

Sitrik Asit ve TiO₂ Nanoparçacık Karışımlarının Yünlü Kumaşların Sararma ve Katlanma Açısına Etkisinin İncelenmesi

Sabiha SEZGİN BOZOK*¹ ORCID 0000-0002-8464-0405

R. Tuğrul OĞULATA¹ ORCID 0000-0003-2783-5246

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 02.08.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: SEZGİN BOZOK, S., OĞULATA, R.T., (2023). Sitrik Asit ve TiO₂ Nanoparçacık Karışımlarının Yünlü Kumaşların Sararma ve Katlanma Açısına Etkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 705-711.

Öz

Sitrik asit (C₆H₈O₇) tekstil yüzeyleri için çapraz bağlayıcı olarak kullanılabilen çevre dostu, insan sağlığına zararı olmayan, maliyeti düşük bir tür karboksilik asittir. Titanyum dioksit (TiO₂) nanoparçacıklar (NP) ise geniş yüzey alanı ile uygulandığı ürüne kendi kendini temizleyebilme, UV bloklama, vs gibi birçok fonksiyonel özellik kazandırabilen beyaz renkte pigmenttir. Sitrik asitin kumaşlarda buruşmazlık özelliğini arttırması gibi fayda sağladığı önceki çalışmalarda görülmüştür ancak bu kimyasalın tekstil yüzeylerine uygulanması sonucunda ürünü sarartma gibi bir dezavantajı bulunmaktadır. Bu çalışmada renksiz yünlü kumaşlar için TiO₂ NP süspansiyonları hazırlanmış ve farklı konsantrasyonlarda sitrik asitle karıştırılmıştır. Emdirme-kurutma-termofiksaj yöntemi ile kumaşlara applike edilmiştir. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizi ile TiO₂ süspansiyonu katkılı sitrik asitin lif yüzeyini değiştirdiği tespit edilmiştir. Sitrik asitle yünlü numunelerde sararma görülmüş ancak çözeltilere TiO₂ NP ilave edildiğinde numunelerdeki sararma oldukça azalmıştır. 15 gr/L sitrik asitle işlem gören yünlü numunelerin hem atkı hem çözgü yönünde katlanma açısı 4° arttırılabilmektedir, bu konsantrasyonda sitrik asit çözeltisine ilave edilen TiO₂ NP ile numunelerin katlanma açısı düşmüş ancak işlem görmemiş numuneye göre yüksek çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yünlü kumaş, Titanyum dioksit, Sitrik asit, Katlanma açısı, Sararma

Investigation of the Effect of Citric Acid and TiO₂ Nanoparticle Mixtures on Yellowing and Folding Angle of Wool Fabrics

Abstract

Citric acid (C₆H₈O₇) is a kind of carboxylic acid that can be used as a crosslinker for textile surfaces, is environmentally friendly, is not harmful to human health, and has a low cost. Titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles, on the other hand, are white pigments that can provide many functional properties such as self-cleaning, UV blocking, etc. to the product on which it is applied with a large surface area. It has been seen in previous studies that citric acid provides benefits such as increasing the anti-crease properties of fabrics, but it also has a disadvantage such as yellowing the product as a result of applying this chemical to textile surfaces. In this study, suspensions of TiO₂ NP (nanoparticle) were prepared for colorless woolen

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Sabiha SEZGİN BOZOK, sbozok@cu.edu.tr

fabrics and mixed with citric acid at different concentrations. It was applied to woolen fabrics with the Pad-dry-cure method. By scanning electron microscopy (SEM) analysis, it was determined that citric acid doped with TiO₂ suspension changed the fiber surface. Yellowing was observed in the woolen samples with citric acid, but when TiO₂ NP was added to the solutions, the yellowing in the samples was considerably reduced. The folding angle of woolen samples treated with 15 gr/L citric acid could be increased by 4°, with TiO₂ NP added to the citric acid solution at this concentration, the folding angle of the samples decreased but was higher than the untreated sample.

Keywords: Wool fabric, Titanium dioxide, Citric acid, Folding angle, Yellowing

1. GİRİŞ

Sitrik asit (2-hidroksi-1,2,3-trikarboksilik asit) ulaşılması kolay, düşük maliyetli, çevreye ve insan sağlığına zararı olmayan/çok düşük olan bir poli karboksilik asittir. Tekstil yüzeyleri için farklı katalistlerle birlikte çapraz bağlayıcı olarak kullanılabilir. Ayrıca yapılan çalışmalarda sitrik asitin selülozik kumaşlarda boyutsal stabilite ve kırılmaya karşı direnç sağladığı da tespit edilmiştir [1,2]. Yünlü kumaşlar için de karboksilik asitler çapraz bağlayıcı olarak kullanılabilir. Polikarboksilik asit olan 1,2,3,4-bütantetrakarboksilik asit (BTCA), sitrik asit ve poliakrilik asit yünlü dokuma kumaşlara farklı katalistlerle birlikte emdirme-kurutma-fiksaj yöntemi ile applike edilmiştir [3]. Aplikasyon sonra kütle değişimi oranlarına göre üç polikarboksilik asitin de yünlü kumaş yapısına bağlanabildiği görülmüştür. Başka bir çalışmada %100 yün içerikli kumaşlara sitrik asit yine farklı katalistlerle uygulanmıştır [4]. Bu aplikasyon işlemi ile yünlü kumaşların buruşmazlık özelliği %10 oranında iyileşmiştir. %13 oranında ise gerilme dayanımı artmıştır.

Sitrik asit, kumaşlara applike edilmesi sonrasında malzemeyi sarartma gibi bir dezavantaja sahiptir. Yapılan bir çalışmada sitrik asit uygulanan pamuklu kumaşlarda hidroksil grupları arttıkça kumaşların sararma durumunun arttığı ve bu durumun doymamış polikarboksilik asitlerin oluşumundan kaynaklanmış olabileceği ileri sürülmüştür [5]. Başka bir çalışmada kumaşlarda sitrik asitle beraber katalist görevi gören sodyum hipofosfit kullanıldığında sararmanın azaltıldığı görülmüştür [6]. Sitrik asidin pamuklu kumaşlar için çapraz bağlayıcı olarak kullanıldığı başka bir çalışmada sararmaya yol açan C=C bağ yapısını bozmak için

ağartıcı hidrojen peroksit (H₂O₂) kullanılmıştır [7]. Elde edilen sonuçlara göre hem sitrik asitle buruşmazlık özelliği iyileştirilmiş hem de hidrojen peroksit ile sararmanın önüne geçilebilmiştir. Titanyum dioksit (TiO₂) de beyaz bir pigment olup sitrik asitin sarartma etkisinin önüne geçebilebilecek bir katalisttir. Titanyum dioksitin nanoparçacık boyutundaki formu geniş yüzey alanıyla UV bloklayıcı, antibakteriyel etkinlik, fotokatalist gibi birçok özelliği sağlayabilmektedir [8].

Montazer ve Pakdel (2010), yünlü kumaşlara sitrik asit ve değişen konsantrasyonda TiO₂ ile işlem uygulanmış ve ışık yoluyla kumaşların sararma etkisi incelenmiştir [9]. Sonuçlarda aplikasyon için kullanılan TiO₂ konsantrasyonu arttıkça kumaşın UV ışınları etkisiyle sararması düşmüş ve oksidasyon ile yün ve karboksilik asit arasındaki köprü artmış, kumaşta sarılık azalmıştır. Montazer ve Morshedi (2014) yaptıkları çalışmada TiO₂'yi fotokatalist ve ağartıcı olarak kullanmışlar ve farklı konsantrasyon içeren süspansiyonlar hazırlayıp yünlü kumaşlara %10 sitrik asit çözeltileri ile birlikte uygulamışlardır [10]. Sonuçlara göre nano boyutta TiO₂'nin yünlü kumaşların beyazlık değerini arttırdığını, sitrik asitin yünlü kumaşlarda TiO₂ nanoparçacıklarının adsorpsiyonunu arttırdığını, kumaşların hidrofilitenin de artmış olduğunu tespit etmişlerdir. Zare (2022), farklı konsantrasyonda sitrik asiti çapraz bağlayıcı olarak kullanarak β-çiklodekstrin ile birlikte TiO₂ nanoparçacıkları ipek kumaşlara applike etmiştir. Sonuçlarda sitrik asit kullanımının ipek kumaşlara tutunan TiO₂ nanoparçacıkların kalıcılığını arttırdığını, β-çiklodekstrin kullanmadan sadece sitrik asit ile yapılan aplikasyonlarda kumaşların fotokatalitik ve antibakteriyel aktivite özelliklerinin sağlanabildiğini tespit etmiştir [11]. Zare (2023)

yaptığı başka bir çalışmada nano boyutta çinko oksidin (ZnO) ipekli kumaşa tutunması için sitrik asiti ve β -çiklodekstrini kullanmıştır. Bu nanoparçacıklar ile %10 konsantrasyona sahip sitrik asidin applike edildiği kumaşlarda buruşmazlık özelliğinin iyileştiği ve kumaşların beyazlığının optimum seviyede arttığı tespit edilmiştir [12]. Habib ve arkadaşları (2022), selülozik kumaşlara 60 g/L sulu sitrik asit çözeltisi kullanarak ön işlem uygulamışlardır. Daha sonra ürettikleri nano gümüş parçacıkları kumaşlara applike etmişlerdir. Uygulanan sitrat işleminin kumaşların hidrofilitisini düşürdüğü görülmüştür [13].

Liu ve arkadaşları (2017), ham yünlü kumaşlara çapraz bağlayıcı olarak kullanılan sitrik asitle birlikte TiO_2 ve SiO_2 (Silisyum dioksit) jel karışımları uygulamışlardır [14]. Hazırlanan karışımlarda karboksil grupları arttıkça yün lifleri ve TiO_2/SiO_2 ajanları arasında daha fazla oranda köprü oluştuğu görülmüş. Numunelerinin buruşmazlık eğiliminin arttığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ise sitrik asitin farklı konsantrasyonda sulu çözeltileri hazırlanmış ve nano boyutta TiO_2 ile birlikte yünlü kumaşlara applike edilmiştir. Karışımda artan sitrik asit konsantrasyonunun TiO_2 'nin kumaşa bağlanma etkisini incelemek, sitrik asitin sarartma etkisini düşürmek ve kumaşların yumuşaklık ve katlanma açısına olan etkisinin analiz edilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan %100 yün içerikli ön terbiyeden geçmiş ve boyasız olan bezayağı dokulu dokuma kumaşın özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Çalışmada kullanılan kimyasallar ve saflıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kumaş özellikleri

Özellik	Değer
Çözümlü ipliği inceliği	63 tex
Atkı ipliği inceliği	74 tex
Çözümlü iplik sıklığı	17 tel/cm
Atkı iplik sıklığı	13 tel/cm
Gramaj	215 g/m ²

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan kimyasallar ve saflıkları

Kimyasal	Saflık
Etanol	% 96
Susuz sitrik asit	\geq %99.5
Titanyum dioksit (21 nm, nanotoz)	\geq %99.5

2.2. Metot

Çalışmada öncelikle distile su ile karıştırılarak üç farklı konsantrasyonda (5, 10 ve 15 gr/L) sitrik asit çözeltileri hazırlanmıştır. Aynı bir beherde stabiliteyi sağlayabilmek için 1:9 hacimsel oranda etanol:su karışımı içerisine %1 konsantrasyonda titanyum dioksit nano toz 20 kHz frekansında ultrasonik cihazda (J.P. Selecta) 38°C'de çalıştırılarak 20 dk'da süspansiyon hazırlanmıştır [15]. Ardından Çizelge 3'de bulunan bilgiler doğrultusunda bir grup sitrik asit çözeltisine titanyum dioksit süspansiyonu 1:1 hacimsel oranda eklenerek bir ultrasonik cihaz ile 20 dakika boyunca işlem uygulanmıştır. Hazırlanan karışımlar daha sonra küçük bir tekne içerisine aktarılmıştır. Belirli boyutta kesilen numuneler karışım içeren tekneler içerisindedir 1 dk boyunca bekletilmiş ve ardından fazla sıvı kumaştan uzaklaştırılmadan etüv içerisindedir sırasıyla kurutma (100°C) ve 2 dakika termofiksaj (130°C) işlemleri uygulanmıştır. Numuneler ikişer tekrarlı olarak hazırlanmıştır.

Çizelge 3. Numunelere uygulanan işlemler

Numune kodu	Sitrik asit	TiO_2 NP
Kontrol	-	-
N1	5 gr/L	-
N2	10 gr/L	-
N3	15 gr/L	-
N4	5 gr/L	%1
N5	10 gr/L	%1
N6	15 gr/L	%1

İşlem gören numunelerin karakterizasyon testi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) uygulanmıştır. Numunelerin aplikasyon sonrası kütle değişimlerini tespit etmek için öncelikle işlem öncesi numuneler 105 °C'de etüvde (4 saat) bekletilmiş ve kütleleri (m_1) hassas terazi ile ölçülmüştür. Aplikasyon sonrası etüvde bekletme

sonrası kütleleri (m₂) ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kütle değişimleri yüzde (%) olarak (1) formülüne göre hesaplanmıştır.

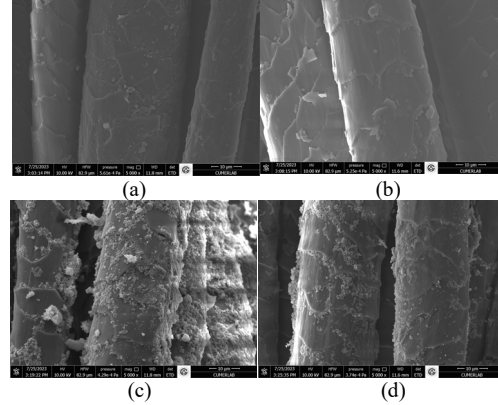
$$\text{Kütle Değişimi (\%)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} * 100 \quad (1)$$

Numunelerin sarılık derecesini belirlemek için Minolta CM 3600 model spektrofotometre kullanılmıştır. Renk analizleri RealColor1.3® yazılımı ile yapılmış ve ASTM D1925-70 standardına göre sarılık indeksleri elde edilmiştir. Uygulanan işlemlerin numunelerin katlanma açısı ölçümü için BS EN 22313:1992 standardı esas alınarak atkı ve çözgü yönlerinde ön yüze göre ölçümler gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile x5000 büyütmeyle elde edilen görüntüleri Şekil 1'de sunulmuştur. 15 gr/L sitrik asitle işlem gören yünlü numunenin (N3) yüzey özelliklerinin kontrol numunesine göre farklılık göstermediği görülmektedir. Sitrik asitle beraber TiO₂ NP süspansiyonu applike edilen numunelerde ise yüzey morfolojilerinin değiştiği ve pürüzlü hale geldiği dikkat çekmektedir. Lif yüzeylerinin üzerine yer yer tutunan nanoparçacıklar görülmekte ve bazı kısımlarda lif çapının kalınlaşmış olduğu söylenebilmektedir. Görüntülere göre N6 numunesinin lif yüzeyindeki parçacık dağılımının N4'e göre daha homojen olduğu, agregasyonun daha az olduğu tespit edilmiştir. 5 gr/L sitrik asitle işlem gören N4 numunesinin lif yüzeyindeki parçacıkların boyutu, 15 gr/L sitrik asitle işlem gören numuneye (N6) tutunan parçacıklara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Sitrik asit konsantrasyon artışı hem TiO₂ NP'nin yün lifine dağılımının düzenli olmasını hem de parçacık boyutunun daha küçük olmasını sağlamıştır. Büyük parçacıklar lif yüzeyinden daha kolay uzaklaşabilirken, küçük boyuttaki parçacıklar malzemeye daha fazla nüfuz edebilmekte, stabiliteyi daha yüksek olmaktadır [9].



Şekil 1. Kontrol (a), N3 (b), N4 (c), N6 (d) numunelerinin x5000 büyütme ile elde edilen görüntüleri

3.2. Numunelerin İşlem Sonrası Kütle Değişimi

Numunelerin aplikasyon sonrası kütle değişimleri (%) Şekil 2'de sunulmuştur. Tüm farklı işlemler sonrası numunelerin kütlelerinde artış gözlenmektedir. Bu da uygulanan kimyasalların yün lifine dahil edilebildiğini göstermiştir. Artan sitrik asit konsantrasyonunun numunelerin kütle artışına anlamlı bir etkisi olmadığı görülmektedir. Aplikasyonda sitrik asit miktarı artmış olsa bile kumaşta işlem sonrası lif/iplik kaybının % kütle artış oranını azalttığı düşünülmektedir. Titanyum dioksit süspansiyonunun sitrik asit çözeltisine ilave edilmesi sonucu kumaşların (N4, N5, N6) ilk ağırlığına göre % kütle artış oranlarının azaldığı görülmektedir. Bu numune grubu içerisinde de değişen sitrik asit konsantrasyonunun numunelerin kütle değişimine etkisi anlamlı çıkmamıştır.

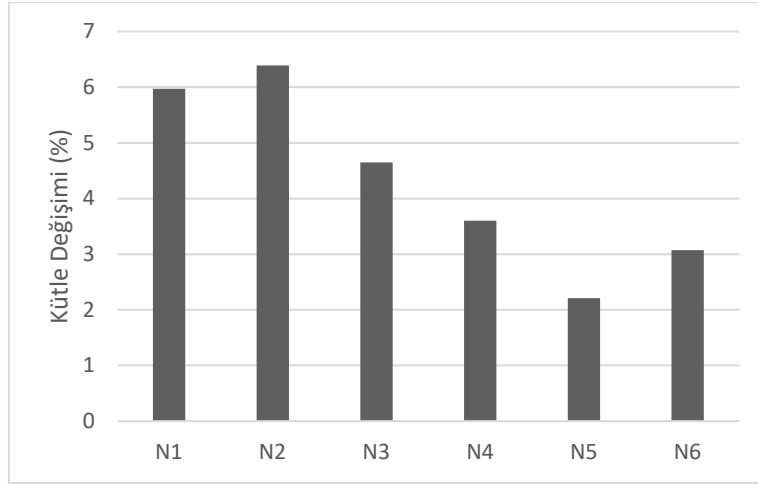
3.3. Numunelerin Sarılık İndeksi

Numunelerin sarılık indeksi değerlerinin bulunduğu grafik Şekil 3'de sunulmuştur. Protein esaslı yün liflerinin yapısındaki melaminden dolayı doğal sarımsı renge sahiptir [10]. Çalışmada uygulanan sitrik asit işlemi ise numunelerin (N1, N2, N3) sarılık indeksini daha da arttırmıştır. Bu durum literatürde sitrik asitin doymamış asitlere dönüşmesi ve molekül zincirindeki hidroksil grubunun artmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanmıştır [5,16]. Artan sitrik asit konsantrasyonunun sarılık indeksi değişimine anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

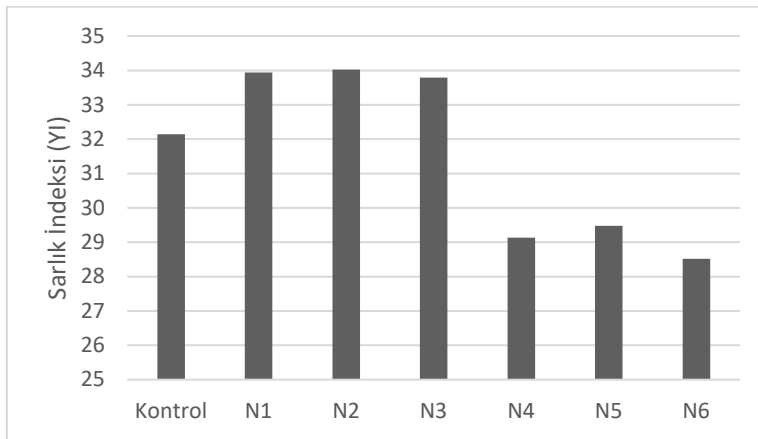
N4, N5 ve N6 numunelerinin sarılık indeksi değerleri incelendiğinde; TiO₂ NP ile işlem gören numunelerin sarılık indekslerinin işlem görmemiş kontrol numunesine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Beyaz bir pigment olan TiO₂ nanotozların lif yüzeylerine tutunması, numunelerin ışığı daha fazla yansıtmasını ve daha beyaz görünmesini sağlamıştır. Ayrıca bu durum yün liflerinin yapısındaki sarı kromofor grupları parçalanıp numunelerin daha beyaz görünüm kazanmasıyla da açıklanabilmektedir [9]. Sitrik asit konsantrasyon artışının bu grubun sarılık indeksi değişimine anlamlı bir etkisi olmamıştır.

3.4. Numunelerin Katlanma Açısı

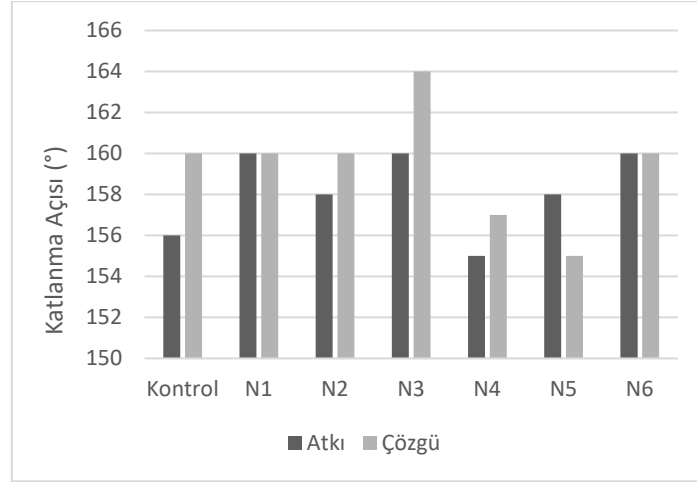
Katlanma açısı sonuçları numunelerin buruşmazlık derecesi ile ilişkilidir. Kumaşların katlanma açısı değeri arttıkça buruşmazlık özelliklerinin arttığı kabul edilmektedir. Çalışmada işlem gören işlem görmeyen numunelerin katlanma açısı değerleri Şekil 4’de sunulmuştur. Grafik incelendiğinde; N3 kodlu numunenin hem atkı yönünde hem de çözgü yönünde ölçülen katlanma açısının, işlem görmemiş kontrol numunesine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 15 gr/L sitrik asit çözeltisi ile yünlü numunelerin katlanma açısında atkı yönünde 4°, çözgü yönünde 4° iyileştirme sağlanabilmektedir.



Şekil 2. Numunelerin işlem sonrası kütle değişimleri



Şekil 3. Numunelerin sarılık indeksi değerleri



Şekil 4. Numunelerin katlanma açısı değerleri

Daha önce yapılan benzer bir çalışmada %10 sitrik konsantrasyonunda uygulanan işlemler ile yünlü kumaşlarda yaş ve kuru kırışma sonrası eski haline dönme oranında bir miktar artış sağlanabilmiştir ancak bu çalışmada sodyum hipofosfit (katalist) kullanımının etkisi olmuştur [4]. N1 ve N2 numunelerinin ise atkı yönündeki katlanma açıları kontrol numunesine göre bir miktar artmış ancak bu artış farklı orandaki (5 ve 10 gr/L) sitrik asit konsantrasyonu açısından anlamlı bir farklılığa sebep olmamıştır. N4, N5 ve N6 numunelerinin değerleri incelendiğinde; TiO₂ nanoparçacık kullanımının, sitrik asitin numunelere kazandırdığı buruşmazlık özelliğini iyileştirme etkisini düşürdüğü görülmektedir. TiO₂ nanoparçacıklarının en yüksek sitrik asit konsantrasyonu olan 15 gr/L ile beraber kumaşlara applike edilmesi ile numunelerin buruşmazlık derecesi işlem görmemiş kontrol numunesine göre atkı yönünde 4° arttırılabilmektedir.

5 ve 10 gr/L sitrik asit çözeltileri ve TiO₂ süspansiyonu karışımı ile işlem gören yünlü numunelerin (N4 ve N5) ise atkı ve çözgü yönündeki katlanma açıları farklı sitrik asit konsantrasyonlarının etkisi açısından anlamlı görünmemektedir.

4. SONUÇLAR

Çalışmada farklı konsantrasyonda sitrik asit çözeltisi çapraz bağlayıcı olarak kullanılarak TiO₂

(tityum dioksit) nanoparçacıklar ile yünlü kumaş arasında bir köprü oluşturulmuştur. Yapılan aplikasyon işlemleriyle sitrik asitin yünlü kumaşlarda katlanma sonrasında eski haline dönme kabiliyetini arttırabilme özelliğini sağlamak ve kumaşlarda neden olduğu sararma etkisini beyaz pigment olan TiO₂ ile düşürmek amaçlanmıştır. Tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen görüntülere göre sadece sitrik asitle işlem gören numunelerin lif yüzey morfolojileri fazla değişmezken, sitrik asit ve %1 TiO₂ süspansiyonu ile işlem gören numunelerin lif yüzeylerinin daha pürüzlü olduğu tespit edilmiştir. Sitrik asit konsantrasyonu artınca TiO₂ nanoparçacık içeren kaplamanın daha homojen şekilde lif yüzeyini sardığı söylenebilmektedir. Numunelerin aplikasyon sonrası kütleleri artmış, özellikle sadece sitrik asit çözeltisi ile işlem gören numunelerin kütle artışı daha yüksek çıkmıştır. Tityum dioksit süspansiyonunun kullanımı bu kütle artışının daha düşük olmasına sebep olmuştur. Numunelerin sadece sitrik asit çözeltisi ile işlem gören sararma indeksleri yükselmiştir. Ancak çözeltilerde TiO₂ NP kullanımı numunelerin sarılık indeksinin işlem görmemiş numunenin değerinden daha düşük olmasını sağlamıştır. Numunelerin buruşmazlığını ifade eden katlanma açısı değerleri incelendiğinde ise; 15 gr/L sitrik asit çözeltisi ile hem atkı hem çözgü yönünde 4°'lik iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. TiO₂ NP süspansiyonu kullanımı bu iyileştirmeyi düşürmüştür ancak 15 gr/L sitrik asit

çözültüsü ile uygulanan %1 TiO₂ NP'nin numunelerin buruşmazlık derecesi, işlem görmemiş numuneye göre sadece atkı yönünde bir miktar artırılabilmiştir. Genel değerlendirme yapıldığında; TiO₂ NP'nin sitrik asitle beraber kullanımının yünlü kumaşlara tutunabilmesi açısından için uygun olduğu, sararmanın önüne geçilebildiği ancak buruşmazlık derecesinin daha da iyileştirilmesi açısından farklı katalistlerle beraber detaylı çalışılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, FBA-2022-14649 no'lu proje kapsamında yapılmış olup Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Gagliardi, D.D., Shippee, F.B., 1963. Crosslinking of Cellulose with Polycarboxylic acids. *Dyestuff Repr.*, 52, 300.
- Rowland, S.P. Welch, C.M., Brannan, M.A.F., Gallagher, D.M., 1967. Introduction of Ester Crosslink into Cotton Cellulose by a Rapid Curing Method. *Text. Res. J.*, 37, 933.
- Martel, B., Weltrowski, M., Ruffin, D., Morcellet, M., 2002. Polycarboxylic Acids as Crosslinking Agents for Grafting Cyclodextrins onto Cotton and Wool Fabrics: Study of the Process Parameters. *Journal of Applied Polymer Science*, 83, 1449-1456.
- Mohsin, M., Farooq, U., Raza, Z.A., Ahsan, M., Afzal, A., Nazir, A., 2014. Performance Enhancement of Wool Fabric with Environmentallyfriendly Bio-Cross-Linker. *Journal of Cleaner Production*, 68, 130-134.
- Lu, Y., Yang, C.Q., 1999. Fabric Yellowing Caused by Citric Acid as a Crosslinking Agent for Cotton. *Textile Research Journal*, 69(9), 685-690.
- Okeil, A.A., 2008. Citric Acid Crosslinking of Cellulose using TiO₂ Catalyst by Pad-Dry-Cure Method. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 47, 174-179.
- Tang, P., Ji, B., Sun, G. 2016. Whiteness Improvement of Citric Acid Crosslinked Cotton Fabrics: H₂O₂ Bleaching Under Alkaline Condition. *Carbohydrate Polymers* 147, 139-145.
- Rani, B., Nayak, A.K., Sahu, N.K., 2022. Fundamentals Principle of Photocatalysis. In: *Nanostructured Materials For Visible Light Photocatalysis*. Elsevier Inc, 1-22.
- Montazer, M., Pakdel, E., 2010. Reducing Photoyellowing of Wool using Nano TiO₂. *Photochemistry and Photobiology*, 86, 255-260.
- Montazer, M., Morshedi, S., 2014. Photo Bleaching of Wool using Nano TiO₂ Under Daylight Irradiation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 83-90.
- Zare, A., 2022. Citric Acid as Environment Friendly Crease-Resistance Finishing Agent for Silk Fabric Combined by β -cyclodextrin. *Research Journal of Textile and Apparel*, 26(2), 238-254.
- Zare, A., 2023. Application of β -CD to Control the Release of ZnO Nanoparticles on the Silk Fabric Surface Along with Citric Acid as Eco-friendly Cross-linker. *Progress in Color Colorants Coating*, 16, 295-307.
- Habib, S., Kishwar, F., Raza, Z.A., 2022. Citrate-mediated Impregnation of Silver Nanoparticles for Durable Antibacterial Cellulosic Fabric. *Pigment & Resin Technology*, Published Online.
- Liu, S., Zhang, Q., Xu, Z., Yang, S., Liu, H., 2017. Surface Modification of TiO₂/SiO₂ Composite Hydrosol Stabilized with Polycarboxylic Acid on Kroy-process Wool Fabric. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 31(11), 1209-1228.
- Lebrette, S., Pagnoux, C., Abélard, P., 2017. Stability of Aqueous TiO₂ Suspensions: Influence of Ethanol. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280, 400-408.
- Yao, W., Wang, B., Ye, T., Yang Y., 2013. Durable Press Finishing of Cotton Fabrics with Citric Acid: Enhancement of Whiteness and Wrinkle Recovery by Polyol Extenders. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 52, 16118-16127.

