness were determined and compared. Moreover, the microscopic images of the samples were evaluated and chemical structure of the fabric surfaces were characterized. The most withstanding outcome was obtained by the two stages application of floaloalkyloligosiloxan, cyclodextrin, crosslinking agent and catalyst altogether to Tencel™ fabric surfaces.

**Keywords:** Tencel™, Cyclodextrin, Crosslinking agent, Water repellency, Oil repellency, Washing durability

\* Deniz Tekstil San. ve Tic. A.Ş., 20160, Denizli, Türkiye

\*\* Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 20160, Denizli, Türkiye

İletişim Yazarı: Buket ARIK (barik@pau.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Selüloz veya protein esaslı doğal polimerlerden elde edilen ancak daha sonra kimyasal işlemler yapılarak özellikleri değiştirilen lifler tekstilde rejenere lifler olarak adlandırılmaktadır. Selüloz esaslı kaynaklara daha kolay ulaşılabilir olması, bol bulunabilmesi ve diğer taraftan protein esaslı kaynakların gıda amaçlı kullanımının daha fazla olması nedeniyle tekstilde daha çok selüloz esaslı rejenere lifler kullanılmaktadır. Rejenere selüloz lifleri, birinci nesil viskon lifleri, ikinci nesil modal lifleri ve üçüncü nesil olarak lyocell lifleri olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Bilir ve Şardağ, 2017; Basit ve diğ., 2018; Jiang ve diğ., 2020). Lyocell liflerinin ticari bir adı olan Tencel™ lifleri, diğer rejenere selüloz liflerinden farklı bir şekilde üretildiğinden (üretiminde hidrojen bağlarını zayıflatan sodyum hidroksit ve karbondisülfür yerine çevre dostu bir organik çözügen olan N-Metil-Morfolin-N-oksidi (NMMO) kullanılmaktadır) kimyasal bileşimi diğerleri ile aynı olmasına rağmen lif yapısı kısmen farklıdır. Tencel™ liflerinin kristalin bölge oranı ve mukavemet özellikleri diğer rejenere liflere göre daha yüksektir (Guo ve diğ., 2021). Özellikle yaş kopma dayanımlarının ve modüllerinin yüksek olması, boyut stabilitesi açısından önem taşımaktadır (Basit ve diğ., 2019; Sayyed ve diğ., 2019). Ayrıca doğal olmaları ve nemi çok iyi transfer edebilmeleri sayesinde Tencel™ kumaşlar nefes alabilir özellik göstermekte ve vücudun terlemesi durumunda rahatsızlık hissi vermemektedir (Çay, 2017; Akbulut ve diğ., 2023).

Su iticilik işlemlerinde liflerin yüzeyinde ince ve hidrofob bir film tabakası oluşturulmakta, tekstil malzemesinin üst yüzey gerilimi arttırılmakta ve su moleküllerine karşı bir direnç sağlanmaktadır. Böylece su molekülleri, kumaş yüzeyinde kürecikler halinde kalmaktadır. Su iticilik kazandırmak için parafin emülsiyonları, reçineler ve silikonlar gibi pek çok alternatif kimyasal olmasına rağmen hem su hem yağ iticilik kazandırmak için florokarbonlar kullanılmalıdır. Florokarbonların kimyasal yapısında iki veya daha fazla flor atomu bir karbon atomuna bağlanmakta ve su iticilik kimyasallarının tersine kumaşın üst yüzey gerilimini düşürmektedir. Yani, kumaştaki yüzey geriliminin her iki şekilde de değişmesi sıvı bir maddenin yüzeyde kalmasını sağlamaktadır. Diğer taraftan, su veya yağ iticilik gibi hidrofob/oleofob etki sağlayan bitim işlemleri de kumaş gözeneklerini kapatmadığı için nefes alabilirlik açısından olumsuz bir etkiye neden olmamaktadır (Çoban, 1999). Ancak, bu işlemlerin etkisi zayıf mekanik bağlanma nedeniyle özellikle yıkama ve kuru temizleme gibi işlemler sonrası azalmaktadır (Wright ve diğ., 2020). Floroalkiloligosiloksan (Dynasylan F 8815) da flor içerikli ve silanol esaslı bir nanosol kaplama kimyasalı olup, doğal liflerin su, yağ ve kir iticilik gibi özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Ciriminna ve diğ., 2020; Periyasamy ve diğ., 2020). Aynı şekilde bu kaplamaların da tekstil yüzeyine tutunma özellikleri ve yıkama dayanımları düşük olduğundan bağlayıcı madde ilavesi gerekmektedir (Ciriminna ve diğ., 2020).

Siklodekstrinler,  $\alpha$ -1,4 bağı ile bağlanmış glikopiranoz yapıtaşlarından oluşan oligosakkaritlerdir. İçerdikleri glikopiranoz ünitesi sayısına göre altı ise alfa ( $\alpha$ ), yedi ise beta ( $\beta$ ), sekiz ise gama ( $\gamma$ ) şeklinde isimlendirilmektedirler (Radu ve diğ., 2016; Azizi ve diğ., 2019). Siklodekstrinler, hidrofobik bir boşluk ve hidrofilik bir dış yüzeyden oluşan konik bir yapıya sahiptir. Bu yapı sayesinde organik bileşikler hidrofobik boşluğa yerleşerek inklüzyon kompleksi denilen bir kompleks yapabilmektedirler. Inklüzyon kompleksleri de organik bileşiklerin buharlaşma basıncını azaltarak kontrollü bırakılmasını sağlamaktadır (Bezerra ve diğ., 2020; El-Sayed ve diğ., 2021). Inklüzyon kompleksleri tekstil yüzeylerine Van der Waals, hidrojen köprüleri veya hidrofobik etkileşimlerle bağlanmaktadır (El-Sayed ve diğ., 2021). Siklodekstrinler, doğal, biyoparçalanabilir, biyoyumlu ve çevre dostu ürünler olduğundan tekstilde kullanımları giderek artmaktadır (Radu ve diğ., 2016; Bezerra ve diğ., 2020). Tekstilde genel kullanım alanları boya, baskı, bitim ve atık su arıtma işlemleridir. Bitim işlemlerinde antibakteriyel etki (Novikov ve diğ., 2018), sinek kovma (Khanna ve Chakraborty, 2018) ve kontrollü koku salma (Lis ve diğ., 2018) gibi amaçlarla kullanımına ilişkin çalışmalar literatürde yer almaktadır. Ancak su ve yağ iticilik işlemlerinin etki süresinin arttırılması amacıyla siklodekstrin kullanımına ilişkin bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

1,2,3,4-Butantetrakarboksilik asit (BTCA), bir çapraz bağlayıcı ve dört adet karboksil grubu içeren bir polikarboksilik asittir. BTCA, bu karboksil grupları sayesinde hidroksil grubu içeren bileşiklerle ester bağları ve böylece anhidrit yapısı oluşturabilmektedir (Schramm ve Rinderer, 2015). Sodyumhipofosfit (SHP) de BTCA ile birlikte kullanıldığında bitim işlemlerinin etkisini arttıran önemli bir katalizördür. Siklodekstrinlerin tekstil yüzeylerine kovalent bağlanmasında BTCA ve SHP genellikle birlikte kullanılmaktadır (Abdel-Halim ve diğ., 2011).

Tencel™ lifi ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda, Bilir ve Şardağ (2017) değişik oranlardaki Tencel™ pamuk karışımı ipliklerin fiziksel özelliklerini incelemişler ve karışımdaki Tencel™ lifi oranı arttıkça ipliklerin mukavemet ve düzgünsüzlük özelliklerinin iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Bilir ve Şardağ (2019) Tencel™ içeren dokuma kumaşların mekanik özelliklerini araştırmışlar ve benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Farha ve diğ. (2019) Tencel™ lifi içerikli örme kumaşların yapısal özelliklerini incelemişlerdir. Rehman ve diğ. (2018) Tencel™ kumaşları nar kabuğuyla boyanmış ve renk verimi, haslık ve antibakteriyel özelliklerini araştırmışlardır. Nar kabuğuyla boyanmış Tencel™ kumaşların biyomedikal amaçlı kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Özen ve İşmal (2023) benzer şekilde doğal boyaların önemine dikkat çekmişler ve çeşitli bitkileri ve bitkisel atıkları lyocell (Tencel™) kumaşların renklendirilmesi için kullanmışlardır. Akbulut ve diğ. (2023) farklı boyama yöntemlerinin Tencel™ kumaşın bazı performans özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmişler ve özellikle yırtılma mukavemeti açısından değerlendirildiğinde e-control boyamanın jet boyama ve pad-batch boyamaya göre daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bu çalışmada, rejenere selüloz lifleri içerisinde en iyi mekanik ve konfor özelliklerine sahip Tencel™ liflerinin bu özelliklerini korumak ve aynı zamanda yıkamaya dayanıklı su ve yağ itici özellik kazandırmaya odaklanılmıştır. Gerçekleştirilen güncel literatür taramasında Tencel™ liflerinden elde edilen kumaşlarla buna benzer bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu amaçla, su ve yağ itici bir madde olan floroalkiloligosiloksan;  $\beta$ -siklodekstrin, BTCA ve SHP gibi çeşitli yardımcı maddelerle kombine edilmiş ve farklı işlemlerle Tencel™ kumaşlara uygulanmıştır. Floroalkiloligosiloksan (Dynasytan F 8815) üç fonksiyonlu organik bir bileşik olup, su ve yağ itici etki sağlamak için kullanılmıştır. Bu bileşikte reaktif silanol grupları inorganik substrata kimyasal olarak bağlanabilmeyi, aminoalkil fonksiyonlu gruplar suda çözünürlüğü, floroalkil fonksiyonlu gruplar ise son derece düşük yüzey enerjisinin elde edilmesini sağlamaktadır.  $\beta$ -siklodekstrin, floroalkiloligosiloksan ile inklüzyon kompleksi oluşturarak kontrollü salım sağlamak ve elde edilen etkileri daha uzun süre korumak için kullanılmıştır. BTCA çapraz bağlanma ile yıkama dayanımını geliştirmek, SHP de BTCA'yı katalizlemek için kullanılmıştır. Ardından Tencel™ kumaşların su ve yağ iticilik performansları, tekrarlı yıkama dayanımları ve fiziksel özellikleri karşılaştırılmıştır. Numunelere ayrıca mikroskopik inceleme ve karakterizasyon analizleri de uygulanmış ve sonuçları yorumlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyaller

Yapılan çalışmada iplik numarası Ne 28/1 olan Tencel™ ring iplikten üretilmiş, gramajı 150 g/m<sup>2</sup> olan %100 Tencel™ süprem örme kumaş kullanılmıştır. Su ve yağ iticilik bitim işlemleri için de Floroalkiloligosiloksan (1,058 g/cm<sup>3</sup>, Dynasytan F 8815, Evonik),  $\beta$ -siklodekstrin (1135 g/mol, Kleptose, Roquette), 1,2,3,4-Butantetrakarboksilik asit (234,16 g/mol, Sigma Aldrich), Sodyumhipofosfit (87,98 g/mol, Sigma Aldrich) temin edilmiş ve bu ürünlerle yedi farklı işlem reçetesi hazırlanarak Tencel™ kumaşlara uygulanmıştır.

## 2.2. Yöntemler

### 2.2.1. Su ve yağ iticilik bitim işlemleri

Tencel™ kumaşlara su ve yağ itici özellik kazandırmak için uygulanan işlem reçeteleri Tablo 1’de verilmektedir.

**Tablo 1. Çalışmada kullanılan işlem reçeteleri**

Kimyasallar	1. İşlem	2. İşlem	3. İşlem	4. İşlem	5. İşlem	6. İşlem	7. İşlem
1. Aşama							
Floroalkiloligosiloksan (g)	10		10		10		10
β-Siklodekstrin (g)		10	10	10	10	10	10
BTCA (g)				5	5	10	10
SHP (g)				2,5	2,5	5	5
Su (mL)	100	100	100	100	100	100	100
2. Aşama (1. aşamada fiksaj yapıldıktan sonra)							
Floroalkiloligosiloksan (g)		10		10		10	
Su (mL)		100		100		100	

Kimyasal çözeltiler Tablo 1’e göre hazırlanarak homojen görünüm elde edilinceye kadar yaklaşık 2 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından Tencel™ kumaşlara alınan flote oranı %90 olacak şekilde laboratuvar tipi fulard (Proser/Y002) ile emdirme işlemi yapılmıştır. Emdirme işlemi sonrasında ramözde (Proser/Y003) 100°C’de 5 dk kurutulmuş ve daha sonra sıcaklık değiştirilerek aynı makinede 150°C’de 5 dk fikse edilmiştir. İki aşamalı işlemlerde bu adımlar aynı sıralamada iki kez tekrarlanmıştır. Bu şekilde toplam 7 adet işlemler ve 1 adet işlemsiz olmak üzere 8 adet numune elde edilmiştir.

Numune kodları aşağıdaki şekildedir.

T-0: İşlemsiz numune

T-1: Yalnızca floroalkiloligosiloksan

T-2: β-siklodekstrin+floroalkiloligosiloksan (İki aşamalı)

T-3: β-siklodekstrin+floroalkiloligosiloksan (Tek aşamalı)

T-4: β-siklodekstrin+BTCA(%5)+SHP(%2,5)+floroalkiloligosiloksan (İki aşamalı)

T-5: β-siklodekstrin+BTCA(%5)+SHP(%2,5)+floroalkiloligosiloksan (Tek aşamalı)

T-6: β-siklodekstrin+BTCA(%10)+SHP(%5)+floroalkiloligosiloksan (İki aşamalı)

T-7: β-siklodekstrin+BTCA(%10)+SHP(%5)+floroalkiloligosiloksan (Tek aşamalı)

### 2.2.2. Yıkama işlemleri

Yıkama işlemleri için ISO 105-C10:2006 standardı esas alınmış ve 40°C’de 30 dk 5 g/L fosfatsız deterjan ile Gyrowash makinasında gerçekleştirilmiştir. Ardından 10 dk soğuk suda durulama ve oda sıcaklığında kurutma yapılmıştır. Kurutmadan sonra 190°C’de 10 s ısıtma işlemi yapılarak kumaş yüzeyleri düzleştirilmiştir. Yıkama sonrası işlemlerin kalıcılığını tespit etmek için de ilk yıkamada etkili bulunan numunelere beş ve on tekrarlı yıkama yapılmış ve testler tekrarlanmıştır.

### 2.2.3. Su ve yağ iticilik özelliklerinin belirlenmesi

Sprey su iticilik testi TS EN ISO 4920 standardına uygun şekilde yapılmıştır. Su akışı bittikten sonra kumaşın ıslanma durumu değerlendirme skalası ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. Bu değerlendirme için en iyi sonuç 100 ve en kötü sonuç ise 0'dır. Bu testi yaparken ayrıca numunelerin ağırlıkları da ölçülmüş ve ıslandıktan sonra oluşan artış yüzdesel olarak belirlenmiştir.

3M su iticilik test yöntemi için ise numuneler düzgün şekilde serilerek üzerlerine farklı su ve alkol oranlarına sahip test sıvıları üç damla halinde verilmiştir. 10 s gözlem yapıldıktan sonra damlalardan en az ikisi kalmışsa diğer sıvı ile işlem tekrarlanmıştır. Numunenin testini geçtiği en yüksek numara test sonucu olarak belirlenmiştir.

Yağ iticilik testi AATCC 118-2002 standardına uygun şekilde numunelere yapılmıştır. Bu amaçla numunelerin üzerine farklı yüzey gerilim değerlerine sahip yağlar damlatılmış ve yağ damlalarının kumaş tarafından emilme veya yüzeyde kalma durumu gözlemlenmiştir. 30 s sonunda damlalardan en az ikisi kalmışsa diğer sıvı ile işlem tekrarlanmıştır. Numunenin testini geçtiği en yüksek numara test sonucu olarak belirlenmiştir.

### 2.2.4. Patlama mukavemetinin belirlenmesi

Patlama mukavemeti testi ISO 13938-2 standardına uygun şekilde James Heal markalı cihazda yapılmıştır. Patlama süresi  $20 \pm 5$  s olarak ayarlandıktan sonra en az 3 tekrarlı ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

### 2.2.5. Tutum değişiminin belirlenmesi

Tutum değişiminin belirlenmesi için TS 1409 standardına uygun şekilde Shirley markalı cihazda numunelerin farklı konumlarda eğilme uzunlukları ölçülmüş ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Örme kumaşlarda sarkma esnasında kıvrılma sorununun en aza indirilmesi için bu testin hemen öncesinde  $190^\circ\text{C}$ 'de 10 s ısıtma işlemi yapılarak kumaş yüzeyleri düzleştirilmiştir. Daha sonra eğilme uzunluğu ortalaması (L) ve kumaş gramajı (W) kullanılarak eğilme rijitliği (G) aşağıdaki denklem yardımıyla sıra yönünde ve çubuk yönünde ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$G = 0.1 \times W \times L^3 \quad (1)$$

Genel eğilme rijitliğinin ( $G_0$ ) hesaplanmasında ise aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$G_0 = \sqrt{G_s \times G_\zeta} \quad (2)$$

Burada  $G_s$ , sıra yönündeki eğilme rijitliğini,  $G_\zeta$  ise çubuk yönündeki eğilme rijitliğini göstermektedir.

Tüm testler öncesinde numuneler  $20^\circ\text{C}$  %65 bağıl nem altında 24 saat kondisyonlanmış ve test sırasında en az 3 tekrarlı ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır.

### 2.2.6. Beyazlık-sarılık indislerinin belirlenmesi

Beyazlık indisi için "Stensby", sarılık indisi için ise "E 313" değerleri kullanılarak Data Color 600TM markalı spektrofotometre cihazında numunelerin işlemler sonrası renk değişim durumları belirlenmiştir. Ölçümler 5 tekrarlı yapılmış ve ortalaması alınmıştır.

### 2.2.7. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X ışını (EDX) analizleri

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) altında görüntülerinin incelenmesinin öncesinde iletkenliğin artırılması için numunelere Quorum Q150R ES cihazı ile 6 dk kaplama işlemi yapılmıştır. Bu amaçla kaplama maddesi olarak altın ve paladyum karışımı kullanılmıştır. Numunelerin yüzey görüntüleri Zeiss Supra 40VP cihazında 10 kV EHT değerinde 5000x yakınlaştırmalı şekilde çekilmiştir. EDX analizi de Zeiss Supra 40VP cihazında yapılmış ve numune yüzeylerindeki elementlerin atomik yüzde değerleri belirlenmiştir.

### 2.2.8. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) analizi

Numunelerin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) analizleri Thermo Nicolet iS50 cihazında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm derinliği 1 mikron, çözünürlük 4 cm<sup>-1</sup> olacak şekilde ayarlanmıştır. Ölçümler 4000 ile 400 cm<sup>-1</sup> arasında yapılmıştır.

## 3. BULGULAR

### 3.1. Su ve yağ iticilik performans bulguları

Tencel™ kumaşların su iticilik test bulguları Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 2. Tencel™ kumaşların su iticilik test bulguları**

Numune	Yıkama yapılmamış		1 kez yıkanmış		5 kez yıkanmış		10 kez yıkanmış	
	Sprey	3M	Sprey	3M	Sprey	3M	Sprey	3M
T-0	0	0	-	-	-	-	-	-
T-1	100	6	90	5	90	4	80	3
T-2	90	6	90	6	90	4	90	3
T-3	90	5	90	5	90	4	90	3
T-4	100	7	90	7	90	6	90	4
T-5	90	5	90	5	90	4	70	3
T-6	100	6	90	6	90	6	90	4
T-7	80	4	80	4	80	4	70	3

Tüm işlemlerde floroalkiloligosiloksan kullanıldığı ve bu sayede Tencel™ kumaşların üst yüzey gerilimi değiştiği için yıkama öncesi su iticilik değerleri yüksek çıkmıştır. İşlemsiz numune (T-0) ise tamamen hidrofilyk özellik göstermiştir.

Ancak yıkama işlemleri sonrasında uygulanan reçetelere göre değişimler gözlenmiştir. Buna göre bir kez yıkanmış numunelerin su iticilik test bulguları karşılaştırıldığında T-2, T-4 ve T-6 kodlu numunelerin performansları başarılı bulunmuştur.

Beş kez yıkanmış numunelerde sprej testte tamamen aynı bulgular elde edilmiş ve etkinin devam ettiği gözlenmiştir. Ancak 3M test yönteminde T-4 ve T-6 diğer numunelere göre belirgin bir fark göstermiştir.

On kez yıkanmış numunelerde hem sprej hem de 3M testte değişimler gözlenmiştir. Sprej test sonuçları yine birbirine benzer çıkmış ancak 3M testinde T-4 ve T-6 bir derece daha iyi performans göstermiştir. Buna göre birinci aşamada β-siklodekstrin+BTCA+SHP, ikinci aşamada ise floroalkiloligosiloksan uygulamasının yıkama dayanımı açısından en iyi sonuçları verdiği

anlaşılmıştır. En iyi performansı gösteren her iki numunenin de sonuçları birebir eşit olduğu için de BTCA ve SHP konsantrasyonunda artış yapılmasının sonucu değıştirmedığı belirlenmiştir.

Ayrıca sprey testleri aşamasında numunelerin ağırlıkları da ölçülmüştür ve ağırlık artış yüzdelere göre de performans değeriendirilmesi yapılmıştır. Tencel™ kumaşların sprey test sonrası ağırlık artışı bulguları Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3. Tencel™ kumaşların sprey test sonrası ağırlık artışı bulguları**

Numune	Ağırlık Artışı (%)			
	Yıkama yapılmamış	1 kez yıkanmış	5 kez yıkanmış	10 kez yıkanmış
T-0	119	-	-	-
T-1	4	12	26	27
T-2	8	9	20	37
T-3	10	11	18	34
T-4	2	9	11	22
T-5	17	23	24	44
T-6	5	9	11	25
T-7	32	32	34	36

Tablo 3'te verildiği üzere işlemsiz Tencel™ kumaşla (T-0) kıyaslandığında yapılan işlemler sonrasında yüzde ağırlık artışı belirgin şekilde azalmıştır. Buradan da su iticilik etkinliği açısından önemli bir gelişme olduğu anlaşılmıştır. Yıkama sayısı arttıkça yüzde ağırlık artışında da artma olduğu gözlenmiştir. Bu da tekrarlı yıkama işlemlerinin su iticilik etkisini az da olsa düşürdüğünü göstermiştir. Sıralama açısından bakıldığında da ağırlık artış sonuçlarının su iticilik test verileriyle uyum gösterdiği belirlenmiştir.

Tencel™ kumaşların yağ iticilik test bulguları Tablo 4'te verilmektedir.

**Tablo 4. Tencel™ kumaşların yağ iticilik test bulguları**

Numune	Yıkama yapılmamış	1 kez yıkanmış	5 kez yıkanmış	10 kez yıkanmış
T-0	0	-	-	-
T-1	5	4	4	3
T-2	5	5	3	3
T-3	5	4	4	4
T-4	6	5	5	5
T-5	5	4	4	4
T-6	6	6	6	5
T-7	4	4	4	4

Yağ iticilik test bulgularına göre hem yıkama öncesinde hem de tekrarlı yıkamalar sonrasında T-4 ve T-6 kodlu numunelerin performansları diğerlerinden daha başarılı bulunmuştur. Buna göre birinci aşamada  $\beta$ -siklodekstrin+BTCA+SHP, ikinci aşamada ise floroalkiloligosiloksan uygulamasının yıkama dayanımı açısından en iyi sonuçları verdiği anlaşılmıştır. Su iticilik performansında da görüldüğü gibi BTCA ve SHP konsantrasyonunda artış yapılmasının sonucu çok etkilemediği gözlenmiştir. Bu durumda da BTCA'nın selülozun ve/veya siklodekstrinin

hidroksil grubu ile çapraz bağ oluşturması sayesinde yıkama dayanımının arttığı ve iki aşamalı işlemde de fiksajın tekrarlı yapılmasının yüzeydeki bağlanmayı sağlamlaştırdığı sonucuna ulaşılmaktadır.

### 3.2. Patlama mukavemetine ilişkin bulgular

Tencel™ kumaşların patlama mukavemeti bulguları Tablo 5'te verilmektedir.

**Tablo 5. Tencel™ kumaşların patlama mukavemeti bulguları**

Numune	Patlama Mukavemeti (kPa)	Patlama Mukavemeti Azalması (%)
T-0	220	-
T-1	211	4
T-2	217	1
T-3	215	2
T-4	189	14
T-5	188	15
T-6	177	19
T-7	176	20

Tencel™ lifinin yüksek kristalizasyon ve yüksek oryantasyon özellikleri sayesinde Tencel™ lifi esaslı kumaşlar genelde yüksek mukavemet özellikleri göstermektedir (Zhang ve diğ., 2018; Bilir ve Şardağ., 2019; Akbulut ve diğ., 2023). Patlama mukavemeti test bulgularına göre yapılan işlemler minimum % 1 maksimum % 20 oranında mukavemet azalmasına yol açmıştır. En az değişim T-1, T-2 ve T-3 kodlu numunelerde gözlenirken en fazla değişim T-4, T-5, T-6 ve T-7 kodlu numunelerde meydana gelmiştir. Buna göre BTCA ve SHP ile işlem yapılması sonucunda oluşan çapraz bağlanmanın patlama mukavemetinin düşmesine yol açtığı anlaşılmıştır. BTCA ve SHP'nin konsantrasyonunun artması da patlama mukavemetini biraz daha düşürmüştür. Çapraz bağlanma diğer bir deyişle BTCA'nın selülozla esterleşme reaksiyonu vermesi, kumaş yüzeyindeki proton konsantrasyonunu azaltarak selülozun depolimerizasyonuna yani monomerlerine parçalanmasına yol açmakta bunun sonucunda da patlama mukavemeti düşmektedir (Wu ve diğ., 2010; Aksoy ve Genç., 2015). Diğer taraftan işlemin tek aşamada ya da iki aşamada uygulanmasının belirgin bir etkisi görülmemiştir.



### 3.3. Eğilme uzunluğu ve rijitliğine ilişkin bulgular

Tencel™ kumaşların eğilme uzunluğu ve rijitliği bulguları Tablo 6’da verilmektedir.

**Tablo 6. Tencel™ kumaşların eğilme uzunluğu ve rijitliği bulguları**

Numune	Sıra Yönü		Çubuk Yönü		Genel Eğilme Rijitliği (mg.cm)
	Eğilme Uzunluğu (cm)	Eğilme Rijitliği (mg.cm)	Eğilme Uzunluğu (cm)	Eğilme Rijitliği (mg.cm)	
T-0	0,7	5,1	0,6	3,2	4,1
T-1	1,0	14,5	1,0	15,0	14,8
T-2	0,7	6,3	0,8	9,2	7,6
T-3	0,7	5,8	0,8	7,7	6,7
T-4	0,7	5,8	0,7	5,1	5,5
T-5	0,7	5,1	0,6	4,1	4,6
T-6	0,9	10,9	0,9	12,1	11,5
T-7	0,8	9,2	0,9	10,9	10,0

Eğilme uzunluğu ve rijitliği bulgularına göre yapılan işlemlerin tümünün tutumda sertleşmeye yol açtığı gözlenmiştir. En yüksek sertlik değeri T-1 kodlu numunede gözlenmiştir. Bu numuneye yapılan işlemde yalnızca floroalkiloligosiloksan tek aşamada uygulanmıştır. Buna göre floroalkiloligosiloksanın yardımcı maddelerle birlikte kumaşa uygulanmasının tutumu daha az olumsuz etkilediği anlaşılmıştır. Özellikle siklodekstrin kullanılmasının Tencel™ kumaşların tutumu açısından ciddi sayılabilecek olumsuz bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. BTCA ve SHP kullanımı açısından bakıldığında ise konsantrasyon artışının tutumu olumsuz etkilediği gözlenmiştir. İşlem yöntemine göre değerlendirme yapıldığında da fiksaj işleminin iki kere yapılması nedeniyle iki aşamalı yöntemde tek aşamalı yöntemde göre biraz daha fazla sertleşme şeklinde tutum değişiminin olduğu belirlenmiştir.

### 3.4. Beyazlık - sarılık indislerine ilişkin bulgular

Tencel™ kumaşların beyazlık-sarılık indis bulguları Tablo 7’de verilmektedir.

**Tablo 7. Tencel™ kumaşların beyazlık-sarılık indis bulguları**

Numune	Beyazlık İndisi (Stensby)	Sarılık İndisi (E 313)
T-0	79	5
T-1	75	8
T-2	78	6
T-3	77	7
T-4	78	6
T-5	76	8
T-6	75	8
T-7	73	10

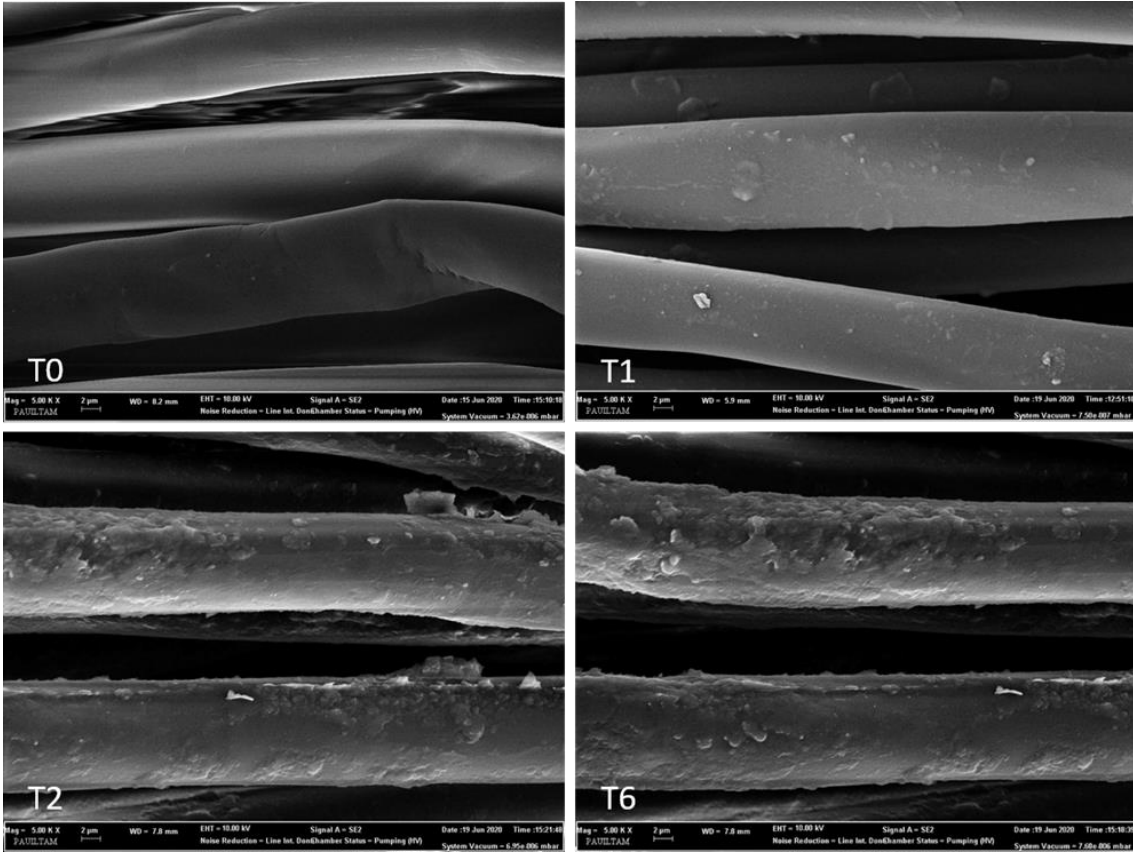
Isıl işlemler, glikozidik bağların hidrolizi, hidroksil grupların oksidasyonu veya selüloz zincirinin dehidrasyonu gibi olası reaksiyonlar vermekte ve bu da selülozik materyallerde sararmaya neden olmaktadır. Ayrıca BTCA'nın da sarılık indisini arttırdığı bilinmektedir (Schramm ve Rinderer, 2015). Beyazlık ve sarılık indis bulgularına göre yapılan işlemler beyazlığın azalmasına ve sarılığın artmasına neden olmuştur. Ancak değerler birbirine çok yakın ve değişim çok az olduğundan genel olarak işlemlerin renk değişimi açısından önemli sayılabilecek bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

### 3.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X ışını (EDX) analiz sonuçları

Tencel™ kumaşlara yapılan işlemlerin yüzey morfolojisine etkilerinin incelenmesi için taramalı elektron mikroskobu kullanılmış ve 4 numune (T-0: İşlemsiz numune, T-1: Yalnızca floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune, T-2:  $\beta$ -siklodekstrin+ floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune, T-6:  $\beta$ -siklodekstrin + BTCA + SHP + floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune) üzerinde detaylı inceleme yapılmıştır.

Temsili numunelerin seçiminde farklı kimyasal kombinasyonlarının uygulanmış olmasına dikkat edilmiştir.

Tencel™ kumaşların SEM görüntüleri Şekil 1'de verilmektedir.



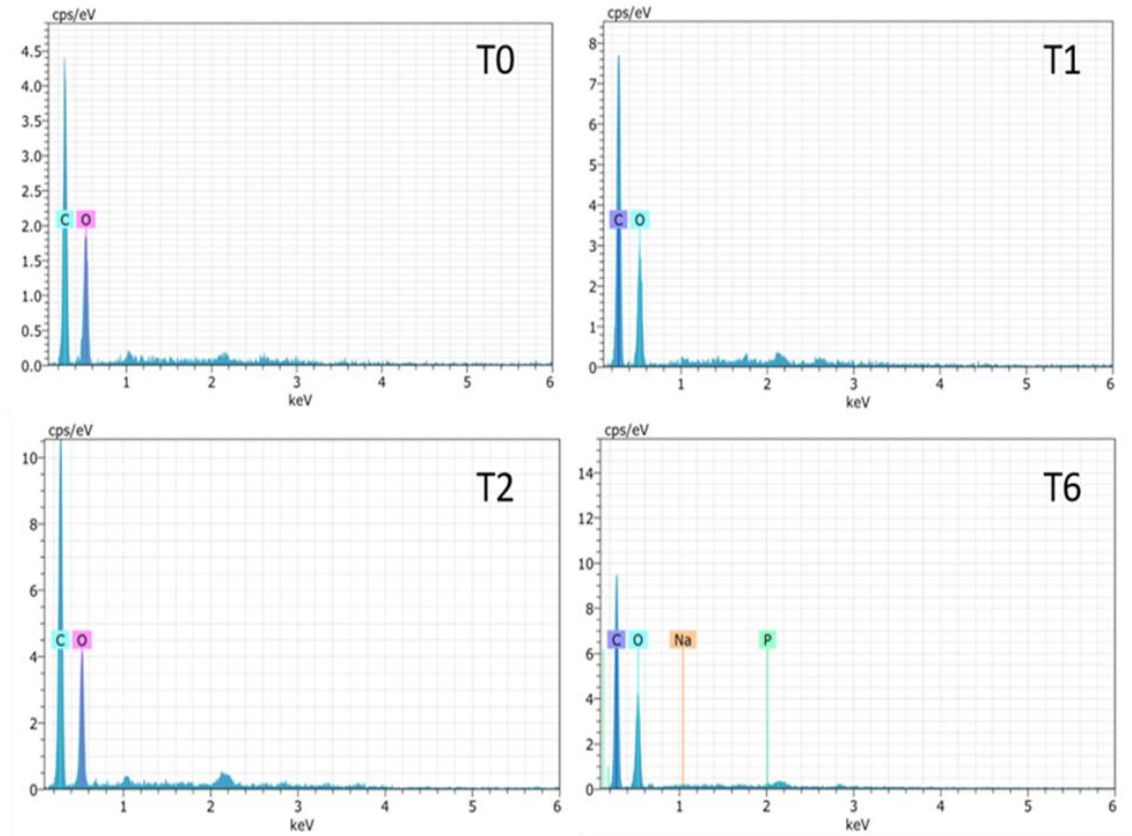
**Şekil 1:**

*Tencel™ kumaşların SEM görüntüleri, T-0: İşlemsiz numune, T-1: Yalnızca floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune, T-2:  $\beta$ -siklodekstrin+ floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune, T-6:  $\beta$ -siklodekstrin+BTCA+SHP+ floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune*

Tencel™ kumaşlar için SEM görüntülerine bakıldığında işlemsiz numunenin (T-0) yüzeyinin düz ve temiz olduğu görülmüştür. Önceki çalışmalarda da enine kesitlerinin dairesel olduğu ve iç kısmında lif eksenine paralel şekilde dizilmiş çok sayıda fibrilden ve ince bir dış yüzeyden oluştuğu belirtilmiştir (Zhang ve diğ., 2018; Jiang ve diğ., 2020).

Sadece birinci aşamada floroalkiloligosiloksan uygulanan kumaşın (T-1), SEM görüntüleri incelendiğinde, lif yüzeyinin işlem görmemiş kumaşa (T-0) benzediği tespit edilmiştir. Siklodekstrin içeren reçetelerin uygulandığı kumaşların (T-2, T-6) lif yüzeylerinde ise siklodekstrin inklüzyon komplekslerinin ve kümeleşmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle T-6 da BTCA ve SHP'nin de etkisine bağlı olarak yüzeyin daha pürüzlü hale geldiği belirlenmiştir. Siklodekstrinin -OH grubu ile BTCA'nın -COOH grubu arasındaki esterleşme reaksiyonunun kümeleşmeyi desteklediği düşünülmektedir. Benzer durum önceki çalışmalarda da gözlenmiştir (Lis ve diğ., 2018; Bezerra ve diğ., 2019; Kadam ve diğ., 2020).

T-0: İşlemsiz numune, T-1: Yalnızca floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune, T-2:  $\beta$ -siklodekstrin+floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune, T-6:  $\beta$ -siklodekstrin+BTCA+SHP+floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune yüzeylerindeki elementlerin içeriği ve oranı EDX analizi ile incelenmiştir. EDX grafikleri Şekil 2'de; elementlerin atomik yüzde değerleri de Tablo 8'de verilmektedir.



**Şekil 2:**

*Tencel™ kumaşların EDX grafikleri, T-0: İşlemsiz numune, T-1: Yalnızca floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune, T-2:  $\beta$ -siklodekstrin+floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune, T-6:  $\beta$ -siklodekstrin+BTCA+SHP+floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune*

**Tablo 8. Tencel™ kumaşlardaki elementlerin atomik yüzde değerleri**

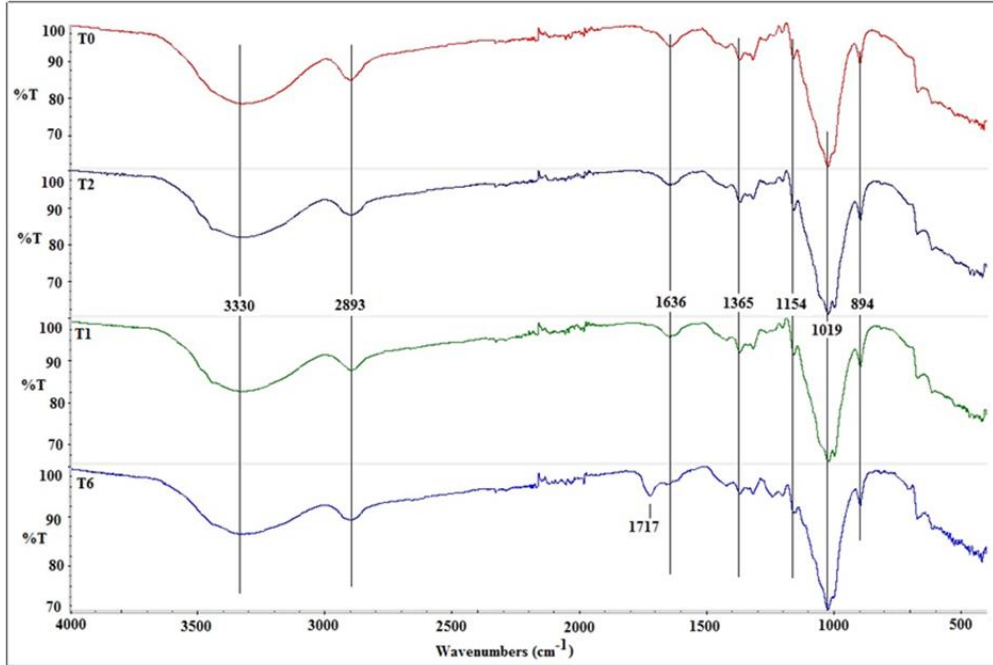
Numune	Elementlerin atomik yüzde değerleri (%)			
	C	O	P	Na
T-0	53,43	46,57	-	-
T-1	56,53	43,47	-	-
T-2	56,15	43,85	-	-
T-6	54,05	45,68	0,19	0,08

İşlemsiz Tencel™ kumaş (T-0) yüzeyinde %53,43 oranında C, %46,57 oranında O elementinin bulunduğu belirlenmiştir. Yapılan işlemler sonucunda C elementinin yüzdesinde artış, O elementinin yüzdesinde azalma gözlenmiştir. Beklenenin aksine floroalkiloligosiloksan kaynaklı yeni bir element (F ya da Si gibi) çıkmamıştır. Bu elementlerin tahminen organik bileşik içerisinde ve eser miktarda olduğu için saptanamadığı düşünülmektedir. Yalnızca T-6 kodlu numunede SHP katalizörünün içeriğine bağlı olarak çok az miktarda P ve Na elementlerine rastlanmıştır.

Günümüzde florokarbonların zararlı çevresel etkileri nedeniyle su ve yağ iticilik işlemlerinde flor içermeyen ya da flor içeriği düşük kimyasalların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu açıdan bakıldığında da sol-jel teknolojisinin sunduğu floroalkiloligosiloksan gibi nanosol ürünler iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır (Periyasamy ve diğ., 2020).

### 3.6. Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FT-IR) analiz sonuçları

Tencel™ kumaşların Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FT-IR) grafiği Şekil 3'te verilmektedir.



**Şekil 3:**

*Tencel™ kumaşların Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FT-IR) grafiği, T-0: İşlemsiz numune, T-1: Yalnızca floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune, T-2:  $\beta$ -siklodekstrin+floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune, T-6:  $\beta$ -siklodekstrin+BTCA+SHP+ floroalkiloligosiloksan ile işlem görmüş numune*

T-0, T-1, T-2 ve T-6 kodlu numunelerin FT-IR analizinde selülozik kumaşlarda görülen ve daha önceki çalışmalarda da verilen bantlara rastlanmıştır. Bunlar sırasıyla 3330  $\text{cm}^{-1}$ : O-H titreşimi; 2893  $\text{cm}^{-1}$ : C-H titreşimi, 1636  $\text{cm}^{-1}$ : O-H titreşimi, 1154  $\text{cm}^{-1}$ : asimetrik C-O-C titreşimi, 1019  $\text{cm}^{-1}$ : C-O bağı ve 894  $\text{cm}^{-1}$ : glikozidik bağlar ve titreşim bantlarıdır (Abdel-Halim ve diğ., 2011; Rehman ve diğ., 2018; Schramm, 2020).

T-0, T-1 ve T-2 grafikleri birbirine oldukça benzer çıkmıştır. Yani yalnızca floroalkiloligosiloksan ve  $\beta$ -siklodekstrin+floroalkiloligosiloksan uygulamaları piklerin yerinde herhangi bir değişime neden olmamıştır ve önceki piklerle çakışma göstermiştir.  $\beta$ -siklodekstrin ile ilgili önceki çalışmalarda yer alan FT-IR analizleri de bu çakışma durumunu doğrulamıştır (Andrade ve diğ., 2014; Lis ve diğ., 2018). Floroalkiloligosilokсандan kaynaklı yeni bir pik oluşmaması ya da bant genişliklerinde değişime neden olmaması yine kumaş üzerinde düşük miktarda bulunmasına bağlanmıştır. Benzer bir durum, selülozik kumaşlara florokarbon ile işlem yapılan önceki bir çalışmada da belirtilmiştir (Wright ve diğ., 2020). Yalnızca T-6 kodlu numunede 1717  $\text{cm}^{-1}$ 'de C=O geriliminden kaynaklı yeni bir pik oluştuğu görülmüştür. Bu yeni oluşan pik, BTCA'nın karboksil grubunun selülozun ve/veya siklodekstrinin hidroksil grubu ile çapraz bağ oluşturduğunu yani esterleşme reaksiyonu verdiğini kanıtlamaktadır (Schramm ve Rinderer, 2015; Lis ve diğ., 2018; Schramm, 2020).

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, Tencel™ kumaşların su ve yağ iticilik özelliklerinin yıkama dayanımlarının iyileştirilmesinde siklodekstrin ve çapraz bağlayıcının etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, floroalkiloligosiloksan (Dynasylan F 8815),  $\beta$ -siklodekstrin, çapraz bağlayıcı (BTCA) ve katalizör (SHP) kullanılarak yedi farklı işlem belirlenmiştir. Bu işlemlerden üçü iki aşamalı olarak diğerleri ise tek aşamalı olarak uygulanmıştır. Ardından numunelerin su iticilik, yağ iticilik, yıkama dayanımı, patlama mukavemeti, tutum ve sararma gibi özellikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca SEM-EDX ve FT-IR cihazları aracılığıyla Tencel™ kumaşların morfolojik ve karakteristik özellikleri ve işlemler sonrası meydana gelen yüzeyel ve kimyasal değişimleri tespit edilmiştir. Yıkama dayanımının en iyi olduğu (on yıkama sonrası) su ve yağ iticilik işlemi için Tencel™ kumaşların floroalkiloligosiloksan, siklodekstrin, çapraz bağlayıcı ve katalizör kombinasyonu ile işlem görmesi ve işlemin iki aşamada uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. En başarılı performansı sağlayan bu işlemin Tencel™ kumaşların patlama mukavemeti, tutum ve sararma gibi özellikleri açısından kabul edilebilir bir değişime neden olduğu yani uygulanabilir olduğu belirlenmiştir. SEM analizi ile işlemsiz Tencel™ lifinin düzgün bir yüzeye sahip olduğu ve işlemler sonrasında da siklodekstrin inklüzyon kompleksleri ile diğer kimyasalların partiküllerinin etkisiyle yüzeyin pürüzlü hale geldiği gözlenmiştir. EDX analizi ile işlemler sonrasında C elementinin yüzdesinde artış, O elementinin yüzdesinde azalma olduğu ve katalizör kaynaklı P ve Na elementlerinin yüzeye tutunduğu tespit edilmiştir. FT-IR analizi ile de numunelerde çıkan piklerin önceki çalışmalarla uyumlu olduğu ve işlemler sonrasında BTCA'nın çapraz bağ oluşturmasından kaynaklı yeni bir pik oluştuğu anlaşılmıştır. Tencel™ kumaşların yüzeyinin daha fonksiyonel hale getirilmesi konusunda yapılan bu çalışmanın bu alanda çalışan kişilere ve literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## YAZAR KATKISI

Bu makale, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda görevli öğretim üyesi Buket ARIK danışmanlığında gerçekleştirilen “Modal ve Tencel kumaşların su ve yağ iticilik performanslarının geliştirilmesinde siklodekstrin kullanımının araştırılması” adlı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Çalışmadaki denemeler, testler ve analizler Buket ARIK gözetiminde Deniz İLDİZ tarafından gerçekleştirilmiştir. Sonuçların analiz edilmesi ve yorumlanması Buket ARIK ve Deniz İLDİZ tarafından ortaklaşa yapılmıştır. Makale Buket ARIK tarafından yazılmış ve düzenlenmiştir. Her iki yazar da makalenin son taslağını okumuş ve onaylamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Abdel-Halim, E.S., Abdel-Mohdy, F.A., Fouda, M.M.G., El-Sawy, S.M., Hamdy, I.A. ve Al-Deyab, S.S. (2011) Antimicrobial activity of monochlorotriazinyl- $\beta$ -cyclodextrin/chlorohexidin diacetate finished cotton fabrics, *Carbohydrate Polymers*, 86(3), 1389–1394. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.039>
2. Akbulut, M., Doba Kadem, F. ve Oğulata, R.T. (2023) Tencel kumaşa uygulanan farklı boyama yöntemlerinin seçilmiş kumaş performans özelliklerine etkisinin değerlendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 38(4), 1107-1115. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1410772>
3. Aksoy, S.A. ve Genç, E. (2015) Functionalization of cotton fabrics by esterification cross-linking with 1, 2, 3, 4-butanetetracarboxylic acid (BTCA), *Cellulose Chemistry and Technology*, 49(5-6), 405-413.
4. Andrade, P.F., de Faria, A.F., da Silva, D.S., Bonacin, J.A. ve Gonçalves, M.D.C. (2014) Structural and morphological investigations of  $\beta$ -cyclodextrin-coated silver nanoparticles, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 118(1), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2014.03.032>
5. Azizi, N., Ben Abdelkader, M., Chevalier, Y. ve Majdoub, M. (2019) New  $\beta$ -cyclodextrin-based microcapsules for textiles uses, *Fibers and Polymers*, 20(4), 683-689. doi: 10.1007/s12221-019-7289-5
6. Basit, A., Latif, W., Baig, S.A., Rehman, A., Hashim, M. ve Rehman, M.Z.U. (2018) The mechanical and comfort properties of viscose with cotton and regenerated fibers blended woven fabrics, *Materials Science*, 24(2), 230-235. <https://doi.org/10.5755/j01.ms.24.2.18260>
7. Basit, A., Latif, W., Ashraf, M., Rehman, A., Iqbal, K., Maqsood, H.S., Jabbar, A. ve Baig, S.A. (2019) Comparison of mechanical and thermal comfort properties of Tencel blended with regenerated fibers and cotton woven fabrics, *Autex Research Journal*, 19(1), 80-85. <https://doi.org/10.1515/aut-2018-0035>
8. Bezerra, F.M., Carmona, Ó.G., Carmona, C.G., Plath, A.M.S. ve Lis, M. (2019) Biofunctional wool using  $\beta$ -cyclodextrins as vehiculizer of citronella oil, *Process Biochemistry*, 77(1), 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.11.018>
9. Bezerra, F.M., Lis, M.J., Firmino, H.B., Dias da Silva, J.G., Curto Valle, R.D.C.S., Borges Valle, J.A., Scacchetti, F.A.P. ve Tessaro, A.L. (2020) The role of  $\beta$ -cyclodextrin in the textile industry, *Molecules*, 25(3624), 1-28. <https://doi.org/10.3390/molecules25163624>

10. Bilir, T.B. ve Şardağ, S. (2017) Tencel ve pamuk karışımı ipliklerin performans özelliklerinin incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22(1), 13-28. <https://doi.org/10.17482/uumfd.305178>
11. Bilir, T.B. ve Şardağ, S. (2019) Investigation of mechanical properties of fabrics woven with lyocell/cotton blend yarns, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 29(2), 162-170. <https://doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.503392>
12. Ciriminna, R., Albo, Y. ve Pagliaro, M. (2020) Sol-gel nanocoatings to functionalize fibers and textiles: a critical perspective, *ChemistrySelect*, 5(31), 9776-9780. <https://doi.org/10.1002/slct.202001897>
13. Çay, A. (2017) Modelling of the drying behaviour of regenerated cellulosic fabrics, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 27(4), 373-381.
14. Çoban, S. (1999) *Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri*, Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, İzmir.
15. El-Sayed, E., Othman, H.A. ve Hassabo, A.G. (2021) Cyclodextrin usage in textile industry, *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*, 18(2), 111-119. doi: 10.21608/jtcps.2021.76238.1059
16. Farha, F.I., Farhana Iqbal, S.M. ve Mahmud, A. (2019) Compositional and structural influence on some weft-knitted fabrics comprised of cotton and lyocell yarn, *Journal of the Institution of Engineers (India): Series E*, 100(1), 11-19. <https://doi.org/10.1007/s40034-019-00135-3>
17. Guo, S., Li, X., Zhao, R. ve Gong, Y. (2021) Comparison of life cycle assessment between lyocell fiber and viscose fiber in China, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(8), 1545-1555. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01916-y>
18. Jiang, X., Bai, Y., Chen, X. ve Liu, W. (2020) A review on raw materials, commercial production and properties of lyocell fiber, *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(1), 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.03.002>
19. Kadam, V., Kyratzis, I.L., Truong, Y.B., Wang, L. ve Padhye, R. (2020) Air filter media functionalized with  $\beta$ -cyclodextrin for efficient adsorption of volatile organic compounds, *Journal of Applied Polymer Science*, 137(49228), 1-9. <https://doi.org/10.1002/app.49228>
20. Khanna, S. ve Chakraborty, J.N. (2018) Mosquito repellent activity of cotton functionalized with inclusion complexes of  $\beta$ -cyclodextrin citrate and essential oils, *Fashion and Textiles*, 5(9), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40691-017-0125-x>
21. Lis, M.J., García Carmona, Ó., García Carmona, C. ve Maestá Bezerra, F. (2018) Inclusion complexes of citronella oil with  $\beta$ -cyclodextrin for controlled release in biofunctional textiles, *Polymers*, 10(1324), 1-14. <https://doi.org/10.3390/polym10121324>
22. Novikov, M., Thong, K.L., Zazali, N.I.M. ve Hamid, S.B.A. (2018) Treatment of cotton by  $\beta$ -cyclodextrin/triclosan inclusion complex and factors affecting antimicrobial properties, *Fibers and Polymers*, 19(3), 548-560. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-7028-3>
23. Özen, Ö. ve İşmal, Ö.E. (2023) Doğadan ilham alan çevre dostu tasarımlar için bir potansiyel olarak lyocell lifleri ve doğal boyalar, *Sanat&Tasarım Dergisi*, 13(1), 201-213. <https://doi.org/10.20488/sanattasarim.1313959>
24. Periyasamy, A.P., Venkataraman, M., Kremenakova, D., Militky, J. ve Zhou, Y. (2020) Progress in sol-gel technology for the coatings of fabrics, *Materials*, 13(1838), 1-34. <https://doi.org/10.3390/ma13081838>

25. Radu, C.D., Parteni, O. ve Ochiuz, L. (2016) Applications of cyclodextrins in medical textiles-review, *Journal of Controlled Release*, 224(1), 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2015.12.046>
26. Rehman, F., Sanbhal, N., Naveed, T., Farooq, A., Wang, Y. ve Wei, W. (2018) Antibacterial performance of Tencel fabric dyed with pomegranate peel extracted via ultrasonic method, *Cellulose*, 25(7), 4251-4260. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1864-6>
27. Sayyed, A.J., Deshmukh, N.A. ve Pinjari, D.V. (2019) A critical review of manufacturing processes used in regenerated cellulosic fibres: viscose, cellulose acetate, cuprammonium, LiCl/DMAc, ionic liquids, and NMMO based lyocell, *Cellulose*, 26(5), 2913-2940. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02318-y>
28. Schramm, C. ve Rinderer, B. (2015) Non-formaldehyde, crease-resistant modification of cellulosic material by means of an organotrialkoxysilane and metal alkoxides, *Cellulose*, 22(4), 2811-2824. <https://doi.org/10.1007/s10570-015-0664-5>
29. Schramm, C. (2020) High temperature ATR-FTIR characterization of the interaction of polycarboxylic acids and organotrialkoxysilanes with cellulosic material, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 243(118815), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118815>
30. Wright, T., Mahmud-Ali, A. ve Bechtold, T. (2020) Surface coated cellulose fibres as a biobased alternative to functional synthetic fibres, *Journal of Cleaner Production*, 275(123857), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123857>
31. Wu, X., Yang, C.Q. ve He, Q. (2010) Flame retardant finishing of cotton fleece: part VII. Polycarboxylic acids with different numbers of functional group, *Cellulose*, 17, 859-870. <https://doi.org/10.1007/s10570-010-9416-8>
32. Zhang, S., Chen, C., Duan, C., Hu, H., Li, H., Li, J., Liu, Y., Ma, X., Stavik, J. ve Ni, Y. (2018) Regenerated cellulose by the lyocell process, a brief review of the process and properties, *BioResources*, 13(2), 4577-4592. doi: 10.15376/biores.13.2.Zhang