



## FARKLI METODLARLA ELDE EDİLEN NANO GÜMÜŞ PARÇACIKLI/BAKTERİYEL SELÜLOZ (AG/BS) NANOKOMPOZİTİN ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Aytül SOFU\*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği/ Biyomühendislik Bölümü, Isparta,  
Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Antibakteriyel, Bakteriyel selüloz, Gümüş, Nanokompozit.</i>	Nano kompozit yapısı ağısı bir oluşum gösteren bakteriyel selüloz (BS), son zamanlarda biyomedikal alanlarda kullanımı artmış hafif, toksik olmayan su tutma kapasitesi oldukça yüksek, biyoyumlu ve ekolojik olması yönüyle oldukça avantajlı bir materyaldir. Bu çalışma, sirke bakterileri tarafından üretilen BS nin gümüşü nanoboyutta absorbe ederek antibakteriyel bir etki göstermesine örnek teşkil etmektedir. İki farklı metotla oluşturulan gümüş/bakteriyel selüloz Ag/BS nanokompozit agar difüzyon yöntemi ile antibakteriyellik testleri ve su tutma kapasiteleri belirlenmiştir. Antibakteriyellik testi patojen özellik gösteren 4 farklı bakteri kültürü ile yapılmıştır. Ag/BS nanokompozit tüm patojen bakterilere karşı antibakteriyel inhibisyon zon oluşumu göstermiş, özellikle <i>E. coli</i> bakterisine karşı daha kuvvetli etki göstermiştir.

## NANO SILVER PARTICULATE / BACTERIAL CELLULOSE (AG/BS) PRODUCTION BY DIFFERENT METHODS AND DETERMINATION OF ANTIBACTERIAL CHARACTERISTICS

Keywords	Abstract
<i>Antibacterial, Bacterial cellulose, Silver, Nanocomposites.</i>	Bacterial cellulose (BC), which has a nano composite structure formation, is a highly advantageous material in terms of its high biocompatibility and ecological properties. This study demonstrates that BC produced by vinegar bacteria has an antibacterial effect by absorbing the silver in the nanoscale. Ag/BC nanocomposite agar diffusion method was used to determine antibacteriability and water retention capacity. Antibacteriability test was performed with 4 different bacterial cultures showing pathogenic properties. Ag-BC Nanocomposite showed antibacterial inhibition zone against all pathogenic bacteria, especially showed stronger effect against <i>E. coli</i> bacteria.

### Alıntı / Cite

Sofu, A., (2019). Farklı Metodlarla Elde Edilen Nano Gümüş Parçacıklı/Bakteriyel Selüloz (Ag/Bs) Nanokompozitin Antibakteriyel Özelliğinin Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 161-166.

### YazarKimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Sofu, 0000-0002-1725-6315

### MakaleSüreci / Article Process

<b>BaşvuruTarihi / Submission Date</b>	05.11.2018
<b>RevizyonTarihi / Revision Date</b>	21.12.2018
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	10.01.2019
<b>YayınTarihi / Published Date</b>	25.03.2019

### 1. Giriş

Bakteriyel selüloz (BS) genellikle asetik asit bakterileri tarafından fermantasyon sonucu üretilen üç boyutlu, ağısı yapıya sahip nanofiber yapıdadır(Colt vd. 1994; Pal vd., 2017).

BS üretimindeki kolaylık ve çevre dostu olması dolayısıyla kâğıt, gıda ve medikal endüstride oldukça geniş bir alanda kullanılmaktadır. Yüksek hidrofilik özellik gösteren BS esnek ve antitoksik olmakla birlikte biyoyumluluğa ve biyoçözünürlüğe sahip nanobiyopolimerdir ( Shi vd., 2014).

\* İlgili yazar / Corresponding author: aytulsofu@sdu.edu.tr, +90-246-211-0890

BS'nin aynı zamanda ilaç taşıyıcı ve yara örtü materyali olarak, doku mühendisliğinde doku iskelesi ve yapay damarlar gibi biyomedikal uygulama alanları da mevcuttur (Keshk vd., 2014; Zang vd., 2015). BS'nin bir başka avantajı da çeşitli nanomateryallerle bir araya gelerek fonksiyonelliğinin artmasını sağlayan çok miktarda yüzey hidroksil grubuna sahip olmasıdır. Bu alanda literatürde yeni çalışmalar yer almaya başlamıştır. BC, nanofibröz ağ ve yüksek su tutma kapasitesi ile yüksek gözenekliliği sayesinde doğal yara sargı malzemesi olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, yara iyileşmesinde uygulanabilir ve ikincil enfeksiyondan kaçınmak için, BS'yi bir miktar antimikrobiyal ajanla daha işlevsel hale getirmek gerekmektedir. BS'nin özellikle ıslak formda, istenen şekilde üretilmeye uygun hale getiren kalıplanabilirlik özelliği birçok uygulamada kullanılabilmesini sağlamaktadır (Wu vd., 2016; Kucińska vd., 2015).

Özellikle gümüşün (Ag) iyonik halde ya da oksitlenmiş nanopartiküller şeklinde çok iyi bir antibakteriyel malzeme olduğu bilinmektedir (Lee vd., 2007; Rieger, 2016). Geniş bir spektrum özelliği göstermektedir. Günümüzde nano gümüş, güçlü antibakteriyel aktiviteleri nedeniyle cerrahi atıkların yanı sıra hastane atık sularına karşı dezenfektan gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Lansdown vd., 2010; You vd., 2012; Ge vd., 2014; Paladini vd. 2015). Gümüşün diğer mikrobiyal ajanlara göre avantajlı en önemli özelliklerinden biri, mikroorganizmalara karşı daha yüksek toksisiteye sahip ve memeli hücrelerine daha düşük toksisiteye sahip olmasıdır (Bao vd., 2015). Yara iyileşmesi uygulamalarında, gümüşün toksik etkisini göstermemesi için hücre metabolizmasına karışmayacak şekilde hem sağlam hem de geçirgen bir desteğin içinde tutulması gerekmektedir. Dolayısıyla pamuklu tekstil ürünleri gibi yaygın yara-tedavi edici materyallerle karşılaştırıldığında, yüksek gözeneklilik ve su geçirgenliği özelliklerine sahip olan BS bu yönüyle daha avantajlıdır (Maneerung, 2008). Bu nedenle, antimikrobiyal tedaviler için Ag/BS kompozit materyallerin üretilmesine yönelik artan bir ilgi vardır (Ifuku vd., 2009; Yang vd., 2012; Li vd., 2015).

BS, önemli miktarda yüzey hidroksil grubu içerdiği için, Ag<sup>+</sup> iyonları, kimyasal bağlanma yoluyla BS nanofibrillere kolayca bağlanabilmektedir. Ag/BS nanokompozitleri hazırlamak için farklı yöntemler bulunmaktadır. Ancak bunların çoğu, uzun süreli bir sentez sürecine ve oluşan kompozit malzemenin sentezi sırasında zararlı kimyasallara ihtiyaç duymaktadır. UV radyasyon altında fotokimyasal indirgeme, zararlı kimyasallar gerektirmeyen selülozik matriksdeki Ag nanopartiküllerini üretmek için en çevreci ve hızlı indirgeme prosedürlerinden biridir (Pinto vd., 2009; Basuny, 2015).

Trietanolamin (TEA) / C<sub>6</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>3</sub> yapısında alkil ve alkol grubu içeren otomotivden tarıma kadar geniş kullanım alanına sahip bir kimyasaldır (Sohoni vd. 1991; Weissmehl ve Arpe, 2008; Yakuphanoglu ve Okur, 2010). TEA, BS ile AgNO<sub>3</sub>'ün sulu ortamda BS ile oluşturacağı kompozitte stabilizatör ve indirgeyici ajan olarak kullanılmaktadır. BS gibi ultra ince ağsı bir yapı üzerinde küresel parçacıkların daha iyi dağılmasını sağlar. Bu nedenle, Ag ve Ag oksitlerin bir karışımı, düşük TEA içeriği sayesinde elde edilmektedir (Barud vd., 2008).

Bu makalede, UV ışık radyasyonu kullanılarak fotokimyasal indirgeme işlemi ile farklı iki yöntem kullanılarak Ag/BS nanokompozit üretimi ve üretilen bu malzemelerin su tutma kapasiteleri ve antibakteriyel özelliklerinin belirlenerek karşılaştırmaları yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Bakteriyel Selüloz Sentezi:

BS üretimi için evsel ürün olan elma sirkesinden asetik asit bakterileri izole edilmiştir. BS üretimi için Hestrin-Schramm (H&S) besi yeri kullanılmıştır. Kültürler BS sentezi için 25-28°C'de 10 gün izole ortamda kültüre olmaları için bekletilmiştir. BS gözle görülür bir biyofilm tabakası oluşuktan sonra yüzeyden yavaşça steril ortamlarda alınmıştır. BS'nin hücresizleştirme işlemi 1 M NaOH çözeltisinde 50 °C 4 saat inkübe edilerek yapılmıştır. Birkaç kez saf su yıkandıktan sonra 45 °C'lik etüvde 48 saat kurumaya bırakılmıştır.

### 3.1. Ag/BS Nanokompozit üretimi I.Yöntem

Bu yöntemde gümüş iyonlarının indirgenerek BS'ye bağlanması işlemi Pal ve arkadaşlarının (2017) yöntemine benzer bir şekilde yapılmıştır. %50 Solvent %50 saf su oranında 10<sup>-2</sup>M AgNO<sub>3</sub> (Promega-USA) çözeltisi hazırlanmıştır Üretimi gerçekleştirilen BS karanlık bir ortamda 24 saat bu çözeltide bekletilmiştir. Bu işlem sonrasında bekletildikten sonra %30'luk etanol su çözeltisinde birkaç kez yıkanma işlemi tekrarlanmıştır. 121°C etüvde 10 dakika kurutma işlemi yapıldıktan sonra ve daha sonraki işlemlerde kullanılmak üzere saf su içerisinde 4°C de beklemeye bırakılmıştır.

### 3.2. Ag/BS Nanokompozit üretimi II.Yöntem

Bu yöntem uygulaması Barud (2011) yaptığı çalışmada gümüş iyonlarının indirgenerek BS'ye bağlanması işleminde kullanılan yöntemine benzer şekilde yapılmıştır.

Uygulanan I. yöntemden farklı olarak saf su kullanılarak hazırlanan  $10^{-2}$  M  $AgNO_3$  çözeltisi içerisine 10/1 ml oranında Trietanolamin (Tekkim/Türkiye) ilave edilmiştir.

Bu çözelti içerisine BS koyularak karanlık bir ortamda 24 saat bekletildikten sonra % 30'luk alkol su çözeltisiyle birkaç kez yıkanmış ve 80°C etüvde 2 saat süre ile kurutulmuştur. Son işlem basamağında (Brau Lab-Class II, Turkey) bulunan UV ışık altında (200-280 nm) 5 dakika maruz bırakılarak 4°C'de saklanmıştır.

### 3.3. Agar Difüzyon Yöntemi ile Antibakteriyellik Testi

Farklı yöntemlerle elde edilen Ag/BS nanokompozitlerinin antibakteriyel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Agar difüzyon yöntemi kullanılmıştır. 4 farklı patojen bakteri kültürü kullanılarak ekim yapılmış ve Ag/BS'nin antibakteriyellik düzeyleri inhibisyon zonu ölçümü ile test edilmiştir. Kullanılan besi yerleri ve bakteriler Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu bakteriler %1'lik ön zenginleştirme sonrası %0,1'lik konsantrasyonlarda seyreltilerek ekim yapılmıştır.

**Tablo 1.** Antibakteriyel testleri için kullanılan bakteriler ve besiyerleri.

<i>Escherichia coli</i> (OXOİD LOT:60273 6)	<i>Pseudomonas</i> p. (OXOİD LOT:602593)	<i>Staphylococcus aerous</i> (OXOİD LOT:743844)	<i>Enterococcus faecalis</i> (OXOİD LOT:60243 8)
EMB Agar (©MERCK)	<i>Pseudomonas</i> AgarBase (©MERCK)	Nutrient Agar (©MERCK)	Brain-Heart Agar (©MERCK)

Spesifik agarların üzerine aynı ölçülerde iki farklı yöntemle elde edilmiş Ag/BS Nanokompozitleri yerleştirilerek 37°C'de etüvde 1 gün inkübasyona bırakıldıktan sonra oluşan inhibisyon zonlarının ölçümleri kumpas yardımıyla yapılmıştır. Antibakteriyellik testleri 3 kez tekrar edilerek zon kalınlıklarının ortalaması alınmıştır.

### 3.4. Su Tutma Kapasitelerinin Belirlenmesi

Su tutma kapasitesini belirlemek için kuru haldeki örneklerden 1 cm<sup>2</sup> kesilerek tartılmıştır. 1 ml distile suyun içinde 2 dakika oda sıcaklığında ağzı kapalı olarak bekletilmiştir. Daha sonra santrifüjlenmiş ve tüm suyu alınarak ve tekrar tartılmıştır. Su tutma kapasitesi belirlemek için aşağıda yer alan hesaplamadan yararlanılmıştır.

Su tutma kapasitesi= (son ağırlık - ilk ağırlık/son ağırlık) x 100 işlemi kullanılmıştır.

## 4. Araştırma Bulguları

### 4.1. Agar Difüzyon Yöntemi ile Elde Edilen Antibakteriyellik Test Sonuçları

İki farklı yöntemle oluşturulan Ag/BS Nanokompozitleri 4 farklı patojen bakteri kültürü için elde edilen Antibakteriyellik test sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3'de gösterilmiştir. Test sonuçları değerlendirildiğinde her iki yöntemde de en geniş inhibisyon zonunun *Escherichia coli* bakteri kültüründe olduğu, en küçük inhibisyon zonunun *Staphylococcus aerous* bakteri kültüründe olduğu tespit edilmiştir. I. yöntemde elde edilen Ag-BS Nanokompozitleri uygulamasında en yüksek inhibisyon zonu 3,61 mm ile *Escherichia coli* bakteri kültüründe olduğu en küçük inhibisyon zonu 1,06 mm ile *Staphylococcus aerous* bakteri kültüründe olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 2.** Yöntem I ile üretilen Ag/BS antibakteriyel test zon inhibisyon zon ölçümleri.

<i>Pseudomonas</i> ssp.	<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Staphylococcus aerous</i>
2,21 mm	3,41 mm	1,17 mm	0,6 mm
0,84 mm	3,70 mm	2,88 mm	1,49 mm
2,60 mm	3,71 mm	3,09 mm	1,09 mm
Ort. 1,88 mm	Ort. 3,61mm	Ort. 2,38 mm	Ort. 1,06 mm

**Tablo 3.** Yöntem II ile üretilen Ag/BS antibakteriyel test inhibisyon zon ölçümleri.

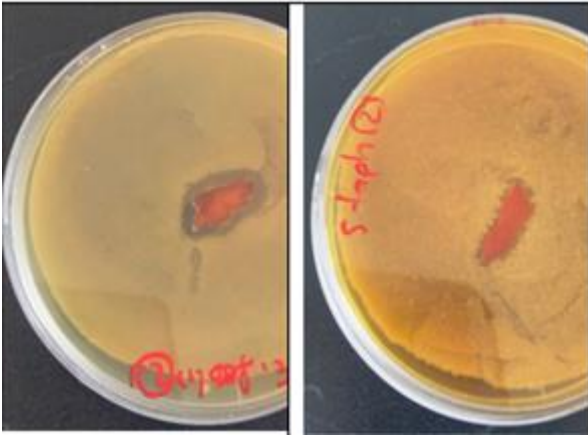
<i>Pseudomonas</i> spp.	<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Staphylococcus aerous</i>
0,1mm	2,83mm	1,22mm	1,04mm
1,43mm	2,83mm	2,18mm	2,42mm
1,49mm	2,14mm	1,57mm	1,14mm
Ort. 1,46 mm	Ort. 2,60mm	Ort. 1,57mm	Ort. 1,53 mm

Ag/BS Nanokompozitlerin II. yöntemde elde edilen sonuçları ise en yüksek inhibisyon zonu 2,60 mm ile *Escherichia coli* bakteri kültüründe olduğu en küçük inhibisyon zonu 1,46 mm ile *Pseudomonas* spp., bakteri kültüründe olduğu belirlenmiştir.

Farklı iki yöntemle elde edilen Ag/BS nanokompozitlerin antibakteriyellik test sonuçları karşılaştırıldığında I. yöntemin daha iyi sonuç verdiği tesbit edilmiştir (Şekil 1-2 ve Şekil 3-4).



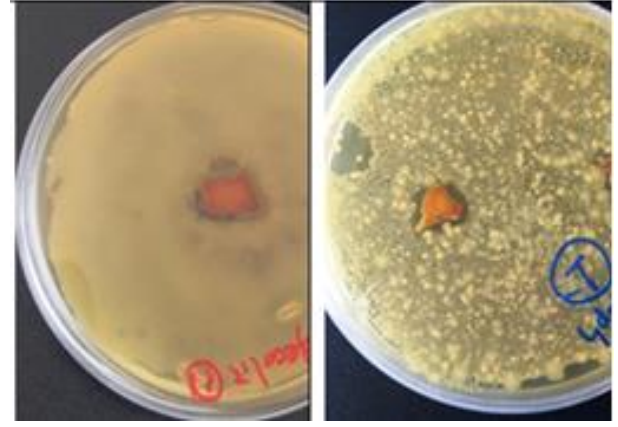
**Şekil 1.** Agar difüzyon yöntemi ile I.Yöntem ile elde edilen Ag/BS nanokompozitin antibakteriyelliğinin test edilmesi. Soldan sağa; *Pseudomonas* sp., *E.coli*.



**Şekil 2.** Agar difüzyon yöntemi ile I. Yöntem ile elde edilen Ag/BS nanokompozitin antibakteriyelliğinin test edilmesi. Soldan sağa; *E. Fecalis*, *Staphylococcus aerous*.



**Şekil 3.** Agar difüzyon yöntemi ile II. Yöntem ile elde edilen Ag/BS nanokompozitin antibakteriyelliğinin test edilmesi. Soldan sağa; *Pseudomonas* spp., *E.coli*,



**Şekil 4.** Agar difüzyon yöntemi ile II. Yöntem ile elde edilen Ag/BS nanokompozitin antibakteriyelliğinin test edilmesi. Soldan sağa; *E. fecalis*, *Staphylococcus* spp

#### 4.2. Su tutma kapasiteleri

Su tutma kapasiteleri ölçümleri; I.yöntemle üretilen Ag/BS nanokompoziti %73, II. Yöntemde %74 kapasiteye birbirlerine yakın değerlere sahip oldukları tespit edilmiştir.

#### 5. Sonuç ve Tartışma

BS'nin nano örgü yapısı bakterilerin buldukları ortamdan ayrılmaları sağlayan stoplazmik uzantıları sayesinde meydana gelmektedir. BS grift yapısı sayesinde mikro ve makro yapı bir malzemeyi nano seviyede tutarak kompozit yapısına katarak esas işlevini çeşitlendirmektedir. Çalışmamızda antibakteriyel ajan olarak biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan gümüş materyali bu sayede nano yapıya indirgenerek işlevi artırılmıştır. Böylece nano yapıda gümüş iyonunun BS ile kompozisyonu ile gümüş iyonu hücrel toksisitesi de bertaraf edilmiştir.

Pal vd., (2017) Kombuçya çayından ürettikleri BS ile elde ettikleri Ag/BS nin antibakteriyelliğini *E. coli* bakterisi ile test etmiş, bu çalışmaya benzer şekilde 6,5 mm antimikrobiyal zon gözlemlemiştir. Buna benzer şekilde Barud vd. (2011) BS (Fibrocel-Produtos Biotecnologicos, LTDA-Brazil) ile ürettikleri Ag/BS de *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC-27853), *Escherichia coli* (ATCC 25922) ve *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) bakterilerini ile test etikleri ve yeterli antibakteriyellik sağladıklarını ifade etmişlerdir.

Antibakteriyellik testleri sonucunda iki yöntemden etanol ile uygulama yapılan ilk yöntemin daha iyi sonuçlar vermesi Trietanolamin çalışmalarda kullanımına gerek kalmaması açısından önemlidir. Trietanolamin kimyasal yapısı sebebiyle (Sohoni vd. 1991; Weissmehl ve Arpe, 2008; Yakuphanoglu ve

Okur, 2010) çeşitli irritasyonlar ve zehirlenmelere sebep olabilecek bir bileşiktir. Bu nedenle Yöntem I. daha ekonomik ve daha ekolojik bir yöntem olarak daha avantajlıdır.

Yapılan çalışmalarda hastane kontaminasyonuna sebep olan özellikle *Pseudomonas spp.*, ve *E. fecalis* gibi bakterilerinin üremesinin engellenmiş olması Ag/BS nanokompozit'in herhangi bir cerrahi operasyon sonrası steril ortamın korunabilmesi için oldukça uygun olduğu görülmüştür.

Ag/BS Nanokompozit tüm patojen bakterilere karşı antibakteriyel etki göstermiş özellikle *E. coli* bakterisine karşı daha kuvvetli etki göstermiştir. *E. coli* bakterisi bulaşma ihtimali yüksek olan alanlarda bu yöntemle yapılacak biyomedikal uygulamaların; hem cihazların filtrelenmesi gibi sistemlerde hem de doğrudan yara örtü materyali olarak kullanılmasında uygun olduğu düşünülmektedir.

### Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar

Bao, H., Yu, X., Xu, C., Li, X., Li, Z., Wei, D., & Liu, Y., 2015. New toxicity mechanism of silver nanoparticles: promoting apoptosis and inhibiting proliferation. *PLoS One*, 10(3), e0122535.

Basuny, M.; Ali, I. O.; El-Gawad, A. A.; Bakr, M. F.; Salama, 2015. T. M. A Fast Green Synthesis of AgNanoparticles in Carboxymethyl Cellulose (CMC) through UV Irradiation Technique for Antibacterial Applications. *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 75, 530–540.

Clinical Application and Cytotoxicity. *Mol. Biol. Rep.*, 39, 9193– 9201.

Daina, S.; Sadocco, P., 2009. Antibacterial Activity of Nanocomposites of Silver and Bacterial or Vegetable Cellulosic Fibers. *Acta Biomater.* 5, 2279–2289.

Ge, L.; Li, Q.; Wang, M.; Ouyang, J.; Li, X.; Xing, M. M., 2014. Nanosilver Particles in Medical Applications: Synthesis, Performance, and Toxicity. *Int. J. Nanomed.* : 9, 2399–2407.

H. S. Barud, C. Barrios, T. Regiani et al., 2008. "Self-supported silver nanoparticles containing bacterial cellulose membranes," *Materials Science and Engineering C*, vol. 28, no. 4, pp. 515– 518.

Ifuku, S., Tsuji, M., Morimoto, M., Saimoto, H., Yano, H., 2009. Synthesis of silver nanoparticles templated by TEMPO-mediated oxidized bacterial cellulose nanofibers. *Biomacromolecules*, 10(9), 2714–2717.

Iguchi, M., Yamanaka, S., Budhiono, A., 2000. Bacterial cellulose—a masterpiece of nature's arts. *Journal of Materials Science*, 35(2), 261–270.

Keshk, S. M. A. S., 2014. Bacterial cellulose production and its industrial applications. *J Bioprocess Biotech*, 4(150), 2.

Kucińska-Lipka, J., Gubanska, I., & Janik, H., 2015. Bacterial cellulose in the field of wound healing and regenerative medicine of skin: recent trends and future perspectives. *Polymer Bulletin*, 72(9), 2399–2419.

Lansdown, A. B. G. A., 2010. Pharmacological and Toxicological Profile of Silver as an Antimicrobial Agent in Medical Devices, *Advances in Pharmacological Sciences. Adv. Pharmacol. Sci.* 2010, 1–16.

Lee, H. Y., Park, H. K., Lee, Y. M., Kim, K., & Park, S. B., 2007. A practical procedure for producing silver nanocoated fabric and its antibacterial evaluation for biomedical applications. *Chemical Communications*, (28), 2959–2961.

Li, Z.; Wang, L.; Chen, S.; Feng, C.; Chen, S.; Yin, N.; Yang, J.; Wang, H.; Xu, Y., 2015. Facile Green Synthesis of Silver Nanoparticles into Bacterial Cellulose. *Cellulose*, 22, 373–383.

Maneering, T., Tokura, S., & Rujiravanit, R., 2008. Impregnation of silver nanoparticles into bacterial cellulose for antimicrobial wound dressing. *Carbohydrate polymers*, 72(1), 43–51.

Pal, S., Nisi, R., Stoppa, M., & Licciulli, A., 2017. Silver-Functionalized Bacterial Cellulose as Antibacterial Membrane for Wound-Healing Applications. *ACS Omega*, 2(7), 3632–3639.

Paladini, F.; Pollini, M.; Sannino, A.; Ambrosio, 2015. L. Metal-Based Antibacterial Substrates for Biomedical Applications. *Biomacromolecules*, 16, 1873–1885.

Pinto, R. J. B.; Marques, P. A. A. P.; Neto, C. P.; Trindade, T. 2009. Antibacterial activity of nanocomposites of silver and bacterial or vegetable cellulosic fibers. *Acta Biomaterialia*, 5, 2279–2289

Rieger, K. A., Cho, H. J., Yeung, H. F., Fan, W., & Schiffman, J. D., 2016. Antimicrobial activity of silver ions released from zeolites immobilized

- on cellulose nanofiber mats. *ACS applied materials & interfaces*, 8(5), 3032-3040.
- Schramm, M., Hestrin, S., 1954, Factors affecting production of cellulose at the air/liquid interface of a culture of *Acetobacter xylinum*. *Microbiology*, 11(1), 123-129.
- Shi, Z., Zhang, Y., Phillips, G. O., & Yang, G., 2014. Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids*, 35, 539-545.
- Sohoni, S., Sridhar, R., Mandal, G., 1991. The effect of grinding aids on the fine grinding of limestone, quartz and Portland cement clinker. *Powder technology*, 67(3), 277-286.
- Valla, S., Kjosbakken, J., 1982. Cellulose-negative mutants of *Acetobacter xylinum*. *Microbiology*, 128(7), 1401-1408.
- Weissermel, K., Arpe, H. J., 2008. *Industrial organic chemistry*. John Wiley & Sons.
- Wu, J., Zheng, Y., Song, W., Luan, J., Wen, X., Wu, Z., & Guo, S. (2014). In situ synthesis of silver-nanoparticles/bacterial cellulose composites for slow-released antimicrobial wound dressing. *Carbohydrate polymers*, 102, 762-771.
- Wu, Z. Y., Liang, H. W., Chen, L. F., Hu, B. C., & Yu, S. H., 2015. Bacterial cellulose: A robust platform for design of three dimensional carbon-based functional nanomaterials. *Accounts of chemical research*, 49(1), 96-105.
- Yakuphanoglu, F., Okur, S., 2010. Analysis of electronic parameters and interface states of boron dispersed triethanolamine/p-Si structure by AFM, I-V, C-V-f and  $G/\omega$ -V-f techniques. *Microelectronic Engineering*, 87(1), 30-34.
- Yang, G.; Xie, J.; Hong, F.; Cao, Z.; Yang, X., 2012. Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticle Impregnated Bacterial Cellulose Membrane: Effect of Fermentation Carbon Sources of Bacterial Cellulose. *Carbohydr. Polym.* 87, 839-845.
- You, C.; Han, C.; Wang, X.; Zheng, Y.; Li, Q.; Hu, X.; Sun, H., 2012. The Progress of Silver Nanoparticles in the Antibacterial Mechanism.
- Zang, S., Zhang, R., Chen, H., Lu, Y., Zhou, J., Chang, X., & Yang, G., 2015. Investigation on artificial blood vessels prepared from bacterial cellulose. *Materials Science and Engineering: C*, 46, 111-117.