

Daldırmalı kaplama yöntemi ile ZnO Nanoparçacıkların Kenevir Dokuma Kumaşlara Emdirilmesi ve Karakterizasyonu

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 03.01.2024

Kabul/Accepted: 20.06.2024

Yayımlandı/Published: 20.08.2024

Impregnation and Characterization of ZnO Nanoparticles on Hemp Woven Fabrics by Dip Coating Method

Abdullah GÜL* 

Yozgat Bozok Üniversitesi, Kenevir Araştırmaları Enstitüsü, Malzeme ve Enerji ABD, Yozgat, Türkiye

© Ayfon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Bu çalışmada %100 kenevir ipliklerinden elde edilmiş dokuma kumaşlara daldırmalı kaplama (dip-coating) yöntemi ile çinko oksit (ZnO) nanoparçacıklar emdirilmiştir. Ham ve modifiyeli kenevir dokuma kumaşların yapısal, morfolojik, fiziksel, mekanik ve termal özellikleri karşılaştırılmıştır. Yapılan Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve enerji dağılımlı X-ışınları spektroskopisi (EDS) analizleri sonucunda modifiyeli kenevir dokuma kumaşlarında ZnO metal oksit varlığı tespit edilmiştir. ZnO nanoparçacık emdirilmiş kumaşların tarama elektron mikroskopu (SEM) ile morfolojik özellikleri incelenmiş ve kumaş yapısı üzerinde yer yer boşluklu olsa da homojen kaplama elde edildiği gözlemlenmiştir. Termogravimetrik analiz (TGA) sonuçları ZnO nanoparçacık ihtiva eden kumaşların sıcaklıkla kütle değişimlerinin ham kumaşa göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Kopma mukavemeti analizi ile ZnO nanoparçacık içeren kumaşın mukavemet ve kopma uzama değerlerinde belirgin bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. ZnO nanoparçacık emdirilen kumaşların temas açısının (56.95o) ham kumaş temas açısından (62.83o) daha küçük olduğu, bunun sonucu olarak kumaş hidrofilik özelliğinin arttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, ZnO nanoparçacıkların daldırmalı kaplama ile kumaşa emdirilmesi yaklaşımının yüksek performanslı kenevir tekstil ürünlerinin geliştirilmesi için umut verici olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kenevir, Çinko oksit, ZnO, SEM, Mukavemet, Temas açısı.

Abstract

In this study, woven fabrics made from 100% hemp yarns were impregnated with zinc oxide (ZnO) nanoparticles using the dip-coating method. Structural, morphological, physical, mechanical and thermal properties of raw and modified hemp woven fabrics were compared. As a result of Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) analyses, the presence of ZnO metal oxide in modified hemp woven fabrics was detected. The morphological properties of ZnO nanoparticle impregnated fabrics were examined with scanning electron microscopy (SEM) and it was observed that a homogeneous coating was obtained, although there were gaps on the fabric structure. Thermogravimetric analysis (TGA) results showed that the mass changes of fabrics containing ZnO nanoparticles with temperature were higher than the raw fabric. With the breaking strength analysis, it was determined that there was no significant change in the strength and breaking elongation values of the fabric containing ZnO nanoparticles. It was determined that the contact angle of ZnO nanoparticle impregnated fabrics (56.95o) was smaller than the raw fabric contact angle (62.83o), and as a result, the fabric hydrophilicity increased. The results obtained in this study showed that the approach of impregnating ZnO nanoparticles into fabric by dip coating is promising for the development of high-performance hemp textile products.

Keywords: Hemp, Zinc oxide, ZnO, SEM, Strength, Contact angle.

1. Giriş

Petrol fiyatlarının artışı, endüstriyel atık sorunları ve insanlardaki çevre hassasiyeti, araştırmacıları ve sektörleri sürdürülebilir kaynaklar ile yenilenebilirlik üzerine ciddi araştırmalar ortaya koymaya itmektedir (Dai and Fan 2010). Gerçekleştirilen çalışmalarla birlikte yenilenebilir ve sürdürülebilir nitelikte olması ile beraber sahip olduğu üstün performans özellikleri nedeniyle kenevir; medikal ve endüstriyel uygulamalarıyla her geçen gün önemli bir malzeme konumuna gelmiştir. Kenevir, cannabaceae familyasına ait olup odunsu ve bir yıllık bir bitki türüdür. Anavatani Asya bölgesi olmakla beraber değişik nedenlerle tüm dünyaya yayılmış bulunmaktadır.

Günümüzde iki önemli alt türü bulunmaktadır. Bunlar; Cannabis sativa ve Cannabis indica'dır. Cannabis sativa, lif verimi bakımından üstün olmasından dolayı endüstriyel uygulamalar için daha çok kullanılmaktadır. Diğer bir tür olan Cannabis indica ise daha çok narkotik hammaddesi olarak kullanılabilmesi nedeniyle tüm dünyada ekimi yasaklanmış bir türdür. Kenevir, insanlık tarihindeki ekimi yapılan ilk kültür bitkisi türlerinden biridir (Şekil 1). Pamuk teknolojisinin ilerlemesi, kenevir karşıtı yaptırımlar ve yapay liflerin pazara çıkması sonucunda 20.yy'dan itibaren kenevir önemini kaybetmiştir. Son yıllarda ise pandeminin etkisil ve çevresel sorunlar nedeniyle kenevir lifi eski önemini tekrar kazanmaya

başlamış ve bu doğrultuda doğal ve sentetik liflerle kompozit karışımlar elde edilerek üstün özellikli, sürdürülebilir ürünlerinin üretimi ivme kazanmıştır (Acar ve Dönmez 2016).



Şekil 1. Kenevir sakındaki tekstil üretimine uygun primer lifleri

Günümüzde doğal, biyo-bozunur ve sürdürülebilir malzemelerin önemli hale gelmesiyle, kenevir elyafı da, hidrokarbon kaynaklı yapay elyaflarla kıyaslandığında, yüksek çevreci özellikleri ve doğal proses potansiyeli ile fark yaratmaktadır. Ekolojik ve sürdürülebilirlik algısının büyük önem kazanması ile dünyada ve ülkemizde kenevir elyafı işlenmesinde kayda değer artış görülmektedir. Kenevir bitkisi yetiştirilmesi esnasında, pamuk ve ketenden farklı olarak gübre ve tarım ilacına ihtiyaç duymadığından, sürdürülebilir ve çevre dostu olarak üretilebilmektedir. Geldiğimiz nokta itibarıyla ülkemizde Yozgat, Samsun, Amasya, Sinop, Antalya, Bartın, Çorum, Kastamonu, İzmir, Kayseri, Malatya, Ordu, Rize, Burdur, Karabük, Tokat, Uşak, Şanlıurfa, Kütahya ve Zonguldak olmak üzere 20 ilde izne ve denetime bağlı olarak endüstriyel kenevir yetiştiriciliği yapılabilmektedir. Birçok araştırma ve projeler dahilinde kenevir esaslı üretilen tekstil ürünlerinin tasarlanması, katma değer yaratan ürünler elde edilmesi ve prosesin sürdürülebilmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir (Şahinbaşkan 2019).

Bir malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri kütleden nanometre ölçeğine doğru değişmektedir. Bu nedenle, bir nanoparçacık, yüksek yüzey alanı/hacim oranı nedeniyle daha fazla reaktivite ve diğer bazı benzersiz özellikler gösterebilmektedir (Selvam et al. 2010, Simoncic et al. 2010.. Nanoteknoloji uygulamaları, muazzam ekonomik potansiyelinin bir sonucu olarak hemen hemen her sektöre yaygın olarak kullanılmaktadır (Salem et al. 2020). Tekstil sektörü de nanopartiküllerin sayısız faydasını uygulayan bu sektörlerden biridir. Ayrıca tüketicilerin uzun ömürlü ve sürdürülebilir pratik giysilere olan talebi, nano materyallerin tekstilde kullanılmasına kapı açmıştır (Yetişen et al. 2016). Farklı nanopartiküllerin spesifik faydaları, tekstil alanında, fonksiyonel tekstiller üretmek için kullanılmaktadır.

Farklı nanopartiküllerle kaplanmış çok fonksiyonlu tekstil malzemelerinin geliştirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Gümüş (Ag), çinko oksit (ZnO), titanyum

dioksit (TiO₂) ve silikon dioksit (SiO₂) gibi nanopartiküller, araştırmacılar tarafından fonksiyonel özellik kazandırmak ve modern pazarların talebini karşılamak için kullanılmıştır (Dastjerdi and Montazer 2010, Tania et al. 2019, Pan and Wang 2001). Örneğin gümüş nanopartiküllerin potansiyelinden yararlanılarak antibakteriyel aktivitesi yüksek bir kumaş üretilmiştir (Tania et al. 2021, Zahran et al. 2014, Tania et al. 2019). ZnO; geniş yüzey alanı, yüksek verim, kimyasal kararlılık ve yüzey fonksiyonel grupları gibi benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikler içerir (Kataria et al. 2017). ZnO, geniş bant aralığına, yüksek elektron hareketliliğine ve iyi optik ve elektriksel özelliklere sahip bir yarı iletkenidir. Çevre dostu olması, biyoyoumluluğu ve düşük fiyatı nedeniyle (opto)elektronik uygulamalara ek olarak tekstil malzemelerinin modifiye edilmesi için de uygun bir metal oksit yarıiletken malzemedir (Salari et al. 2019). Bununla birlikte, ZnO nanopartiküllerinin; güneşten koruyucular, UV emiciler, yansıma önleyici kaplamalar, fotokataliz, katalizör, güneş pilleri, sensörler, ekranlar, piezoelektrik cihazlar, elektro-akustik, ışık yayan diyot, fotodiyotlar ve UV ışığı gibi diğer dikkate değer potansiyel uygulamalar nedeniyle oldukça ilgi çekici uygulamalarda kullanılmaktadır (Dastjerdi and Montazer 2010, Arnold et al. 2003, Baltakesmez et al. 2011). ZnO'nun bireysel özellikler kazandıran etki mekanizmalarının yanı sıra ZnO'nun tekstil elyafları üzerindeki performansını ve verimliliğini etkileyen çeşitli parametreler de dikkat çekicidir (Şekil 2). Ancak literatürde, ZnO tabanlı nano yapı malzemelerin tekstilde kullanım potansiyeline yönelik çalışmalar sınırlıdır.



Şekil 2. ZnO'nun tekstil malzemeleri üzerindeki fonksiyonel özelliklerinin şematik gösterimi.

Tekstil endüstrisinde, kumaşlara çok işlevli özellikler kazandırmak için ZnO nanopartikülleri uygulanmıştır. Ayrıca ZnO nanopartikülleri biyolojik olarak uyumlu, toksik olmayan ve çevre dostu olup, onları tekstil

uygulamaları için umut verici bir malzeme haline getirmektedir (Mohammadipour-Nodoushan et al. 2023). ZnO nanoyapılarını tekstil malzemelerine uygulamak için; hidrotermal yol, ultrasonik ışınlama tekniği, katman katman biriktirme, emdirme kurutma ve sol-jel işlemi uygulanabilmektedir (Majumdar et al. 2018, Pintarić et al. 2020, Li et al. 2011, Uğur vd.2010). Yapılan literatür araştırmalarında nano boyutta çinko oksit kaplama yapılmış %100 kenevir dokuma kumaş yapılarının özelliklerinin incelenmesine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, %2,5 ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi hazırlanmıştır. Bu karışım çalışmalarında çözücü için saf su kullanılmıştır. Hazırlanan çözeltilerin pH, sıcaklık ve yoğunluk değerleri ölçülmüş ve daldırmalı kaplama yöntemi ile kenevir kumaşa emdirilmiştir. ZnO emdirilmiş kenevir dokuma kumaşın yapısal karakterizasyonu için FTIR, morfolojik analiz için SEM-EDX, termal karakterizasyonu için TGA, mekanik özellikleri için mukavemet, su emicilik özelliği için temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

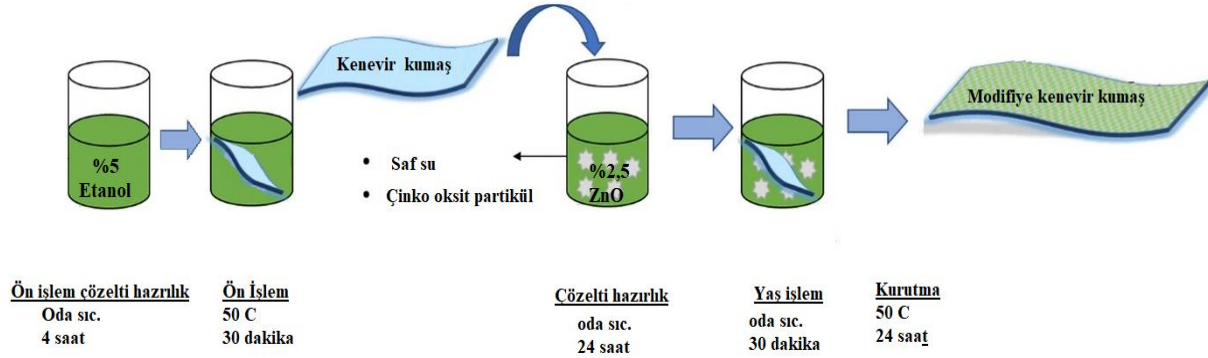
2. Materyal ve Metot

2.1 Malzemeler

Bu çalışmada %100 kenevir dokuma kumaş Filofibra şirketinden temin edilmiştir. Atkı ve çözgü iplik numarası aynı olup Nm36'dır. Çözgü ve atkı sıklıkları sırası ile 58 ve 56 tel/cm olup kumaş gramajı 127 GSM'dir ve bezayağı dokuma örgüsüne sahiptir. Etanol (>%98) Sigma Aldrich'ten satın alınmıştır. Sulu çözeltide yeşil sentez yöntemiyle elde edilmiş yaklaşık 38 nm boyutunda ZnO nanoparçacık tozu kullanılmıştır).

2.2 Metot

İlk olarak, etanol yıkama (ön işlem) ve ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirme (yaş işlem) işlemleri için %100 kenevir dokuma kumaşı 20x20 cm boyutlarında kesildi. Ardından Şekil 3'de verildiği gibi kenevir kumaşı olası safsızlıklardan arındırmak için %5'lik etanol çözeltisi içerisinde 50°C'de 30 dakika ön işleme alındı. Ön işlem sonrası kenevir kumaş 50°C'de 24 saat etüvde kurutmaya bırakılarak yaş işleme hazır hale getirildi.



Şekil 3. Kenevir kumaşa ZnO nanoparçacık sulu çözelti emdirme işlemine ait adımlar

Şekil 4'de gözüktüğü gibi ZnO nanoparçacıklı sulu çözelti %2,5 konsantrasyona sahip olacak şekilde hazırlandı. Çözelti ilk önce 50 °C'de 30 dakika bir manyetik karıştırıcı ısıtıcıda karıştırıldı, ardından oda sıcaklığında 24 saat karıştırıldı. Hazırlanan çözeltilere ait parametreler Çizelge 1 verilmiştir. Hazırlanan ZnO nanoparçacık sulu çözeltisinin kenevir kumaşa emdirilmesinde daldırmalı kaplama yöntemi kullanıldı.

Çizelge 1. Nano partikül çinko oksit çözelti parametreleri

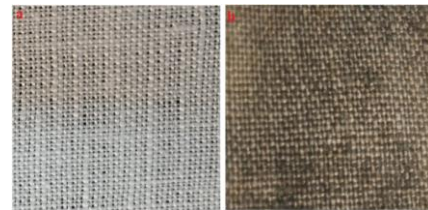
Çinko oksit oranı (%)	Çözelti pH	Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (gr/cm ³)
2,5	10,56	29,7	1,14

Süreç sonrası elde edilen modifiyeli ve ham kenevir kumaşlara ait fotoğraf görüntüleri Şekil 5'de verilmiştir. Daldırmalı kaplama yöntemi ile yapılan yaş işlem çalışmasında ön işlem görmüş ve kurutulmuş kenevir kumaş oda sıcaklığında 30 dakika boyunca emdirme işlemi görmüştür. Daha sonra ise yüzey suyu kuru bez yardımı ile uzaklaştırıldıktan sonra etüvde 50 °C 24 saat kurutmaya

bırakılmıştır. Yaş işlem öncesi ve sonrası olarak kenevir kumaşlara ait görseller Şekil 5'de paylaşılmıştır.



Şekil 4. ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi



Şekil 5. (a) İşlem görmemiş kenevir kumaş, (b) ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir kumaş

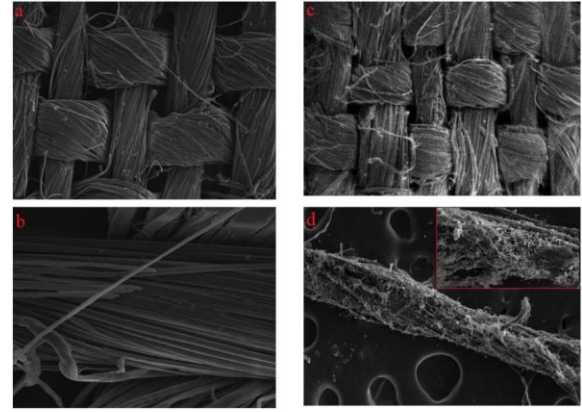
ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir dokuma kumaşın morfolojik ve yüzey yapısının incelenmesi için öncelikle Cressington 108auto altın kaplama cihazında kumaş örneklerine altın film kaplama yapıldı ve yüzey ZEISS marka EVO/LS10 model SEM cihazı ile görüntülendi.

Mukavemet testleri EN ISO 2062 standardına göre 50 mm/dk çene hızında ve çeneler arası 12 cm olacak şekilde 0,05 MPa ön gerilim ile gerçekleştirildi. Her numune için üç mukavemet testi yapıldı. Modifiye edilen kenevir kumaşın yapısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Yozgat Bozok Üniversitesi Kimya Bölümü laboratuvarlarındaki Perkin Elmer Spectrum-400 FTIR cihazı ile ASTM-E168 standardına göre 4000-450 cm⁻¹ dalga boyu aralığında FTIR analizleri yapıldı. Kimyasal kinetik ve bozunma sistematığının belirlenmesi için KSÜ Fen Fakültesi-Analitik Kimya Laboratuvarında bulunan SII marka TG/DTA 6300 model TGA cihazı ile azot gazı (N₂) varlığında 10 °C /dakika ısıtma hızında ve 30-600 °C aralığında TGA analizleri yapıldı. Termal analiz yöntemi ASTM-D3417 standardına göre gerçekleştirildi. İşlem öncesi ve sonrası kumaşların su emicilik özelliklerine ZnO nanoparçacıkların etkisini görmek için KSÜ-ÜSKİM laboratuvarında KSV Attansion marka Theta model temas açısı ölçüm cihazı kullanıldı ve her numune için ölçüm 10 kez tekrarlandı.

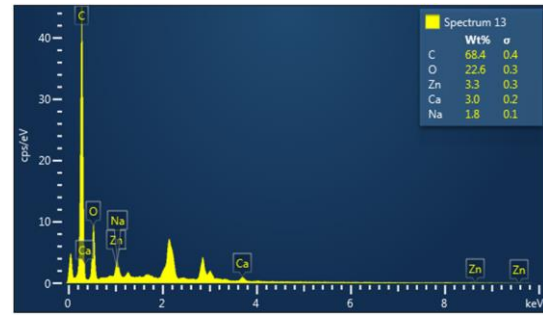
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. SEM analizi

Kenevir dokuma kumaşa ZnO nanoparçacık sulu çözelti emdirilmesinden sonra kumaş/iplik yüzeyinin morfolojik SEM görüntüleriyle incelenmiştir. Şekil 6(a-d)'de verilen SEM görüntüleri kumaş için ×200 (a ve c), iplik için ×3000 (b ve d) büyütme ile alınmıştır. Ham kumaşa ait SEM görüntüleri (kumaş Şekil 6(a) ve iplik Şekil 6(b)) dikkate alındığında ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir kumaş ipliklerinde (Şekil 6(c) ve iplik Şekil 6(d)) çözelti kalıntıları açık bir şekilde gözükmemektedir. Böylece, ZnO nanoparçacıklarının kenevir kumaş ipliklerinin içinde ve yüzeyinde varlığından söz edilebilir. Bunun kanıtı olarak, her iki kumaş örneğine EDS analizi uygulanmış ve spektrumlar Şekil 7'de elementel kütle yüzdeleri ise Çizelge 2'de verilmiştir. EDS analizinden elde edilen elementel kütle kompozisyonu verilerinde kenevir kumaş yüzeyine emdirilen çinko nanopartiküllerinin kütle yüzdesini %3,3 oranında bulunmuştur. EDS analiz sonuçları karbon (C) elementinin yüzdesinin azaldığını ve oksijen (O) elementinin yüzdesinin ise arttığı göstermiştir. ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir dokuma kumaşta çinko (Zn) varlığı da tespit edilmiştir.



Şekil 6. Ham kenevir kumaş (a) ve iplik (b), ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir kumaş (c) ve iplik (d)



Şekil 7. ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir kumaş EDS spektrumu.

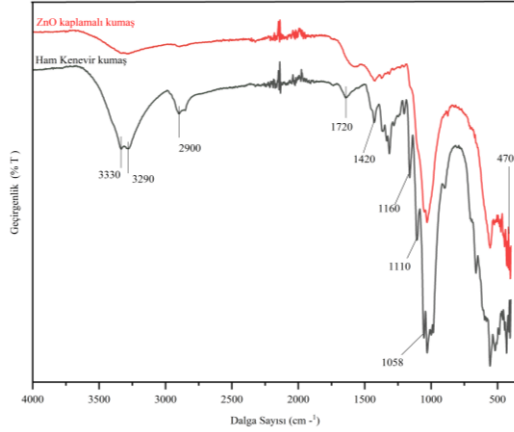
Çizelge 2. Ham ve ZnO nanoparçacık emdirilmiş kenevir kumaş elementel kütle yüzdeleri

Numune	Elementler (Wt %)		
	C	O	Zn
Ham Kumaş	69,4	22,1	-
ZnO emdirilmiş kumaş	68,4	22,6	3,3

3.2. FTIR analizi

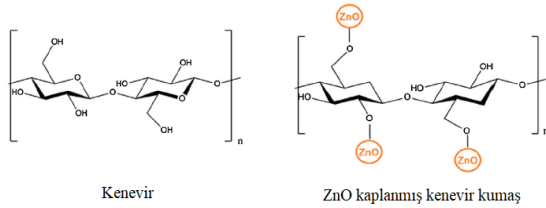
Kenevir dokuma kumaşların ham ve ZnO nanoparçacık sulu çözelti emdirilme sonrası mevcut fonksiyonel gruplar FTIR analizi ile incelenmiştir. Şekil 8'de kenevir dokuma kumaşların 3800-600 cm⁻¹ dalga boyları arasındaki FTIR spektrumları verilmiştir ve dış yüzeyindeki -OH fonksiyonel grubunun modifikasyon derecesini belirlenmiştir. Kenevir liflerinden elde edilen spektrumlarda diğer lignoselülozik liflere benzer şekilde selüloz ve lignin kombinasyonlarında belirli piklerin izleri görülmektedir. Örneğin 3330 ve 3290 cm⁻¹'deki geniş pikler selülozun hidroksil grubuna (-OH), 2900 ve 1420 cm⁻¹'deki kısa pikler ise metilen gruplarına (-CH₂) aittir (Arik ve Karaman 2020). Bu bölgedeki karakteristik piklerin şiddeti, kenevir liflerinin yüzeyi üzerine ZnO nanoparçacıklarının kaplanmasıyla azaldığı görülmektedir. Bu azalma, kenevir lifi yüzeyinin O-H grubunun ZnO nanoparçacıkları ile reaksiyonuna atfedilebilir (Arik ve Karaman 2020). 1720 cm⁻¹'deki kısa pik, asetil ester ve karbonil aldehit gruplarından oluşan

karbonil grubuna (C=O) aittir. 1160 ve 1110 cm^{-1} deki orta pikler $-\text{C}-\text{O}-\text{C}$ asimetrik bağlanmasından kaynaklanmaktadır. 1058 cm^{-1} deki baskın pik ise hemiselüloz ve lignindeki $-\text{C}-\text{O}-$ gerilmesinden kaynaklanmaktadır (Arik ve Karaman 2020). Bunula birlikte ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilen modifiye kenevir dokuma kumaşa ait spektrumda 470 cm^{-1} e yakın ZnO absorpsiyon band piki açıkça gözükmemektedir (Kathirvelu and Dhurai 2009). Sonuç olarak FTIR spektrumu SEM ve EDS analizleri ile uyumlu olup ZnO varlığının O-H grupları ile ilişkili olabileceğini göstermiştir.



Şekil 8. Ham ve ZnO kaplanmış kenevir kumaşların FTIR spektrumları

Kenevir liflerinin yüzeyinde bulunan OH grupları ile kaplama yapılacak çözeltideki Zn katyonları arasındaki güçlü kombinasyon kuvveti nedeniyle çinko kumaş üzerine kolaylıkla kaplanması kuvvetle muhtemeldir (Şekil 9).



Şekil 9. ZnO kaplı kenevir kumaşın olası reaksiyon yolu.

3.3. TGA analizi

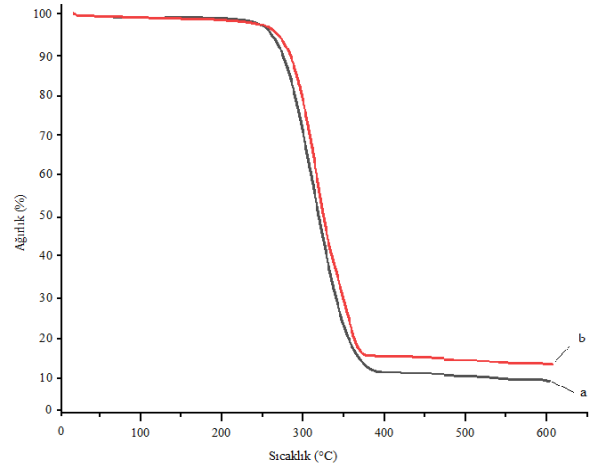
Ham ve ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir dokuma kumaş numunelerine ait azot ortamında

Çizelge 3. Ham ve ZnO kaplanmış kenevir kumaşları için termogravimetrik sonuçlar

Numune	Bozunma Başl. Sic. (°C)	Bozunma Bitiş Sic. (°C)	Ağırlıkça %10 Kayıp (°C)	Ağırlıkça %50 Kayıp (°C)	Ağırlıkça %90 Kayıp (°C)	600 °C kütle kayıp oranı (%)
Ham Kenevir Kumaş	207	467	257	310	543	90,08
ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir kumaş	216	482	283	322	551	87,30

Çizelge 3 incelendiğinde, ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir dokuma kumaşın bozunma sıcaklığının yaklaşık %10 oranında artmıştır. Elde edilen TGA sonuçları

gerçekleştirilen TGA analizine ait Ağırlık-Sıcaklık eğrisi Şekil 10'da verilmiştir. Elde edilen grafikler sıcaklığa bağlı olarak ağırlık kayıplarını göstermektedir.



Şekil 10. Ham (a) ve ZnO kaplanmış kenevir kumaş (b) numunelerinin TGA termogramı.

Paylaşılan grafikte gözüktüğü her iki kenevir dokuma kumaş numunelerinde yaklaşık 75 °C'de başlayan ve devam eden sıcaklıklarda %3±0,5 oranında kütle kaybı meydana gelmiştir. Bu kütle kaybı, doğal liflerin hidrofilik karakteristiğine atfedilen doğal liflerde mevcut olan nemin buharlaşmasından atfedilebilir. 325-400 °C arasındaki ağırlık kaybı bölgeleri ise selüloz, 250-350 °C arasındaki ağırlık kaybı bölgeleri ise hemiselüloz ayrışmasına atfedilmektedir (Hajiha et al. 2014). Spesifik olarak ağırlık kaybı, hemiselülozların termal ayrışmasından ve selüloz moleküllerinin glikozit bağının kopmasından kaynaklanmaktadır. Üstelik bu kayıp, ligninin termal bozunmasından kaynaklanan α ve β aril-alkil-eter bağlantılarının kopmasıyla ilişkilendirilebilir. Ligninin ise 200-720 °C'de kademeli olarak gerçekleştiği bilinmektedir (Hajiha et al. 2014).

600°C civarında ham kenevir dokuma kumaş %9,92, ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kumaşın ise %12,7 kalıntı bıraktığı tespit edilmiştir. Ayrıca, TGA eğrilerinden elde edilen ağırlıkça %10, %50, %90 kayıplarına ait sıcaklık değerleri (°C) cinsinden Çizelge 3'de verilmiştir.

literatürde yapılan selüloz esaslı tekstil malzemeleri üzerine çalışmalarla uyumludur (Barani 2014). Dolayısıyla, ZnO nanoparçacıkların varlığında termal kararlılığın arttığı

ve 600 °C'ye kadar ısınmalarda daha az kayıp meydana geldiği sonucuna varılmıştır (Barani 2014, Thi and Lee 2017).

3.4 Mukavemet analizi

Ham ve ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir dokuma kumaş numuneleri için çekme mukavemeti ve uzama özellikleri incelenmiştir. Yapılan testlere ait Kuvvet-Uzama eğrileri Şekil 11'de verilmiştir. Eğrilerden elde edilen Kuvvet-Uzama ve Elastisite modül değerleri Çizelge 4'de paylaşılmıştır.

ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir dokuma kumaş numunesinin kopma kuvveti atkı yönünde yaklaşık %7, çözümlü yönünde ise %5 artmıştır. Kopma uzama değerleri ise atkı yönünde %4, çözümlü yönünde ise %1 oranında artmıştır. Sonuç olarak, modifiyeli kenevir dokuma kumaşlar için hem çekme kuvveti hem de kopma uzama değerleri, ham kumaşa göre artmıştır. ZnO nanoparçacıklarının selülozik esaslı lifler arasında kümelenemediğini ve bir dolgu maddesi olarak hareket edebildiğini, böylece gerilme mukavemetini arttırdığı rapor edilmiştir (Aladpoosh and Montazer 2015). Dolayısıyla, elde edilen sonuçlar kenevir dokuma kumaş yüzeyinde mevcut ZnO nanoparçacıkların kümelenme şeklinde ince film yapısı oluşturmalarına atfedilebilir. Diğer taraftan, mukavemet analizi ZnO nanoparçacıkların

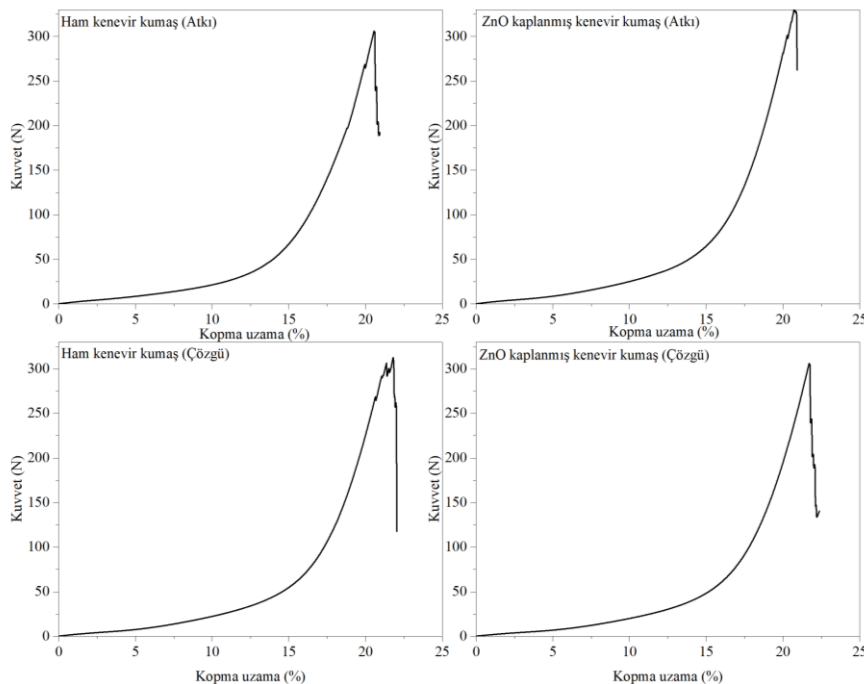
kenevir dokuma kumaş yapısında bir hasara neden olmadığını da göstermektedir (Shaheen et al. 2016, Becheri et al. 2008).

3.5 Temas açısı analizi

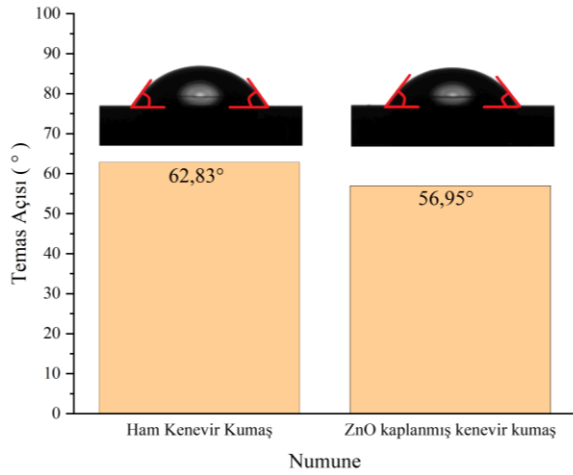
Temas açısı analizi, her bir numune için ayrı ayrı 4 µL'lik bir su damlası ile 3 kez tekrarlanarak yapılmıştır. Temas açısı olarak aritmetik ortalama açı değeri kullanılmıştır. Ham ve ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir dokuma kumaş numunelerin su temas açısı ölçümüne ait damlacık görseli ve histogram grafiği Şekil 12'de verilmiştir. Şekil 12'de de gözüktüğü gibi, ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir dokuma kumaşın temas açısı yaklaşık %9 daha küçüktür, suyla düşük temas açısı yüksek hidrofilitik özellik ile ilişkilidir (Pintarić et al.). Kumaşlarda hidrofilitik özelliğin yüzey enerjisi ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olduğu iyi bilinmektedir (Qu et al. 2010, Bico et al. 2002). Dolayısıyla, kenevir dokuma kumaş yüzeyine kaplanan nanoparçacık ZnO katmanı kenevir kumaşın yüzey alanı ve pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur. Bu da su damlacıkları ile polar etkileşimi arttırmış ve dolayısıyla temas açısının düşürmüştür. Elde edilen bu sonuç ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirme ile kenevir dokuma kumaşın hidrofilitik özelliğinin kontrol edilebileceğini göstermektedir.

Çizelge 4. Ham ve ZnO kaplanmış kenevir kumaşların çekme mukavemet değerleri

Numune	Kuvvet (N)		Kop. Uz.(%)		Elas. Mod (N/mm ²)
	Atkı	Çözümlü	Atkı	Çözümlü	
Ham Kenevir Kumaş	312,03	306,14	21,74	20,57	24,61
ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi emdirilmiş kenevir kumaş	332,45	321,81	21,82	20,87	24,16



Şekil 11. Ham kenevir kumaş ve ZnO kaplanmış kenevir kumaş numunelerine ait atkı/çözümlü kuvvet uzama grafikleri



Şekil 12. Ham ve ZnO kaplanmış numunelerin temas açısı grafiği

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada kenevir dokuma kumaşa ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi daldırmalı kaplama yöntemi ile emdirilerek başarılı bir şekilde kaplama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- SEM, EDS ve FTIR analizleri ile kenevir dokuma kumaş ipliklerinde ZnO nanoparçacıkların kümelenme şeklinde varlığını ispatlamıştır.
- ZnO nanoparçacık varlığında kenevir kumaşların çekme mukavemeti ve kopma uzama değerleri artmıştır.
- ZnO nanoparçacık varlığında kenevir dokuma kumaşın termal olarak daha kararlı olduğu ve daha az ısı kayba uğradığı belirlenmiştir.
- ZnO nanoparçacık varlığında kenevir dokuma kumaşın temas açısı değeri ham kumaşa göre daha küçüktür ve hidrofilik yapı kazandırdığı saptanmıştır.
- ZnO nanoparçacık sulu çözeltisi daldırmalı kaplama yöntemi ile emdirilerek kumaşta fiziksel ve kimyasal deformasyon olmadan ZnO kaplama yapılmıştır.

Özetle, bu çalışmada sürdürülebilir, çevreci, yeşil ve çok fonksiyonel tekstil yapılarına yönelik kenevirden elde edilmiş kumaşlar üzerine yeni nesil yeşil sentez yöntemi ile elde edilmiş ZnO nanoparçacık ZnO kaplama ile kumaşın modifiye edilebilirliği ispatlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ZnO'nun yüksek performanslı tekstil ürünlerinin geliştirilmesi için en umut verici malzemelerden biri olduğunu ve bu nedenle gelecekte yoğun bir şekilde araştırılacağını doğrulamaktadır.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazar tüm etik standartlara uyduklarını beyan eder.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Fikir Sahibi, Deney, Yazma – orijinal taslak
Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarın bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

Hayata geçirilen bu çalışmada, 1919B012200897 proje koduna sahip TÜBİTAK 2209/A projesi ile desteklenmiş Yozgat Bozok Üniversitesi bünyesinde yürütücülüğünü Fatma Nur KAÇAN, danışmanlığı ise Doç. Dr. Nesrin KORKMAZ'ın yaptığı "Çevre Dostu Yeni Biyolojik Ajan; Çinko Oksit Nanopartikül" başlıklı proje çıktısı olan ZnO nanopartiküller kullanılmıştır. Bu kapsamda her iki araştırmacıya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

- Acar, M. & Dönmez, A., 2016. Kenevire Farklı Bir Bakış. 2. *Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 27-30 Eylül, Samsun, 265-270
- Aladpoosh, R., and Montazer, M., 2015. The role of cellulosic chains of cotton in biosynthesis of ZnO nanorods producing multifunctional properties: Mechanism, characterizations and features. *Carbohydrate polymers*, **126**, 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.036>
- Alhalili, Z., Romdhani, C., Chemingui, H., and Smiri, M., 2021. Removal of dithioerethiol (DTT) from water by membranes of cellulose acetate (AC) and AC doped ZnO and TiO₂ nanoparticles. *Journal of Saudi Chemical Society*, **25**(8), 101282. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2021.101282>
- Arik, B., Karaman Atmaca, O. D., 2020. The effects of sol-gel coatings doped with zinc salts and zinc oxide nanopowders on multifunctional performance of linen fabric. *Cellulose*, **27**, 8385-8403. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03322-3>
- Arnold, M.S.; Avouris, P.; Pan, Z.W.; Wang, Z.L., 2003. Field-effect transistors based on single semiconducting oxide nanobelts. *The Journal of Physical Chemistry B* **107**(3), 659-663. <https://doi.org/10.1021/jp0271054>
- Barani, H., 2014. Surface activation of cotton fiber by seeding silver nanoparticles and in situ synthesizing ZnO nanoparticles. *New Journal of Chemistry*, **38**(9), 4365-4370. <https://doi.org/10.1039/C4NJ00547C>
- Baltakesmez, A., Tekmen, S., & Tüzemen, S. 2011. ZnO homojunction white light-emitting diodes. *Journal of Applied Physics*, **110**(5).

- <https://doi.org/10.1063/1.3627247>
- Becheri, A., Dürr, M., Lo Nostro, P., and Baglioni, P., 2008. Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles: application to textiles as UV-absorbers. *Journal of Nanoparticle Research*, **10**, 679-689. <https://doi.org/10.1007/s11051-007-9318-3>
- Bico, J., Thiele, U., and Quéré, D., 2002. Wetting of textured surfaces. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **206**(1-3), 41-46. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00061-4](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00061-4)
- Dai, D. & Fan, M., 2010. Characteristic and Performance of Elementary Hemp Fibre. *Materials Sciences and Applications*, **1**, 336-342. <https://doi.org/10.4236/msa.2010.16049>
- Dastjerdi, R., & Montazer, M., 2010. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: focus on anti-microbial properties. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, **79**(1), 5-18. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.03.029>
- Hajiha, H., Sain, M., & Mei, L. H., 2014. Modification and characterization of hemp and sisal fibers. *Journal of Natural Fibers*, **11**(2), 144-168. <https://doi.org/10.1080/15440478.2013.861779>
- Kathirvelu, S., D'souza, L., & Dhurai, B., 2009. UV protection finishing of textiles using ZnO nanoparticles. *Indian Journal of Fiber & Textile Resarch* **34**: 267-273.
- Kataria, N., & Garg, V.K., 2017. Removal of Congo red and Brilliant green dye from aqueous solution using flower shaped ZnO nanoparticles. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **5**(6), pp. 5420-5428. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.10.035>
- Li, Y., Zou, Y., & Hou, Y., 2011. Fabrication and UV-blocking property of nano-ZnO assembled cotton fibers via a two-step hydrothermal method. *Cellulose*, **18**, 1643-1649. <https://doi.org/10.1007/s10570-011-9600-5>
- Majumdar, A.; Singh Butola, B.; Awasthi, N., 2018. Chauhan, I.; Hatua, P. Improving the mechanical properties of p-aramid fabrics and composites by developing ZnO nanostructures. *Polym. Compos.*, **39**, 3300-3306. <https://doi.org/10.1002/pc.24346>
- Mohammadipour-Nodoushan, R., Shekarriz, S., Shariatnia, Z., Heydari, A., & Montazer, M., 2023. Improved cotton fabrics properties using zinc oxide-based nanomaterials: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124916. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124916>
- Pan, Z.W.; Wang, Z.L., 2001. Nanobelts of semiconducting oxides. *Science*, **291**, 1947-1949. <https://doi.org/10.1126/science.1058120>
- Pintarić, L.M.; Škoc, M.S.; Bilić, V.L.; Pokrovac, I.; Kosalec, I.; Rezić, I., 2020. Synthesis, Modification and Characterization of Antimicrobial Textile Surface Containing ZnO Nanoparticles. *Polymers*, **12**, 1210. <https://doi.org/10.3390/polym12061210>
- Qu, M., He, J., & Zhang, J., 2010. Superhydrophobicity, learn from the lotus leaf. In *Biomimetics learning from nature*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/8789>
- Şahinbaşkan, B. Y., 2019. Kenevir Dokuma Kumaşa Enzimatik Ön İşlemlerin Etkisi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, **31**(3), 208-213. <https://doi.org/10.7240/jeps.508952>
- Saleem, H. Zaidi, S.J., 2020. Sustainable Use of Nanomaterials in Textiles and Their Environmental Impact. *Materials*, **13**, 5134. <https://doi.org/10.3390/ma13225134>
- Salari, M.A., Sağlam, M., Baltakesmez, A. et al. 2019. Effect of electron radiation on electrical parameters of Zn/n-Si/Au-Sb and Zn/ZnO/n-Si/Au-Sb diodes. *J Radioanal Nucl Chem* **319**, 667-678. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-06401-9>
- Selvam, S.; Rajiv Gandhi, R.; Suresh, J.; Gowri, S.; Ravikumar, S.; Sundrarajan, M., 2012. Antibacterial effect of novel synthesized sulfated β-cyclodextrin crosslinked cotton fabric and its improved antibacterial activities with ZnO, TiO₂ and Ag nanoparticles coating. *Int. J. Pharm.*, **434**, 366-374. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.04.069>
- Shaheen, T. I., El-Naggar, M. E., Abdelgawad, A. M., & Hebeish, A., 2016. Durable antibacterial and UV protections of in situ synthesized zinc oxide nanoparticles onto cotton fabrics. *International journal of biological macromolecules*, **83**, 426-432. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.003>
- Simoncic, B.; Tomsic, B. 2010. Structures of Novel Antimicrobial Agents for Textiles—A Review. *Text. Res. J.*, **80**, 1721-1737. <https://doi.org/10.1177/0040517510363193>
- Tania, I.S.; Ali, M.; Azam, M.S., 2019. In-situ synthesis and characterization of silver nanoparticle decorated cotton knitted fabric for antibacterial activity and improved dyeing performance. *SN Appl. Sci.*, **1**, 64. <https://doi.org/10.1007/s42452-018-0068-x>

- Tania, I.S.; Ali, M.; Azam, M.S., 2021. Mussel-Inspired Deposition of Ag Nanoparticles on Dopamine-Modified Cotton Fabric and Analysis of its Functional, Mechanical and Dyeing Properties. *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.*, 1–12.
<https://doi.org/10.1007/s10904-021-02034-w>
- Tania, I.S.; Ali, M.; Islam, Z., 2019. Solaiman Development of antimicrobial activity and mechanical performances of cotton fabric treated with silver nano particles (AgNPs). *AIP Conf. Proc.*, 2121, 15003.
<https://doi.org/10.1063/1.5115968>
- Thi, V. H. T., & Lee, B. K., 2017. Development of multifunctional self-cleaning and UV blocking cotton fabric with modification of photoactive ZnO coating via microwave method. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **338**, 13-22.
<https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2017.01.020>
- Uğur, Ş.S.; Sarişik, M.; Aktaş, A.H.; Uçar, M.Ç.; Erden, E. 2010. Modifying of cotton fabric surface with Nano-ZnO multilayer films by Layer-by-Layer deposition method. *Nanoscale Res. Lett.*, **5**, 1204.
<https://doi.org/10.1007/s11671-010-9627-9>
- Yetisen, A.K.; Qu, H.; Manbachi, A.; Butt, H.; Dokmeci, M.R. 2016. Hinestroza, J.P.; Skorobogatiy, M.; Khademhosseini, A.; Yun, S.H. *Nanotechnology in Textiles. ACS Nano*, **10**, 3042–3068.
<https://doi.org/10.1021/acsnano.5b08176>
- Zahran, M. K., Ahmed, H. B., and El-Rafie, M. H., 2014. Surface modification of cotton fabrics for antibacterial application by coating with AgNPs–alginate composite. *Carbohydrate polymers*, **108**, 145-152.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.005>