

Nanoteknoloji Kullanımı ve Antibakteriyel Tekstil Ürünleri

Use of Nanotechnology and Antibacterial Textile Products

Havvane KULAKSIZOĞLU¹, Fatma ETİ ASLAN¹

Özet: Nanoteknolojinin başlangıcı 29 Aralık 1959’ da Richard Feynman’ın “Altınlarda kullanılacak çok oda var.” söylemine dayanır. Nanoteknoloji; elektronik ve bilgisayar dünyası, savunma sanayi, araç üretim sanayisi, havacılık ve uzay çalışmaları, su arıtma sistemleri, spor ekipmanları, kozmetik sektörü ve tıp gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Nanotıp alanında; erken teşhis ve tedavi yöntemleri, ortopedik protezler, diş implantları, insülin pompaları, cerrahi suturelar, yapay organlar için membran, nanoçipler sayesinde organizmayı uzaktan takip etme, antiviral ve antibakteriyel ajanlar ve yara örtüleri gibi geniş bir kullanım alanı vardır. Son zamanlarda, nanoteknolojinin uygulamaları tekstillere kadar genişletildi; bu sayede kumaşlar, diğerlerinin yanı sıra algılama, ultraviyole koruyucu, elektronik, termoregülasyon ve antimikrobiyal akıllı tekstiller oluşturmak için nanopartiküllerle işlevsel hale getirildi. Kumaşların mikrobiyal bozulması kötü kokulara, mukavemet kaybına ve renk solmasına neden olur. Mikroorganizmaların tekstil malzemeleri üzerinde yaşaması, kumaş kullanıcılarının sağlığını da çeşitli şekillerde tehlikeye atabilmektedir. Örneğin kumaş üzerinde büyüyen mikroorganizmalar ciddi enfeksiyonlara neden olabilir. Ayrıca kumaş üzerinde sporlanan mantarlar solunum yolu enfeksiyonlarını ve alerjileri teşvik edebilir. Özellikle hastane ortamlarında üniforma, ameliyathane örtüleri, burun maskeleri, perdeler ve yatak örtüleri olarak çeşitli şekillerde kullanılan tekstiller bulunmaktadır. Özellikle hastane enfeksiyonlarında sorunları çözmek için, hastane kaynaklı enfeksiyonları azaltmak için antimikrobiyal tekstil hastanelerde de kullanılmaktadır. Diğer bir taraftan üretilen nanoteknolojik tekstillerin sağlığa zararlı olabileceğini gösteren çalışmalar yapılmaktadır ve bu konu ile ilgili kesin bir yargıya varılamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Antibakteriyel, Nanoteknoloji, Tekstil.

Abstract: The beginning of nanotechnology dates back to 29 December 1959 when Richard Feynman said ‘There is a lot of room to be used at the bottom’. Nanotechnology is used in many fields such as electronics and computer world, defence industry, vehicle manufacturing industry, aviation and space studies, water treatment systems, sports equipment, cosmetics industry and medicine. In the field of nanomedicine; early diagnosis and treatment methods, orthopedic prostheses, dental implants, insulin pumps, surgical sutures, membrane for artificial organs, remote monitoring of the organism thanks to nanochips, antiviral and antibacterial agents and wound dressings. Recently, the applications of nanotechnology have been extended to textiles, whereby fabrics are functionalised with nanoparticles to create smart textiles for sensing, ultraviolet shielding, electronics, thermoregulation and antimicrobial, among others. Microbial degradation of fabrics causes bad odours, loss of strength and discolouration. The survival of microorganisms on textile materials can also endanger the health of fabric users in various ways. For example, microorganisms growing on the fabric can cause serious infections. In addition, fungi sporulating on the fabric can promote respiratory infections and allergies. Especially in hospital environments, there are textiles used in various ways as uniforms, operating theatre covers, nasal masks, curtains and bedspreads. Especially to solve problems in hospital infections, antimicrobial textiles are also used in hospitals to reduce hospital-acquired infections. On the other hand, studies have been carried out showing that nanotechnological textiles produced on the other hand may be harmful to health and no definite judgement has been reached on this issue.

Keywords: Antibacterial, Nanotechnology, Textile

¹ Bahçeşehir Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Cerrahi Hastalıkları Hemşireliği İstanbul/Türkiye



GİRİŞ

Nanoteknoloji teknolojideki hızlı gelişen alanlardan biridir. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Nanoteknoloji Girişimi'ne (National Nanotechnology Initiative NNI) göre; Nanoteknoloji, “Malzemelerin 1-100 nanometre aralığında özelliklerinin anlaşılması, kontrol edilmesini sağlayan ve bu büyüklük ölçeğinde maddelerin tüm görüntüleme, ölçüm modelleme ve manüplasyon işlemlerinin tamamını kapsayan bir teknolojidir.” (NNI, 2024).

Nanoteknolojiye antik çağlardan itibaren günümüze kadar gelen birçok eserde rastlamak mümkündür Özellikle nanoparçacıkların kullanılması hayli ilgi çekicidir. Bu eserlerden en ilgi çekici olanı ise; “Lycurgus Cup” adı verilen Roma dönemine ait camdan yapılmış kadehtir ve en önemli özelliği cam ustaları tarafının cam eriğinin içerisine konulan nanaopartikül sayesinde ışığı çok güzel yansıtması ve ışığa göre renk değiştirmesidir. Yaklaşık 50 yıl önce hayal olarak düşünülen nanoteknoloji; birçok düşünür ve bilim kurgu yazarlarına ilham vermiş olup, en çok tanınan isim İsaac Asimov’un 1966’da yayınlanan “Kan Damarlarındaki Yolculuk” adlı romanında, soğuk savaş yıllarında uğradığı bir suikast sonucu komaya girmiş bir diplomatın sahip olduğu gizli bilgileri almak amacıyla hayatını kurtarmak için deneme aşamasında olan bir projede çalışan bilim adamlarının mikroskopik boyutta küçültülmüş bir denizaltıyla, kan damarları yolu ile diplomatın beynindeki kan pıhtısına ulaşarak yok etmek için çıktıkları yolculuk sırasında başlarına gelen olaylar anlatılır (Benli, 2008).

29 Aralık 1959’ da Amerikan Fizik Topluluğu’nun düzenlediği bir toplantıda Fizikçi Richard Feynman’ın “Altlarda kullanacak daha çok oda var” söylemi nanoteknolojinin başlangıç tarihi olmuştur. Konuşmasının devamında ise “Brittanica ansiklopedisinin 24 cildini bir toplu iğnenin başına niçin yazamayacağımızı” sorgular ve “Vurgulamak istediğim şey; bir şeyleri küçük ölçekte manipüle etmek ve kontrol etmektir” diyerek yeni bir

yaklaşım ortaya koymuştur (Menceloğlu ve Kırca, 2008). Nanoteknolojide malzeme üretilme yöntemi olarak yukardan-aşağıya ve aşağıdan-yukarıya olarak iki yaklaşım vardır. Ateş ve Bahçeci üretim yöntemlerini; “İlk yaklaşım olarak yukardan-aşağıya üretimde malzeme bütünden işleme başlanarak küçük parçalara ayrılarak yapılır. Bu ana yaklaşımda özel yöntemlerle kimyasal aşındırma yapılarak nano boyutlara indirilerek kusursuz yüzey elde edilir. Aşağıdan-yukarıya üretim yaklaşımında ise; nanoyapıların kimyasal reaksiyonlarla boyutça büyütülmesi sonucu elde edilir. Böylelikle nanoyapılar daha büyük sistemlerin makro-moleküller yapı oluşturacak şekilde kontrollü olarak bir arada toplanmasını içerir.” olarak tanımlamışlardır (Ateş ve Bahçeci, 2015). Bu derlemede; nanoteknoloji kullanım alanları ve antibakteriyel tekstil ürünlerini literatür ışığında inceledik.

Nanoteknoloji Kullanım Alanları

Günümüz koşullarında, çok daha uzun ömürlü pillere sahip ve minimum güç harcayan hem daha küçük hem de daha güçlü bilgisayarların üretilmesi mümkündür (Brainina ve ark., 2018). Elektronik dünyasında yapılmış olan küçük robotların özellikleri açısından boylarına nazaran daha büyük işler başaracağını çalışmalar göstermektedir. Gelecekte nanorobotların ilaç yapımı, tanılama gibi sağlık alanında kullanılması mevcuttur (Vanketesan ve Jolad, 2010). Hafif, güçlü bir materyal olan nanokompozit araç parçalarının oluşturulmasında aracın yakıt performansında iyileşmesine ve oluşabilecek korozyon direncinin artırılmasında yardımcı olur (Sing ve ark., 2023). Nanoyapılı malzemelerin havacılık ve uzay çalışmaları ağırlık, yakıt, bakımından avantajlı olması, hafif, sağlam, az enerji gerektiren ve ısıya karşı dayaklı olması sebebiyle uzay istasyonlarında roket yapımında kullanılmaktadır (Özer, 2019).

Nanoteknoloji kullanılarak üretilen su filtreleri tüm nano boyuta sahip virüs ve bakterileri yok edebilme özelliğine sahip olduğundan içme suyu kalitesinin artırılmasında önemli rol olmaktadır (Yan ve ark.,

2016). Karbon molekülünün nanoteknolojik birçok ürün çeşidinin üretilmesine imkân tanımaktadır. Elastik modüle özelliğine sahip olma özelliğinden dolayı yüksek dayanıklılık kabiliyetine sahiptir. Nanopartiküller kullanılarak elde edilen spor malzemelerinden tenis topları daha fazla sıçrama özelliğine ve daha az bükülerek daha çok performans gösterebilmektedir (Patel, 2012). Kozmetik ürün olarak kullandığımız güneş kremleri ışığı etkili bir şekilde emen ve ultraviyole (UV) ışınlarından koruyan nanopartiküllerden yapılmaktadır.

Ayrıca cilt kanserini yarı yarıya azaltma özelliği çalışmalarla kanıtlanmıştır. Nanopartiküllerin gıda ürünlerinde UV maruziyetini azaltmak ve raf ömrünü uzatmak gibi amaçlarla da kullanılmaktadır (Erdem ve Göknur, 2015). Savunma Sanayisinde nanoteknoloji askerler için kimyasal ajanlara reaksiyon gösterebilen, yüksek düzey koruma sağlayan, yaralanma durumunda iyileştiren balistik koruma sağlayan, yaralanmaları iyileştiren kıyafetler için için araştırma geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Karmaşık harekât ortamlarında hafif ve koruyucu ve hareket kabiliyeti yüksek esnek malzemelerin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır (Özer, 2019). Nanoteknoloji sanayi siteleri, laboratuvarlar ve hava limanlarının güvenlik sistemlerinde kullanılabilecek ideal bir sistemdir (Hassanzadeh, 2020). Günümüzde teknolojilerinde sıklıkla kullanılan milyonlarca sayıdaki başta cep telefonları, bilgisayarlar, elektronik cihazlar nanoyapılardan oluşmaktadır. Bu nedenle nanoteknoloji alanı, moleküler biyolojiden, tıp alanına, elektroniğe ve ötesine kadar oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir (Chen ve ark., 2017).

Nanoteknolojide kullanılan giysiler insan vücudunun fonksiyon ve metabolizmasının takip edebilen giysiye entegrasyonu yapılmış olan elektronik cihazlar bulunmaktadır. Nanopartikül ve nanofiber içeren giysiler daha hafif, sertliği ve kalınlık açısından artış olmayan; alev, su, leke direncini artırabilme yeteneğine sahiptir. Flaster, gazlı bez, tampon, sargı bezi, yara bakım örtüleri

kullanılmaktadır. Özellikle tıbbi tekstil yeni gelişen, geniş bir kullanım alanına sahip olacaktır (Annapoorani, 2013).

Nanoteknolojinin Sağlık Alanında Kullanımı

Nanotıp erken teşhis ve tedavi, yaranın iyileşmesi, hücrenin fonksiyonlarının kontrol altında tutularak sağlığın korunması ve iyileştirilmesi moleküler düzeyde malzemelerin üretilmesini içerir (Tüylek, 2021). Nanoteknoloji ile ortopedi, kardiyovasküler, plastik ve rekonstrüktif cerrahi ve diş alanında implantlar üretilmektedir. Farmasotiklerde nanopartiküllerin kullanımı ile ilgili senaryolardan birisi birlikte kullanım için üretilmiş cihazların yardımıyla ilaçların vücutta emilimlerini kolaylaştırmak ve hastalıklı bölgeye (özellikle kemoterapi) ulaşmasını sağlamaktır. Örnek verecek olursak aerosol olarak işlev gören nanopartiküllerin akciğer tedavisinde kullanılan solunabilir inhalasyon ilaçlarının uygulanmasıdır (Murali ve ark., 2018). Yapay organlarda (karaciğer, böbrek, akciğer) filtreleme ve gaz değişimi esnasında mikrolif ve nanoliflerden üretilmiş olan tıbbi tekstil elemanı membran kullanılmaktadır. Yapay karaciğerde kan plazmasını, yapay akciğerde gaz değişimini, yapay böbrekte ise hemodiyaliz yoluyla kanı temizlenmektedir (Lee ve ark., 2007).

Nanoteknoloji ürünleri insan vücudunda beyin damarları ve diş içerisine ve daha birçok bölgeye yerleştirilebilir. Bu özel nanoçipler ve nanosensörler sayesinde insan vücudu uzaktan kontrol edilebilir ve biyolojik fonksiyonlar yürütülebilir (Lavia ve ark., 2015). Nanopartiküller, konakçı hücrelere bağlanan virüsü bloke edebilen umut verici antiviral ajanlar olarak da kullanılmaktadır (Hassanzadeh, 2020). Nanokompozitlerde ise kitosan, organik modifiye nanokiller, bir fazın nanopartiküller, enzimler, sentetik antimikrobiyaller ve doğal antibiyotik ajanlar kullanılmaktadır. Antimikrobiyal ilaçların, COVID-19 pandemisi için yapılmış olan ilaçların (Ribevirin, Ritonavir) olumlu sonuçları gözlemlenmiştir (Mainardes ve Diedrich, 2020).

Nanoteknoloji hemşirelik alanında da kullanımı artış gözlemlenmektedir. Özellikle ilaç dağıtım sistemlerindeki değişikliklere uyum sağlayabilmek için hemşirelerin eğitilmesi ve nanoteknoloji uygulamalarını anlamaları ve yakından takip etmeleri gerekmektedir. Nanoteknolojinin hemşirelikte önemine bakıldığında kanserin erken teşhis ve tedavi aşamalarında, enfeksiyonun önlenmesi, özellikle yara bakımında nanoteknoloji ürünlerinden faydalandığı bilinmektedir. Ayrıca bu ürünlerin inhalasyon ve cilt gibi yollardan alındığı için korunma için koruyucu ekipmanların kullanılmalı ve geliştirilmesi için rol üstlenmelidirler (Baybek ve ark., 2017). Nanoteknoloji gibi çığır açan yeniliklerin ortaya çıkışı, hemşirelere yeni hassas moleküler ilaç tedavisini yönetmede yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla, bu nanotıp ve nanoteknolojide uygun eğitim ve bilgi gerektirir. Hemşirelerin hedefe yönelik ilaç tedavileri konusunda bilgili olması gerekir. Bu, hastaların farkında olması ve uygun tedavi kararları alabilmesi için hastalarıyla yeni tedaviler hakkında doğru bir şekilde iletişim kurmalarına yardımcı olacaktır (Contera ve ark., 2020).

Nanoteknolojik Antibakteriyel Tekstil Ürünleri

Tekstiller, doğal ve yapay elyaflardan oluşan bir ağdan oluşan esnek malzemelerdir. Dokuma, tığ işi ve düğümleme yoluyla yapılırlar. Tekstil, tüketim endüstrilerinde dünyanın en önemli mallarından biridir. Nanotekstil suya dayanıklılık, koku ve nem giderme, daha iyi esneklik, dayanıklılık ve mikrobiyal direnç, yangın geciktiricilik gibi bazı faydalar sağlamak üzere nanopartiküllerle işlevselleştirilmiş tekstil malzemeleridir. Nanomalzemelerle işlevseleştirme yoluyla nanotekstillerin antimikrobiyal UV engelleyici, antistatik, kırışma önleyici, hidrofobik, algılama, elektriksel, kendi kendini temizleme, katalitik ve yangın geciktirici aktiviteler gösterdiği görülmüştür.

Ayrıca geliştirilmiş mukavemete ve boyanabilir özelliğe sahiptirler. Altın, Bakır, Gümüş, Titanyum

Dioksit, Çinko Oksit gibi çeşitli nanopartiküller farklı teknikler kullanılarak kullanılmaktadır. Uygulamalar her geçen gün gelişmeye devam etmektedir (Özdoğan ve ark., 2006). Antibakteriyel tekstil ürünleri sağlık alanında özellikle enfeksiyon etkenlerini azaltabilmek amacıyla kullanılmaya başlamıştır (Sarı ve Arık, 2020).

Nanoteknolojinin İnsan Sağlığına ve Çevreye Etkileri

Günümüzde nanoteknoloji kullanımının başlamasıyla birlikte çok sayıda ürün üretilmektedir. Bu ürünlerin güvenilirlik testleri yıllarca sürebilmektedir ve hala birçoğunun insan ve çevreye verdiği toksik etkileri bilinmemektedir. Kısmen de olsa yapılmış çalışmalarda insan ve çevreye verdiği zararlı etkileri bilinse de bu bilgiler sınırlıdır ve belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Örnek verecek olursak gümüş nanopartiküllerden üretilmiş olan antibakteriyel özelliğe sahip ürünler fazla biriktiği durumlarda toksik etkiye sahip olabilmektedir. Nano malzemelerin vücutta tahriş, yaralanma veya enfeksiyona karşı tepkilere neden olduğu kanıtlanmıştır (Öztürk ve Dağlıoğlu, 2018; Shi, ve ark., 2013; Inoue & Takano, 2011).

Nano partiküller geniş yüzey alanlarında kimyasal ve toksik kirleticilerle bağlanabilme özelliklerinden dolayı taşınabilecekleri yüzeyler oluşturmaktadırlar. Nano partiküller insan vücudunda kolayca hücre ve kan içerisine girebilirler ve bu durum toksik maddelerin kolayca yayılmasına neden olur ve bu durumda hücre, doku hasarı, immün sistem bozuklukları, sinir sistemi hasarı ve organ hasarına neden olabilmektedir. Özellikler nanoteknoloji laboratuvar atıkları önce suya, su vasıtasıyla toprağa ve daha sonra da yiyecek ve içecek yolla ile vücudumuza girmektedir. Nano partiküller solunum, beslenme, deri yoluyla gelip vücudumuza girmektedir. Nano boyutlardaki partiküller, hücreler açısından toksik etki göstermektedir (Tüylek, 2018).

Fareler üzerinde yapılan bir deneyde; hamile farelerin deri altına nano titanyum dioksit

uygulanmış ve yavruya geçtiği görülmüştür. Yavruların izlenmesi sonucu, beyin hasarı ve erkek yavrularda üreme sorunları olduğu belirlenmiştir (Syed ve ark., 2013). Sentetik nanopartiküllerin kapsamlı üretimi ve düzensiz salınımı, ekosistem içindeki nanokirliliğe sebep olduğu bilinmektedir. Nanopartiküllerin oluşturduğu nanoatıkların hücre zarı ve hücre organelleri ile doğrudan ilişkili olduğu, toksik iyonların çözünmesine ve salınmasına, reaktif oksijen türlerinin oluşumuna ve ardından oksidatif strese yol açtığı görülmüştür (Gowtham ve ark., 2024).

Ayrıca; Gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) tarafından indüklenen sitotoksikite ve oksidatif stresin bu süreçte, tedavi edilen hücrelerin sitoplazmasında ve çekirdeklerinde depolandığı gösterilmiştir. Hücre içi oksidatif stresi tetiklediği ve hücre mitokondrisine ve Adenozin trifosfat (ATP)'ye zarar verdiği görülmüştür (Faedmaleki ve ark., 2016). Titanyum dioksit nanopartiküllerinin insan stratum corneum'una ve epidermal ve hatta deri altına nüfuz edebilir. Karbon nanotüplerin yüzey kaplamalarının epidermal keratinositler ve fibroblastlar üzerinde zararlı etkileri vardır. Böylece insan genlerini değiştirebilme ve hatta doğum sürecini bozabilme yeteneğine sahiptir. Nanopartiküller, insanın cildinin epitel hücreleri aracılığıyla vücuda girip immün sistem fonksiyonlarının bozulmasına sebep olarak özellikle yenidoğanlarda alerjik reaksiyonlara sebep olabilir. Sentetik olarak üretilen nanopartiküller solunumla kan dolaşımına katılır öncelikle karaciğerde birikir ve farklı organlara dağılarak apoptozlara sebep olur (John ve ark., 2022; Saleem ve Zaidi, 2020).

Nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte nanopartiküllerin önemi her geçen gün artmakla birlikte aynı zaman üretimdeki artış sonucu atık miktarını önemli derece etkilemektedir. Nanomalzemeler katı, sıvı, gaz formlarında olabilmektedirler. Sıvı formdaki atıklar atıksu arıtma tesislerine gönderilebilirken, katı atıklar deponi alanlarda bir işlemin gerçekleştirilmediği alanlarda bertaraf edilmektedir. Türkiye'de atık

yönetiminde çeşitli düzenlemeler olmasına rağmen nanoatıklarla ilgili bir düzenleme bulunmamaktadır (Özkaleli ve Erdem, 2016). Benn ve Westerhoff yaptıkları bir çalışmada gümüş nanopartiküllerin atıksu arıtma tesislerinde çamurda absorbe edilmesine dayanak biriktirilmesi ve arıtım işleminin kirliliğin faz değişimine dayanan bir model geliştirmişlerdir. Ayrıca gümüş nanopartiküllerin atığını içeren çamurun tarımsal alanlarda gübre olarak kullanılmasını önermişlerdir (Benn ve Westerhoff, 2008).

Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Dhineshabu ve Rajendran yaptıkları bir araştırmada; nanopartikül içeren (hibrit) çözeltilerden pamuklu kumaşlar hazırlamışlardır. Hibrit kaplı pamuklu kumaşların *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia Coli*'ye karşı daha iyi antibakteriyel aktivite gösterdiği görülmüştür (Dhineshabu ve Rajendran, 2016). Xu ve arkadaşlarının yaptıkları bir araştırmada; Karboksimetil kitosan (CMCTS) ve gümüş nanopartiküllerden (AgNP) basit bir sis modifikasyon işlemi yoluyla pamuklu kumaş elde etmişlerdir. AgNP' lerin pamuklu kumaş üzerine kaplanmasının mükemmel antibakteriyel özellik gösterdiği ve 50 yıkama döngüsünden sonra hem *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia Coli*'ye karşı bakteriyel azalma oranları %95'in üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir (Xu ve ark., 2017).

Sancar Beşen ve Balcı' nın yaptığı bir araştırmada; pamuklu dokuma bir tekstil yüzeyine kaplama yöntemi ile nanopartikül applike edilmiştir. Üzerine çinko oksit nanopartikülleri aktarılmış kumaş numunesinin verimli bir şekilde aktarıldığı tekstil yüzeyine antibakteriyel ve UV koruma özelliği kazandırabildiği görülmüştür (Sancar ve Balcı, 2019). Wang ve arkadaşlarının yaptığı bir araştırmada; AgNP yerleştirilerek elde edilen ipek kumaşta, *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* dahil olmak üzere iki bakteriye karşı mükemmel antibakteriyel yetenekler sergilediği görülmüştür. Her iki bakterinin azalma oranları temastan sonraki 30 dakika içinde %99,9'a

ulaşırken, 10 kez yıkamadan sonra bile temastan sonraki 18 saat içinde %99,9'un üzerinde kaldığı tespit edilmiştir (Wang ve ark., 2021). Noor ve arkadaşlarının yaptığı bir araştırmada, AgNP ve grafen oksit (rGO) nanokompozit emdirilmiş tıbbi sınıf poliviskon tekstil pedleri, *Escherichia coli*'ye karşı güçlü antimikrobiyal aktivite oluşturduğu gözlenmiştir. Elde edilen en iyi antibakteriyel oran, 12 eşdeğer standart yıkama döngüsünden sonra yalnızca hafif bir düşüşle %90,1 olduğu görülmüştür (Noor ve ark., 2017). Velmurugan ve arkadaşlarının yaptığı araştırmada; çam sakızı çözeltilisi, sırasıyla AgNP'ler ve altın nanopartiküller (AuNP) üretmek için gümüş nitrat (AgNO_3) veya bir kloroaurik asit (HAuCl_4) çözeltilisi ile birleştirilerek pamuklu kumaşlar hazırlamışlardır. Yapılan testler sonucu dört bakteri (*Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis*, *Brevibacterium Linens* ve *Basillucu Cereus*) arasında AgNP kaplı pamuklu kumaşın mükemmel antibakteriyel aktivite sergilediği görülmüştür (Velmurugan ve ark., 2014).

Arık ve Karaman Atmaca' nın yaptığı bir araştırmada; çinko asetat, çinko nitrat ve çinko sülfat kombinasyonumu iki farklı konsantrasyonda keten kumaşlara uygulanmıştır. Keten kumaşlarda ultraviyole koruyuculuğu, buruşmazlık, antibakteriyel etkinlik tek adımda elde edilebilmiş ve fiziksel özelliklerde önemli sayılabilecek olumsuzluk gözlenmemiştir. Fonksiyonel etkinlik bakımından çinko oksit nano tozları, çinko tuzlarına göre daha elverişli bulunmuştur (Arık ve Karaman Atmaca, 2019). Görgülıer'in ve arkadaşlarının yaptığı bir araştırmada; süperhidrofobik kumaş üretimi yapmışlardır. Kumaşın kaplanmasıyla oluşan süperhidrofobik yüzey, AgNP' lerin varlığı sayesinde mükemmel bir kendi kendini temizleme özelliği, antimikrobiyal özellik ve fotokatalitik aktivite gözlemlenmiştir (Görgülıer, 2019).

Sarı ve Arık' ın yaptığı bir araştırmada, pamuklu kumaşlara bir siklodekstrin türevi olan sülfatlanmış β -siklodekstrin, çapraz bağlayıcı (EDTA) ve AgNP ile pamuklu bir kumaş hazırlanmıştır. Bunun

sonucunda güçlü ve 10 yıkamaya dayanıklı antibakteriyel özellik kazandırılmıştır. (Sarı ve Arık, 2020). Javed ve arkadaşlarının yaptığı bir araştırmada; sodyum hidroksit ve çinko nitrat heksahidrat reaktanlarından için tek aşamalı bir hidrotermal yöntem kullanarak çinko oksit konsantrasyonu ile pamuklu kumaş oluşturdular. Kumaşın yüzeyindeki çinko oksit nanopartiküllerinin miktarı *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri için antibakteriyel etkinlik göstermiştir (Javed ve ark., 2021). Aykaç ve Akkaş' ın yaptığı bir araştırmada; karbon fiber yüzeylerde çinko oksit nanoyapılarını kullanarak ve bunların antibakteriyel özelliklerini *Staphylococcus aureus* ve *Pseudomonas aeruginosa*'ya karşı zon inhibisyonu testi ile incelendiler. Sonuç olarak; Karbon fiber yüzeylerdeki çinko oksit nanoyapılarının dakikalar içinde başarıyla *Staphylococcus aureus* ve *Pseudomonas aeruginosa*'ya karşı etkili antibakteriyel özellikler göstermiştir (Aykaç ve Akkaş, 2023).

Patil ve arkadaşlarının yaptığı bir araştırmada; antimikrobiyal özelliklere sahip AgNP kaplı pamuklu kumaşlar oluşturmamak için sonokimya ve biriktirme yöntemini kullandılar. AgNP'lerin pamuklu kumaşlar üzerinde düzgün bir şekilde biriktiğini ve Gram-negatif bakterilere ve Gram-pozitif bakterilere karşı mükemmel antibakteriyel aktivite gösterdiğini buldular (Patil, 2019). Gao arkadaşlarının yaptığı bir araştırmada; geliştirilmiş hidrofobiklik, ultraviyole direnci, antibakteriyel ve küf önleyici özelliklere sahip işlenmiş pamuklu kumaşlar elde etmek için kimyasal çökeltilme yöntemiyle gümüş/ çinko oksit (Ag/ZnO) nanopartiküller hazırladılar. Bu pamuklu kumaş, *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* ve *Candida albicans*a karşı antimikrobiyal aktivite açısından test edilerek antibakteriyel ve antifungal aktivite görülmüştür (Gao ve ark., 2020).

Yapılan araştırmaların sonuçlarına göre; sağlık alanında kullanılan antibakteriyel tekstiller enfeksiyon etkenlerini azaltabilmek amacıyla kullanılabileceğinin göstermektedir. Ayrıca

SONUÇ

kirlenmiş tekstillerin bakteriler için bir bulaşma kaynağı olma potansiyeline sahip olduğunu gösterilmiş ve antibakteriyel özelliklere sahip çok işlevli tekstillere olan ihtiyacı vurgulanmıştır. Özellikle COVID-19 pandemisinde kişisel koruyucu ekipmanlara duyulan ihtiyacın daha da arttığı gösterilmiştir. Bu bağlamda; sağlık alanında, ameliyat örtüleri, üniformalar, maskeler, yatak çarşafı, battaniyeler, havlular, hasta giysileri, üniformalar, önlüklerde kullanılabileceği gösterilmiştir (Sarı ve Arık, 2020; Akinbola ve ark., 2022; Das ve Ark., 2025; Idumah, 2021).

Yasin ve Sun tarafından yapılan bir araştırmada; tekstil atıkları için belirli noktalar üzerinde durulmuştur. Tekstillerde, kullanım ömrünün belirlenmesi ve bu atıklar için belirli imha süreçlerinin uygulanması gerektiğini vurgulamışlardır (Yasin ve Sun, 2019). Tekstiller için antibakteriyel aktiviteleri nedeniyle, AgNP' ler büyük ölçüde ticari olarak temin edilebilen çeşitli ürünlerde kullanılmaktadır. Özellikle nanogümüşün kullanımı tıpta ve ilgili uygulamalarda giderek daha yaygın hale gelmektedir ve artan maruziyeti nedeniyle toksikolojik ve çevresel konuların gündeme getirilmesi gerekmektedir (Faedmaleki ve ark., 2016). Nanopartiküllerin boyutlarının yanı sıra şekilleri de dağılımlarını, birikimlerini ve temizlenmelerini etkileyebilmektedir. Tek duvarlı nanotüpler gibi uzun lifli parçacıkların vücut tarafından temizlenmesi zordur ve bu nedenle yüksek organ birikimi gösterirler. Bu özelliğinden dolayı yapılan çalışmalarda; böbrek ve karaciğerde toksik etkilere yol açtığı görülmüştür (Recordati, ve ark., 2016; Zoroddu, ve ark., 2014).

Nanopartiküllerin toksisitesi ve dağılımı hakkında bildiğimiz şeylerin çoğu, kısa süreli maruziyetler ile ilgili çalışmalardan edinilen bilgilerden gelmektedir. Bu nedenle, kronik maruziyetten sonra nanopartiküllerin toksik etkilerini değerlendiren az çalışma vardır (Onoue, ve ark., 2014).

Nanoteknoloji tüm dünyada çeşitli alanlarda kullanılan ve her geçen gün gelişen bir teknoloji olma özelliğine sahiptir. Nanoteknolojide bu gelişmeler sağlık alanında büyük gelişmeler göstermektedir. Dünyada otuzdan fazla ülke nanoteknolojiye dayalı tekstil malzemelerinin geliştirilmesine odaklanmıştır. Bu derlemede; nanoteknolojinin sağlık alanında kullanılan antibakteriyel tekstillerin etkinliğini değerlendirdik. Antibakteriyel tekstiller özellikle enfeksiyonların önlenmesinde, hasta ve çalışan güvenliğinin sağlanmasında hem klinik etkiyi artırmada hem de çevresel sürdürülebilirliği gündeme getirmektedir. Ancak çevre ve insan sağlığı üzerinde potansiyel olarak toksik etkilerinin tam olarak tanımlanmamış olması ilerleyen zamanlarda kapsamlı çalışmaların yapılması ve gerekli olan güvenlik önlemlerinin alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda; öncelikle nanoteknolojik antibakteriyel tekstillerin insan sağlığı ve çevreye toksik etkilerinin uzun vadede değerlendirecek çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Akinbobola, A. B., Osunla, A. C., Bello, O. M., & Ajayi, O. A. (2022). Study of the persistence of selected Gram-negative bacteria pathogens of healthcare-associated infections on hospital fabrics. *American Journal of Infection Control*, 50(7), 755-757.
- Annapoorani, G. (2013). Recent developments in medical textiles implantable devices- an overview. *Research Paper Textiles*, 2:(12), 255-258.
- Aykaç, A. & Akkaş, E. Ö. (2023). Synthesis, characterization, and antibacterial properties of ZnO nanostructures functionalized flexible carbon fibers. *Recent patents on Nanotechnology*, 17(2), 119–130.
- 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* . *Cellulose*, 27, 8385–8403.
- Ateş, H. ve Bahçeci, E. (2015). Nano malzemeler için üretilen yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 483-499.
- Baybek, H., Çatalakaya, D., Kıvrak, A. & Tozak Yıldız, H. (2017). Hemşirelik öğrencilerinin nanoteknoloji tutumlarının belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6(4), 1-11.
- Benli, B. (2008). Nanoteknoloji ve antik çağlara uzanan killi nanoyapılar. *Kibited*, 1(3), 143-162.
- Benn, TM. & Westerhoff P. (2008). Nanoparticle silver released into water from commercially available socks fabrics. *Environmental Science Technology*, 42(11), 4133-4139.
- Brainina, KH., Stozhko, N., Bukharinova, M. & Vikulova E. (2018). Nanomaterials: electrochemical properties and application in sensors. *Physical Sciences Reviews*, 9, 1- 39.
- Chen, M., Qin, X. & Zeng. G. (2017). Biodegradation of carbon nanotubes, graphene and their derivatives. *Trends Biotech*, 35(9), 836-846. doi: 10.1016/j.tibtech.2016.12.001.
- Contera, S., De La Serna, JB. & Tetley, TD. (2020). Biotechnology, nanotechnology and medicine. *Emerging Topics in Life Sciences*, 4, 551–554. doi: 10.1042/ETLS20200350.
- Das, P., Ganguly, S., Marvi, P. K., Hassan, S., Sherazee, M., Mahana, M., Shirley Tang, X., Srinivasan, S., & Rajabzadeh, A. R. (2025). Silicene-Based Quantum Dots Nanocomposite Coated Functional UV Protected Textiles With Antibacterial and Antioxidant Properties: A Versatile Solution for Healthcare and Everyday Protection. *Advanced Healthcare Materials*, 14(6), e2404911.
- Dhineshbabu, NR. & Rajendran, V. (2016). Antibacterial activity of hybrid chitosan cupric oxide nanoparticles on cotton fabric. *The Institution of Engineering and Technology Journal*, 10(1), 13-19.
- Elbhnsawi, N. A., Elwakil, B. H., Hassanin, A. H., Shehata, N., Elshewemi, S. S., Hagar, M., & Olama, Z. A. (2023). Nano-Chitosan/Eucalyptus Oil/Cellulose Acetate Nanofibers: Manufacturing, Antibacterial and Wound Healing Activities. *Membranes*, 13(6), 604.
- Erdem, S. & Gökür, TG. 2015. Gıda endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 26 (2), 52-57.
- Faedmaleki, F., Shirazi, F. H., Ejtemaeimehr, S., Anjarani, S., Salarian, A. A., Ahmadi Ashtiani, H., & Rastegar, H. (2016). Study of silymarin and vitamin e protective effects on silver nanoparticle toxicity on mice liver primary cell culture. *Acta Medica Iranica*, 54(2), 85–95.
- Gao, D., Liu, J., Lyu, L., Li, Y., Ma, J., & Baig, W. (2020). Construct the multifunction of cotton fabric by synergism between nano ZnO and Ag. *Fibers and Polymers*, 21, 505-512.
- Görgülüer, H., Çakıroğlu, B. & Özacar, M. (2020). Ag NPs deposited TiO₂ coating material for superhydrophobic, antimicrobial and self- cleaning surface fabrication on fabric. *Journal of Coatings Technology and Research* . 2, 569-579.
- Gowtham, H. G., Shilpa, N., Singh, S. B., Aiyaz, M., Abhilash, M. R., Nataraj, K., Amruthesh, K. N., Ansari, M. A., Alomary, M. N., & Murali, M. (2024). Toxicological effects of nanoparticles in plants: Mechanisms involved at morphological, physiological, biochemical and molecular levels. *Plant physiology and biochemistry* : PPB, 210, 108604.
- Hassanzadeh, P. (2020). Nanotheranostics against COVID-19: From multivalent to immune-targeted Materials. *Journal Control Release*, 328, 112- 126.
- Idumah, C. I. (2021). Influence of nanotechnology in polymeric textiles, applications, and fight against COVID-19. *The Journal of the Textile Institute*, 112(12), 2056-2076.
- Inoue, K., & Takano, H. (2011). Aggravating impact of nanoparticles on immune-mediated pulmonary inflammation. *The Scientific World Journal*, 11, 382–390. <https://doi.org/10.1100/tsw.2011.44>
- Javed, A., Wiener, J., Tamulevičienė, A., Tamulevičius, T., Lazauskas, A., Saskova, J., & Račkauskas, S. (2021). One step in-situ synthesis of zinc oxide nanoparticles for multifunctional cotton fabrics. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(14), 3956.
- John, A.T., Wadhwa, S., & Ashish Mathur, A. (2022). Nanotoxicology: Exposure, mechanism and effects on human health. Jindal, T. (ed.). In *New Frontiers in Environmental Toxicology*, (p:35-77). Springer Nature Switzerland. 11.04. 2024 tarihinde https://rd.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-72173-2_5 adresinden edinilmiştir.
- Laiva, AL., Venugopal, JR., Karuppuswamy P. et al. (2015). Controlled release of titanocene into the hybrid nanofibrous

scaffold to prevent the proliferation of breast cancer cells. *International Journal of Pharmaceutics*, 483(1), 115-123.

Lee, K.H., Kim, D.J. & Min, B.G. (2007). Polymeric nanofiber web-based artificial renal microfluidic chip. *Biomed Microdevices*, 9, 435-442

Mainardes, R.M. & Diedrich, C. (2020). The Potential role of nanomedicine on COVID-19 therapeutics. *Therapeutic Delivery*, 11(7), 411-414.

Menceloğlu, Y. & Kırca, M. (2008). Uluslararası rekabet stratejileri: Nanoteknoloji ve Türkiye, TÜSİAD Rekabet Stratejileri Dizisi: 11.

Murali, K., Neelakandan, M.S. & Thomas, S. (2018). Biomedical applications of gold nanoparticles. *JSM Nanotechnol Nanomed*, 6(1), 1064.

National Nanotechnology Initiative (NNI). (2024). About nanotechnology. 10. 05. 2025 tarihinde adresinden <https://www.nano.gov/about-nanotechnology> edinilmiştir.

Noor, N., Mutalik, S., Younas, M.W., Chan, C.Y., Thakur, S., Wang, F., Yao, M.Z., Mou, Q. & Leung, P.H.M. (2017). Durable antimicrobial behaviour from silver-graphene coated medical textile composites. *Polymers*, 11(12), 2000.

Onoue, S., Yamada, S., & Chan, H. K. (2014). Nanodrugs: pharmacokinetics and safety. *International journal of nanomedicine*, 9, 1025-1037. <https://doi.org/10.2147/IJN.S38378>

Özdoğan, E., Demir, E. & Seventekin, M. (2006). Nanotechnology and its applications in textile industry (Part 2). *Textile and Apparel*, 4, 225-229.

Özer, Y. (2019). Nanoteknoloji'nin askeri uygulamaları üzerine bir değerlendirme. *Güvenlik Bilimleri Dergisi, IDEF Özel Sayı*, 33-52.

Özkaleli, M. & Erdem, A. (2016). Nanoatıklar ve çevre: Atık yönetiminde yeni bir yaklaşım. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3), 183-188.

Öztürk, Y.B. & Dağlıoğlu, Y. (2018). The ecotoxicological effects of ZnO-TiO₂ nano composite in chodatodesmus mucranulatus. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27((5), 2951-2962.

Parham, S., & Zargar Kharazi, A. (2022). Cellulosic textile/clove nanocomposite as an antimicrobial wound dressing: In vitro and in vivo study. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, 217, 112659.

Patel, V. (2012). Elastomeric nanocomposites: Tires promoting nanophiles market growth. *Nanotech Insights*, 3(4), 44-48.

Patil, A. H., Jadhav, S. A., More, V. B., Sonawane, K. D., & Patil, P. S. (2019). Novel one step sonosynthesis and deposition technique to prepare silver nanoparticles coated cotton textile with antibacterial properties. *Colloid Journal*, 81, 720-727.

Recordati, C., De Maglie, M., Bianchessi, S., Argenti, S., Cella, C., Mattiello, S., Cubadda, F., Aureli, F., D'Amato, M., Raggi, A., Lenardi, C., Milani, P., & Scanziani, E. (2016). Tissue distribution and acute toxicity of silver after single intravenous administration in mice: nano-specific and size-dependent effects. *Particle and fibre toxicology*, 13, 12. <https://doi.org/10.1186/s12989-016-0124-x>

Saleem, H., & Zaidi, S. J. (2020). Sustainable use of nanomaterials in textiles and their environmental impact. *Materials*. (Basel, Switzerland), 13(22), 5134. <https://doi.org/10.3390/ma13225134>

Sancar Beşen, B. & Balcı, O. (2019). Tekstilde farklı kullanım olanaklarına sahip çinkooksit nanopartiküllerinin hidrotermal sentezi üzerinde ultrason enerjisinin etkisinin araştırılması. *Journal of Textiles and Engineer*, 26(113), 33-41.

Sarı, Ç. & Arık, B. (2023). Cotton fabrics finished by natural and sulfated β -cyclodextrin inclusion complexes of silver nanoparticles for biomedical applications. *Textile and Apparel*, 33(4), 375-387.

Shi, H., Magaye, R., Castranova, V., & Zhao, J. (2013). Titanium dioxide nanoparticles: a review of current toxicological data. *Particle and fibre toxicology*, 10, 15. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-10-15>

Singh, P., Sreekumar, A., & Badhulika, S. (2023). Tin oxide-polyaniline nanocomposite modified nickel foam for highly selective and sensitive detection of cholesterol in simulated blood serum samples. *Nanotechnology*, 34(43), 10.1088/1361-6528/acea2a.

Syed, S., Zubair, A. & Frieri, M. (2013). Immune response to nanomaterials: Implications for medicine and literature review. *Current Allergy Asthm Report*, 13(1), 50-57.

Tüylek, Z. (2018). Nanoteknolojinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki riskleri. *Kilis 7 Aralık Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2-12.

Tüylek, Z. (2021). Nano-Medicine and the new treatment methods, *Eurasian Journal of Health Sciences*, 4(2), 121-13.

Venkatesan, M. & Jolad, B. (2010). Nanorobots in cancer treatment. 12.10.2024 tarihinde <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5706154> adresinden edinilmiştir.

Velmurugan, P., Lee, S.M., Cho, M., Park, J.H., Seo, S.K., Myung, H., Bang, K.S. & Oh, B.T. (2014). Antibacterial activity of silver nanoparticle-coated fabric and leather against odor and skin infection causing bacteria. *Microbiol Biotechnol*, 98(19), 8179-8189.

Yan, J., Han, L., Gao, W., Xue, S., ve Chen, M. (2016). Biochar supported nanoscale zero valent iron composite used as persulfate activator for removing trichloroethylene. *Bioresour Technology*, 175, 269-274.

Yasin, S., & Sun, D. (2019). Propelling textile waste to ascend the ladder of sustainability: EOL study on probing

environmental parity in technical textiles. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1451-1464.

Wang, F., Yan, B., Li, Z., Wang, P., Zhou, M., Yu, Y., Cui, L. & Wang, Q. (2021). Rapid antibacterial effects of silk fabric constructed through enzymatic grafting of modified PEI and AgNP deposition. *ACS Applied Materials Interfaces*, 13(28), 33505-33515.

Xu, Q., Xie, L., Diao, H., Li, F., Zang, Y., Fu, F. & Liu, X.D. (2017). Antibacterial cotton fabric with enhanced durability prepared using silver nanoparticles and carboxymethyl chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 177, 187- 193.

Youdhestar, Mahar, F. K., Das, G., Tajammul, A., Ahmed, F., Khatri, M., Khan, S., & Khatri, Z. (2022). Fabrication of ceftriaxone-loaded cellulose acetate and polyvinyl alcohol nanofibers and their antibacterial evaluation. *Antibiotics* (Basel, Switzerland), 11(3), 352.

Zoroddu, M. A., Medici, S., Ledda, A., Nurchi, V. M., Lachowicz, J. I., & Peana, M. (2014). Toxicity of nanoparticles. *Current medicinal chemistry*, 21(33), 3837–3853. <https://doi.org/10.2174/0929867321666140601162314>