

Cerrahi Hastalıklar Hemşireliği: Teori, Metodoloji ve Uygulama

Editör
Prof. Dr. Salim Güngör

Cerrahi Hastalıklar Hemşireliği: Teori, Metodoloji ve Uygulama

Editör

Prof. Dr. Salim Güngör

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editör
Prof. Dr. Salim Güngör

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Ekim, 2025

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-6517-48-6

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,
Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1..... 5

Nanoteknoloji ve Cerrahi Hemşireliği

Reyhan Gümüş & Emel Yılmaz

BÖLÜM 2..... 53

Kritik Bakımda Kritik Bir Sorumluluk: Yeşil Yoğun Bakım

Suzan Güven



BÖLÜM 1

Nanoteknoloji ve Cerrahi Hemşireliği

Reyhan Gümüş¹ & Emel Yılmaz²

Giriş

Nanoteknoloji terimi, kökenini Yunanca'da “cüce/bodur” anlamına gelen *nanos* sözcüğünden almaktadır. Nanometre (nm) bir m'nin 1/1.000.000.000 biri uzunluğunda olup, bu boyut yaklaşık birkaç atom genişliğine karşılık gelir (Ergül & Çakır, 2023). Bu kadar küçük ölçeklerde malzemeler, klasik boyutlarda gözlemlenemeyen farklı fiziksel, kimyasal vb. birtakım özellikler gösterebilirler. Nanoteknoloji, nanometre ölçeğinde gerçekleşen olayların anlaşılması ve bu düzeydeki yapıların kontrol edilebilmesi yoluyla işlevsel objelerin, ekipmanların ve sistemsel faaliyetlerin gelişimini hedefleyen multidisiplinler bir bilim dalıdır. Bu alan yalnızca nanoyapıların tasarımı ve üretimiyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda bu yapıların mevcut teknolojik sistemlere entegrasyonunu da kapsamaktadır (Ergül & Çakır, 2023; Lurthumary ve ark., 2025).

Sağlık, enerji, elektronik, çevre, üretim vb. birçok katagoride uygulama alanı bulan nanoteknoloji, günlük yaşamda kullanılan ürün ve hizmetlerin niteliğini dönüştürme potansiyeline sahiptir. Gıda muhafazasından tıbbi tanı yöntemlerine, akıllı tekstil ürünlerinden yüksek performanslı elektronik cihazlara kadar pek çok alanda bu teknolojiye yararlanılmaktadır. Bu kapsamda, nanoteknolojiden etkilenmeyen bir sektör bulmak neredeyse imkânsız hâle gelmiştir (Tüylek, 2019).

➤ Nanoteknolojinin Temel Amaçları

Maddeyi nanometre ölçeğinde inceleyerek onun yapı, özellik ve işlevlerini daha derinlemesine anlamayı hedefler. Bu bağlamda, öncelikle nanometre düzeyindeki yapıların analiz edilmesi ve bu oluşumların kimyasal, biyolojik ve fiziksel göstergelerinin anlamlandırılması büyük önem taşır. Nanoölçekteki maddeler, makroskobik ölçekte görülmeyen benzersiz özellikler sergileyebildiği için, bu bilgilerin elde edilmesi yeni nesil malzeme geliştirme açısından kritik bir rol oynar. Ayrıca alışılmışın dışında ve daha üstün performansa sahip malzeme

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Cerrahi Hastalıkları Hemşireliği Yüksek Lisans Programı, ORCID: 0009-0004-3326-3162

² Prof. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Cerrahi Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-5127-6651

özellikleri ile yeni üretim süreçlerinin oluşturulması da nanoteknolojinin amaçları arasındadır. Bu süreçler sayesinde daha sağlam, hafif ve çabuk sonuç alınabilen yapılar üretilebilirken, aynı zamanda daha kısıtlı düzeyde ekipman ve enerji miktarı kullanımına olanak sağlayarak sürdürülebilirlik ilkelerine de katkı sağlanmaktadır (Keskin, 2011).

➤ **Nanoteknoloji Kavramının Tarihsel Gelişimi**

Yirminci yüzyılın ortalarına dayanmaktadır. Nano ölçekteki yapıların önemine dair ilk fikirler, Nobel ödüllüne layık görülen Fizikçi Richard tarafından 1959 yılında California Institute of Technology'de, American Physical Society'nin "There's Plenty of Room at the Bottom" adlı söyleminde ifade edilmiştir. Feynman, bu konuşmasında atomik düzeyde yapıların kontrol edilebileceği ve hatta bu yapıların yeniden düzenlenebileceği fikrini ortaya koymuştur (Tülek, 2021). "Nanoteknoloji" terimi ise ilk defa 1974 yılında Tokyo Bilim Üniversitesi'nden Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır. Taniguchi, bu kavramı atomik düzeyde hassas üretim süreçlerini tanımlamak amacıyla ortaya atmıştır. 1980'li yıllara gelindiğinde ise K. Eric Drexler, moleküler üretim kavramını geliştirmiş ve 1981 yılında yayımladığı "Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation" adlı makalesiyle bu alandaki teorik çerçeveyi genişletmiştir (Kavaklı ve ark., 2016).

Nanoteknoloji tarihindeki en önemli dönüm noktalarından biri, 1981 yılında taramalı tünelleme mikroskopunun (Scanning Tunneling Microscope, STM) geliştirilmesidir. Bu gelişme, araştırmacılara maddelerin atomik düzeyde yapısını inceleme ve anlamlandırma imkânı sunarak nanoteknoloji alanında yeni bir dönemin başlamasına öncülük etmiştir. Bu mikroskop, iletken yüzeylerdeki atomların tek tek görüntülenmesine ve hatta konumlarının değiştirilebilmesine olanak sağlamıştır. Böylece araştırmacılar, maddeyi atomik ölçekte gözlemleyip yönlendirme imkânı elde etmiş, bu da nanoölçekli çalışmaların kapsamını önemli ölçüde genişletmiştir. Bu teknolojinin sunduğu yenilik 1985 yılında Harold Kroto, Richard Smalley ve Robert Curl tarafından karbon atomlarının yeni bir formunun tanımlanmasına zemin hazırlamıştır. "Buckyball" ya da fulleren olarak adlandırılan bu yapı, nanomalzemelerin kimyasal çeşitliliğini ve potansiyel kullanım alanlarını ortaya koyarak alanın bilimsel gelişiminde belirleyici bir rol üstlenmiştir (Tülek, 2021).

Nanoteknolojiye yönelik kamu destekli araştırma programları, 1990'lı yıllardan itibaren Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve çeşitli Avrupa ülkelerinde hayata geçirilmiştir. Bu süreçte özellikle ABD hükümetinin 2000

yılında başlattığı National Nanotechnology Initiative (NNI), dünya genelinde nanoteknoloji alanındaki araştırma ve yatırım faaliyetlerinin ivme kazanmasında belirleyici bir rol oynamıştır. Söz konusu gelişmeler, nanoteknolojinin hem akademik çevrelerde hem de endüstriyel uygulamalarda stratejik öneme sahip bir araştırma alanı olarak konumlanmasını sağlamıştır (Kavaklı ve ark., 2016).

Çin, Rusya ve Güney Kore gibi ülkelerde 2005–2006 döneminden itibaren nanoteknolojiye yönelik kamu kaynaklarında önemli artışlar gözlenmiştir. Çin, hükümet araştırma bütçesinin yaklaşık %5,4’ünü 2008 itibarıyla nanoteknolojiye ayırmıştır (Palmberg ve ark., 2009). Rusya, 2007–2010 arasında yaklaşık 3,5 milyar ABD doları tutarında yatırım yaparak nanoteknolojiye yoğunlaşmıştır (Connolly, 2013). Güney Kore, 2001 yılından itibaren nanoteknolojiye verdiği önemi artırmış ve 2015 yılı itibarıyla ülkenin toplam ekonomik çıktısının yaklaşık %0,35’ini bu alana ayırmıştır. Bu yatırımlar, nanoparçacık teknolojisinin özellikle ilaç, elektronik, enerji ve biyoteknoloji sektörlerinde hızla gelişmesini sağlamış, ekonomik büyümeye katkıda bulunmuş ve yeni istihdam olanakları yaratmıştır. 2000–2024 döneminde endüstri yatırımları ve akademik iş birlikleri, teknolojinin ilerlemesini hızlandırmış; patent sayıları %150’den fazla artmış ve Çin, global patentlerin yaklaşık %40’ını almıştır. ABD’de nanoteknolojinin düzenlenmesi FDA tarafından yürütülmekte olup, gelecekteki gelişim sürekli yenilik, ekonomik ilerleme ve güçlü bir düzenleyici çerçeveye bağlıdır (Khatoon & Velidandi, 2025).

Türkiye’de nanoteknoloji alanındaki kurumsallaşma, 2000’li yıllarda hız kazanmış ve üniversiteler tarafından çok sayıda araştırma ve uygulama merkezi kurulmuştur. Bu merkezler, disiplinlerarası çalışmaları destekleyen altyapılar sağlayarak matematik, kimya ve mühendislik gibi temel bilimlere önemli katkılar sunmayı hedeflemektedir. 21. yüzyılın başında yayınlanan Bilim ve Teknoloji Strateji Belgesi (Vizyon-2023) ile Türkiye, nanoteknolojiyi öncelikli teknolojik alanlardan biri olarak belirlemiş; nanofotonik, nanoelektronik, nanomanyetizma, nanomalzeme, nanofabrikasyon ve nanobiyoteknoloji gibi alt alanlara öncelik vermiştir. Bu çerçevede, TÜBİTAK liderliğinde 2006’dan itibaren onlarca araştırma merkezi ve nanoteknoloji şirketi hayata geçirilmiştir (Calipinar & Ulas, 2019).

Türkiye’de nanoteknoloji alanında kurumsal altyapı 2000’li yılların başında hız kazanmıştır. 24 Mayıs 2004’te Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü bünyesinde kurulan Nanoteknoloji Araştırma Uygulama Merkezi, alanda öncü bir rol üstlenmiştir. Bilkent Üniversitesi, 2007’de Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsünü kurarak araştırmaları sistematik hâle getirmiş ve ileri düzey laboratuvar altyapısıyla öne çıkmıştır. Marmara Üniversitesi’nde 24 Haziran

2008’de kurulan Nanoteknoloji Biyomalzeme Uygulama Araştırma Merkezi (NBUAM), özellikle biyomalzeme alanındaki çalışmalarıyla dikkat çekmektedir. Çanakkale Üniversitesi, 19 Haziran 2009’da Nanobilim ve Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi’ni faaliyete geçirerek nanomalzeme sentezi ve karakterizasyonuna odaklanmıştır. Aynı yıl Gazi Üniversitesi’nde kurulan Nanotıp ve İleri Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezi, tıp ve biyoteknoloji alanlarında nano uygulamalara yönelmiştir. Sabancı Üniversitesi’nin 4 Haziran 2010’da kurduğu araştırma merkezi, ileri düzey ekipman altyapısı ve endüstriyel iş birlikleriyle kısa sürede Türkiye’nin önemli nanoteknoloji merkezlerinden biri hâline gelmiştir (Beyhan & Pamukçu, 2011).

Türkiye’de kurulan nanoteknoloji araştırma merkezleri, bilimsel yetkinliğin artırılmasında ve nitelikli insan kaynağı yetiştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu merkezler sayesinde ülke, disiplinlerarası teknolojik üretim süreçlerinde daha etkin hâle gelmeyi hedeflemektedir. Ancak, nanoteknoloji alanında gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında Türkiye hâlâ bazı yapısal zorluklarla karşı karşıyadır. Bunlar arasında düşük patent üretimi, alanında uzman araştırmacı eksikliği ve yükseköğretim kurumları ile özel sektör arasındaki sınırlı iş birliği öne çıkmaktadır. Bu durum, teknolojik çıktının ticarileşmesini ve bilgi üretiminin sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir (Kahraman, 2010).

➤ **Nanoteknolojinin Araştırma- Uygulama Alanları**

Nanoteknoloji, ekipmanların moleküler düzeyde yeniden yapılandırılmasına olanak tanıyarak, geleneksel yöntemlerle üretilen ürünlere kıyasla daha hafif ve dayanıklı ürünlerin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu ürünlerin düşük hata oranları ve üstün fiziksel özellikleri, mevcut teknolojilere kıyasla yenilikçi ve devrim niteliğinde uygulamaların önünü açmıştır. Bu nedenle birçok geleneksel ürün, yerini nano ölçekte tasarlanmış muadillerine bırakmaktadır (Bhushan, 2017).

Nanoteknolojik ürünlerin bu ilerlemesini sağlayan temel faktörler şunlardır (Tüylek, 2019):

- Mevcut tıbbi cihazların boyutlarının küçültülerek daha taşınabilir ve minimal invaziv hâle getirilmesi,
- Tıbbi malzemelerin yüzey/hacim oranının artırılmasıyla yüzey etkisinin güçlendirilmesi,
- Biyolojik yapılar ile inorganik nanoyapıların entegrasyonu yoluyla sensörler ve fonksiyonel nanokompozitlerin geliştirilmesi,

- Nano boyuttaki parçacıkların farklı fiziksel ve kimyasal özellikler göstermesi sayesinde yeni işlevlerin ortaya çıkması,
- Klasik fizik kurallarının nanodüzeyde doğrudan gözlemlenebilir ve analiz edilebilir hâle gelmesi.

Günümüzde nanoteknolojinin uygulama alanları üç temel kategoride incelenmektedir. Sanayi ve üretim sektörü, Tıp ve sağlık hizmetleri, Temel bilimler ve akademik araştırmalar. Her bir alan, nanoteknolojinin sağladığı mikro düzeydeki kontrol ve tasarım avantajlarından yararlanarak, daha işlevsel, verimli ve sürdürülebilir çözümler üretmeyi hedeflemektedir (Tüylek, 2019).

➤ **Nanoteknolojinin Sağlık Alanındaki Uygulamaları**

Nanoteknoloji, sağlık sektöründe sunduğu yenilikçi çözümlerle giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Kanserli hücrelerin hedeflenerek çevreye zarar vermeden yok edilmesinden, uzun süre etkili cilt kremlerine kadar birçok farklı alanda uygulanmaktadır. Ayrıca, tek bir şarbon mikrobunu tespit edebilen gelişmiş sensörler, bakterilere karşı dirençli ve koku yapmayan tekstil ürünleri ile mikrop barındırmayan buzdolapları, nanoteknolojinin sağlık ve günlük yaşamda sağladığı yenilikler arasında yer almaktadır (Demirkıran, 2019; Metin & Özdemir, 2015). Nanoteknolojinin sağlık alanındaki potansiyeli; ilaç geliştirme, gen transferi, tedavi yöntemlerinin iyileştirilmesi, hastalıkların önlenmesi ve travmatik yaraların tedavisinde kullanılan cihazların geliştirilmesi gibi pek çok kritik alanda ilerlemeye olanak tanımaktadır. Bu teknolojiler, bireylerin sağlıklarının korunmasına ve yaşam kalitelerinin artırılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Son yıllarda ise hasta takibi ve kontrollü ilaç dağıtımı gibi alanlarda sistemsel cihazların geliştirilmesine yönelik çalışmalar artmıştır. Bu gelişmeler, sağlık sektörünün verimliliğini artırmak ve bireylerin yaşamdan aldığı memnuniyeti yükseltmek için önemli fırsatlar sunmaktadır (Demirkıran, 2019).

• **Nanoteknolojinin İlaç Dağıtım Sistemlerindeki Uygulamaları:**

Nanoteknoloji, özellikle ilaç taşımada hedef odaklı özelliğe sahip olan sistemlerin oluşturulmasında kritik bir görev üstlenmektedir. Kanserlerin tedavisi ve aşı geliştirme süreçlerinde, modifiye edilmiş ve işlevselleştirilmiş nano-ilâç taşıyıcı sistemlerin etkinliği ile ilgili yürütülen çalışmalar olumlu göstergeler sunmaktadır. Bu yaklaşımlar, ilâç moleküllerinin ulaşması zor olan hedef bölgelere (örneğin kanserli dokular veya kan-beyin bariyeri) etkili taşınmasına olanak sağlamakta ve tedavi başarısını artırmaktadır. İlaç dağıtımında kullanılan nano yapılar arasında lipozomlar, miseller, nanopartiküller, karbon nanotüpler, fullerenler, nanojeller ve dendrimerler yer almaktadır. Bu taşıyıcılar, ilâçların

kontrollü ve hedeflenmiş salınımını sağlamak üzere tasarlanarak, tedavinin etkinliğini ve güvenliğini artırmaktadır (Marangoz & Yavuz, 2020).

• **Önemli Nano-İlaç Taşıyıcı Sistemler ve Toksikolojik Değerlendirmeleri**

- **Lipozomlar:** Lipozomlar, nano ölçekli ilaç taşıyıcı sistemlerin öncüsü olarak kabul edilir ve boyutları genellikle 50–200 nm arasında değişir. Hücre zarına benzer yapıları sayesinde biyouyumlu olup, hem suda hem yağda çözünebilen ilaçların taşınmasında etkin bir rol oynarlar (Marangoz & Yavuz, 2020). Bu sistemlerin başlıca avantajları, geri dönüştürülebilir yapıları, non-iyonik özellikleri, farklı ilaçları bağlayabilme kapasitesi, kapsülleme yoluyla artan stabilite ve kapsüllenen ilaçların toksisitesinin azalmasıdır. Öte yandan üretim maliyetlerinin yüksekliği ve kapsüllenen moleküllerin sızma veya füzyon riskinin bulunması, başlıca dezavantajları arasında yer almaktadır (Dağlıoğlu & Yüksel, 2023).

- **Miseller:** Miseller, lipozomlara yapısal olarak benzeyen ancak tek katmanlı membran yapısına sahip nano taşıyıcı sistemlerdir. Genellikle lipid veya polimer bazlı olan bu yapılar, yaklaşık 10 nm boyutundadır. Miseller, hem suda çözünebilen hem de çözilemeyen bölümler içermeleri sayesinde, suda çözünürlüğü düşük olan vitaminler, enzimler ve steroidler gibi aktif maddelerin çözünürlüğünü artırarak emilimlerini kolaylaştırır. Bu sistemlerin başlıca avantajları arasında kolay üretilibilmeleri ve radyoaktif işaretlemeye uygun olmaları yer almaktadır. Ancak, misellerin ilaç ve gen taşıma sistemlerindeki toksisiteleriyle ilgili araştırmalar henüz sınırlıdır; yapısal benzerliklerinden yola çıkarak toksisite özelliklerinin lipozomlara yakın olabileceği öngörülmektedir (Marangoz & Yavuz, 2020).

- **Katı Lipit Nanopartiküller:** Katı lipid nanopartiküller (Solid Lipid Nanoparticles, SLN), oda veya vücut sıcaklığında katı hâlde bulunan lipidlerden üretilir ve yüzey aktif maddelerle stabilize edilir. Bu partiküller saflaştırılmış trigliseritler, kompleks gliserol karışımları veya balmumundan oluşturulabilir. SLN'ler, parenteral uygulamalarda yüksek fiziksel stabilite sağlayarak, kararsız ilaçların bozunmaya karşı korunmasına yardımcı olur. Ayrıca, ilacın salım profili ve uygulama biçimi gibi faktörlere bağlı olarak, hızlı veya uzun süreli kontrollü salım gerçekleştirecek şekilde tasarlanabilirler. Bu sistemler genellikle iyi tolere edilir ve hastaya özgü hedeflenmiş ilaç dağıtımına olanak tanır. Bununla birlikte, SLN'lerin bazı sınırlamaları da vardır; yetersiz yükleme kapasitesi, polimorfik faz geçişi sonrası ilacın hızlı salınımı ve fazla miktarda su oluşumu bu sınırlamalara örnek olarak verilebilir (Marangoz & Yavuz, 2020).

- **Polimerik Nanopartiküller (PNP’ler):** Polimerik nanopartiküller, doğal veya sentetik polimerlerin kullanımıyla 10–100 nm boyutlarında üretilen ve ilaçlar, proteinler, peptitler ile genlerin hedef dokuya taşınmasında kullanılan nano taşıyıcı sistemlerdir. Bu sistemler, biyoyumlu yapıları ve düşük toksisiteyi sayesinde öne çıkar; ayrıca taşınan moleküllerin kararlılığını artırır, kolay sterilize edilebilirler ve yüksek yükleme kapasitesine sahiptirler (Dağlıoğlu & Yüksel, 2023). Partiküllerin küçük boyutları, hem aktif hem de pasif taşıma mekanizmalarıyla hedef dokuya ulaşımı kolaylaştırır, antijenik özellikleri azaltır ve retiküloendotelial sistem tarafından fagositozu engelleyerek kan dolaşım süresini artırır. Bu sayede beyin, barsaklar gibi organlarda etkili bir dağılım sağlanır. Oral uygulamalarda biyoyararlanımı artırır ve günler hatta haftalar süren kontrollü ilaç salımı sunar. FDA tarafından biyolojik olarak parçalanabilir polimerler sınıfına dahil edilen bazı PNP’ler, insan kullanımı için onaylanmıştır. İn vitro çalışmalar, farklı PNP türlerinin yüksek dozlarda bile sitotoksik, mutajenik veya genotoksik olmadığını göstermektedir (Marangoz & Yavuz, 2020).

- **Dendrimerler:** Yunanca “ağaç” anlamına gelen “dendron” kelimesinden türetilmiş polimerik ilaç taşıyıcı sistemlerdir. Yapısal olarak çekirdek, çekirdeği çevreleyen dallanma birimleri ve yüzeyde bulunan fonksiyonel gruplardan oluşurlar. Bu yapılar, tümör hücrelerine diğer küçük moleküllere kıyasla daha yüksek permeabilite ve tutulma yeteneği göstermeleri nedeniyle özellikle tümörlü hücresel yapıların tedavisinde hedefe yönelik ilaç taşıma amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Dendrimer tabanlı taşıyıcılar genellikle doğrudan tümör dokusuna veya sistemik olarak damar içi ve diğer parenteral yollarla uygulanmaktadır. Ticari olarak temin edilebilir olmaları, bu sistemlerin ilaç dağıtımında tercih edilmesini artırmaktadır. Ancak dendrimerlerin biyolojik zarlarla etkileşimi sonucunda, zar bütünlüğünde bozulma, incelme ve erozyon gibi olumsuz etkiler gözlemlenmiştir (Marangoz & Yavuz, 2020).

- **Fullerenler (C60):** Fullerenler, karbon atomlarının beş veya altı üyeli halkalar şeklinde birbirine bağlanmasıyla oluşan içi boş küresel yapılardır. Bu yapılar, kimyasal olarak modifiye edilerek virüslere, bakterilere ve toksik maddelere karşı etkili ajanlar olarak veya karbon nanotüplere (CNT) bağlanarak ilaç salınım sistemlerinde kullanılabilir (Sun ve ark., 2022). Yapılan araştırmalar, C60 nanopartiküllerinin antineoplastik ilaçların neden olduğu toksik etkileri azaltmada yüksek güvenilirlik ve etkinlik sergilediğini göstermektedir. Bununla birlikte, fullerenler toksisite açısından dikkatli biçimde değerlendirilmesi gereken yapılardır. Çap, yüzey alanı, fonksiyonel grup yapısı, çözünürlük ve birikim düzeyi gibi parametreler, toksisite riskini

etkileyebilmektedir. Bazı çalışmalarda fullerenlerin aşırı reaktif oksijen türü (ROS) üretimine, iplikçik hasarına, kontrollü hücre ölümüne (apoptozis) ve enflamatuvar yanıtların artmasına neden olabileceği bildirilmiştir (Fernandes ve ark., 2022). Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilen MINDS adlı ilaç dağıtım sistemi, nörolojik hastalıkların tedavisinde kullanılan ilaçları doğrudan beynin ilgili bölgesine ulaştırmayı amaçlayan yenilikçi bir teknolojidir. Bu sistem, çelikten yapılmış bir iğnenin içinde tungstenden üretilen elektrot ve tüplerden meydana gelmektedir. Nanoteknoloji alanında beklenen en önemli gelişmelerden biri, insan gözünün algılayamayacağı kadar küçük tümörlerin erken evrede tespit edilebilmesidir. Ayrıca, nanoteknoloji kullanılarak geliştirilen nanostentler, kalp hastalıklarının tedavi süreçlerini hızlandırmakta ve kan pıhtılaşmasının önlenmesine katkıda bulunmaktadır (Sarıgül, 2018).

• **Nanoteknoloji Destekli Sağlık Giysileri ve Uygulama Alanları**

Nanoteknoloji, giysilere işlevsel özellikler kazandırarak sağlık ve yaşam kalitesini geliştirme potansiyeline sahiptir. Aşağıdaki örnekler bu alanın yenilikçi ürünlerine ilişkin fikir vermektedir.

- **Yara Bakım Giysileri:** Nanotekstil kaplamalar aracılığıyla iltihaplanmayı azaltan ve iyileşmeyi hızlandıran yarı geçirgen, mikrobiyal bariyerli yapılar oluşturulabilmektedir. Nazik çıkarım özelliğiyle yara yüzeyine zarar vermez (Ataide ve ark., 2022).

- **Alev Geciktirici Kumaşlar:** Nanometalik kaplamalar veya nanokompozit malzemeler uygulanarak yangına dayanıklı tekstiller üretilebilir. Bu tür geliştirmeler hâlâ araştırma aşamasında olmakla birlikte prototip düzeyine ulaşmıştır (Jiang & Reddy, 2025).

- **UV Filtreli Kumaşlar:** Nanokaplamalar sayesinde güneşin zararlı ışınlarına karşı aktif koruma sağlayabilir; sıvı kaybını dengeleyerek aynı zamanda buharlaşmayı azaltabilir (Shah ve ark., 2022).

- **Antimikrobiyal ve Anti-Alerjik Giysiler:** Nano-gümüş veya kitosan kaplamalar sayesinde birçok etkene karşı güçlü bir dayanıklılık sağlamaktadır. Böylece mantar gibi cilt hastalıklarına karşı bariyer oluşturabilir (Shah ve ark., 2022)

- **Vücut Masaj Etkili veya Elektrostimülasyonlu Giysiler:** Sensör yerleşimiyle vücut sıcaklığı ya da dolaşımı düzenleyerek rahatlama sağlayabilir. Bu alandaki geliştirmeler, giysilere bütünleşmiş esnek elektroniklerle desteklenmektedir (Barman ve ark., 2022).

• **Nanoteknolojik Maskeler ve Salgın Hastalıklar**

Salgın hastalıklar, özellikle solunum yoluyla bulaşan virüs kaynaklı enfeksiyonlar, halk sağlığını tehdit eden ciddi küresel sorunlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle, enfeksiyonların yayılmasını önlemek için kullanılan kişisel koruyucu ekipmanlar (KKE) arasında maskeler kritik bir öneme sahiptir. Günümüzde nanoteknoloji, maskelerin koruyuculuk seviyesini artırmak ve aynı zamanda tekrar kullanılabilirlik ile biyoyumluluk gibi avantajlar sağlamak amacıyla bu ürünlere entegre edilmektedir (Palmieri ve ark., 2021).

- **Elektrospun Nanofiber Filtreleme Sistemleri:** Elektrospinning, nanofiber üretiminde öncü ve yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Bu teknik, düşük maliyeti, yüksek üretim hızı ve nanofiberlerin geometrik ve kimyasal özelliklerinin hassas bir şekilde kontrol edilebilmesine imkân tanınması gibi avantajlara sahiptir. Elektrospinning ile üretilen nanofiber membranlar, geleneksel maske filtrelerine göre çok daha ince lifler (15–300 nm çap aralığında) ve küçük gözenek boyutlarına sahiptir. Bu yapısal özellikler, elektrospun membranların virüs boyutundaki ($<0.4 \mu\text{m}$) partikülleri %99,9'a kadar yüksek verimle filtreleyebilmesini mümkün kılmaktadır (Essa ve ark., 2021).

Munzarová (2013), elektrospinning yöntemiyle üretilen nanofiber tabanlı bariyer kumaşlar geliştirmiştir; bu kumaşlar, maskelerde kullanıldığında mikroorganizmaların, tozların ve alerjenlerin geçişini fiziksel olarak engelleyebilmektedir. Benzer şekilde Akduman (2021) selüloz asetat (CA) ve poliviniliden florür (PVDF) polimerlerinden elektrospun nanofiber membranlar üretmiş ve bu yapıları, N95 standartlarına uygun filtreleme kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlamıştır. Araştırmada, PVDF nanofiberlerin ortalama çapı 236,50 nm, CA nanofiberlerin ortalama çapı ise 319,02 nm olarak bulunmuştur. İlginç bir şekilde, CA liflerinin filtreleme performansı PVDF liflerinden daha yüksek çıkmış, bu durum lif yoğunluğu ve gözenek yapısının filtre etkinliğine etkisini açıkça göstermiştir. Ruan ve arkadaşlarının (2020) çalışmasında ise TiO_2 destekli poliakrilonitril-ko-poliakrilat (PAN-co-PMA) nanofiber membranları geliştirilmiş ve bu yapıların hava geçirgenliği (284–339 mm/s), partikül madde (PM 2.5) tutma kapasitesi ve aerosol kontrolü gibi parametrelerde yüksek performans sergilediği gösterilmiştir. Bu membranlar, aynı zamanda düşük hava direnci ile solunum konforunu artırarak kullanıcı dostu bir maske malzemesi olma potansiyeline sahiptir (Ruan ve ark., 2020).

- **Tuz Kaplama (Salt-Coating) Teknolojisi:** Yüzeylerine NaCl uygulanmış maske kumaşlarının, aerosol içindeki virüslerin kuruma sürecinde kristalleşen tuz yapılarının lipid zarları fiziksel olarak parçaladığı görülmüştür. Özellikle çok katlı kumaş sistemlerinde $4\text{--}5 \text{ mg/cm}^2$ tuz yükü virüs replikasyonunu önemli ölçüde baskılar. Influenza virüsü ve insan koronavirüsü (HCoV-229E) üzerinde

yapılan biyolojik testlerde, viral aktivitenin büyük ölçüde azaldığı saptanmıştır (Ebadi ve ark., 2022). Farklı bir araştırma da salt-coated SB (spunbond) kumaşların 3 katlı maskelere eklenerek filtrasyon verimliliğinin ve antiviral etkinliğin arttığını göstermiştir; bu uygulamanın nefes alabilirliği olumsuz etkilemediği de belirtilmiştir (Han ve ark., 2024).

- **Metal Nanopartiküller ile Antiviral Kaplamalar:** Çinko oksit nanopartikülleriyle kaplanmış tekstil yüzeyleri, Koronavirüs etkeni ile temas ettiğinde yalnızca 10 dakika içinde viral titerde $\geq 99,9\%$ azalma sağlayabilmektedir. Bu kaplamalar, maskelerin 100 yıkama döngüsüne kadar dayanıklılığını korumasına olanak tanırken, insan cildinde herhangi bir irritasyona yol açmamıştır (Gonzalez ve ark., 2021). Ayrıca, TiO_2 , gümüş ve bakır nanopartikülleri gibi diğer nanomalzemeler, fotokatalitik aktivite veya iyon salınımı yoluyla antiviral özellik kazandırarak maskelerin etkinliğini artırmaktadır (Essa ve ark., 2021).

• Akıllı Giysiler ve Giyilebilir Teknolojilerin Sağlık alanında Kullanımı

Günümüzde sağlık hizmetlerindeki dönüşüm, sadece hastane ortamlarıyla sınırlı kalmayıp, bireyin günlük yaşamına entegre edilmiş izlem ve bakım yaklaşımlarını ön plana çıkarmaktadır. Uzun süreli hastanede yatışlar, yalnızca fiziksel değişimlere değil, psikolojik ve sosyal açıdan da olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Bodur, 2020). Bu nedenle kronik hastalıkların izlenmesi, postoperatif süreçlerin takibi ve yaşlı bireylerin yaşam kalitesinin korunması gibi alanlarda, sağlık hizmetlerinin bireyin bulunduğu ortamda da devam edebilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, giyilebilir teknolojiler ve akıllı giysiler, modern sağlık hizmetlerinin önemli bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Bodur, 2020; Demirci, 2018; Swan, 2013).

Giyilebilir teknoloji, bireylerin vücutlarına entegre ederek kullanabildikleri ya da doğrudan giyilebilir biçimde tasarlanmış elektronik sistemleri ifade etmektedir. Bu teknoloji, kullanıcıların günlük yaşantısında fiziksel hareket özgürlüğünü kısıtlamadan çeşitli işlevleri yerine getirebilecekleri donanımlar sunmaktadır (McCann & Bryson, 2022). Giyilebilir teknolojiler sayesinde bireylerin yaşamsal değerleri ve sağlık düzeylerine ilişkin veriler, gerçek zamanlı olarak uzaktan takip edilebilmekte; bu veriler dijital iletişim yoluyla sağlık profesyonellerine iletilerek mekândan bağımsız bir sağlık hizmeti sunulabilmektedir. Böylece bireylere hastane dışı ortamlarda ilaç takibi, diyet kontrolü ve egzersiz programlarının izlenmesi gibi bütüncül bakım olanakları sağlanabilmektedir aynı zamanda bireylerin sağlık geçmişine dair önemli veriler

sürekli olarak kaydedebilmektedir. Kayıt altına alınabilen bilgiler arasında günlük adım sayısı, uyku düzeni, vücut ağırlığı, kan glikoz seviyesi, kan basıncı değeri, nabız ve kandaki oksijenizasyon miktarı (SPO₂) gibi vital parametreler yer almaktadır. Günümüzde bu kapsamda kullanılan ürünler oldukça çeşitlenmiştir. Öne çıkan giyilebilir teknoloji örnekleri arasında; vücut fonksiyonlarını izleyebilen sensörlerle donatılmış akıllı saatler, bileklikler, yüzükler ve kolyeler yer almaktadır. Ek olarak sanal gerçeklik destekli akıllı gözlükler, bluetooth kulaklıklar, cilt üzerine yapıştırılabilen akıllı dövme ve yapay deriler de giyilebilir teknolojik ürün olarak sıkça kullanılmaktadır. Bununla birlikte biyosensör teknolojisine sahip akıllı bandajlar, çevresel verileri algılayabilen akıllı giysiler, basınca duyarlı taban sistemleriyle donatılmış ayakkabılar ve ısı ya da hareket takibi yapan eldivenler gibi ürünler de giyilebilir teknolojilere örnek olarak gösterilmektedir (Özgüner Kılıç, 2017).

• **Hemşirelik Uygulamalarında Giyilebilir Teknolojinin Yeri ve Önemi**

Giyilebilir teknolojilere yönelik sağlık alanındaki ilginin temelinde iki ana gerekçe yer almaktadır. İlk olarak, bu teknolojiler sayesinde bireylerden uzun süreli fizyolojik veri toplanması mümkün olmakta; böylece hastalıkların erken tanınması ve tedavi süreçlerinin daha etkin yönetimi desteklenmektedir. İkinci olarak ise, geleneksel tanı cihazlarının (örneğin holter monitörlerinin) bazı klinik durumları tespit etmedeki sınırlılıklarını aşmak adına, giyilebilir teknolojilerin daha hassas ve kapsamlı veri sunabileceği düşünülmektedir (Bonato, 2010).

Giyilebilir sağlık teknolojileri, hasta ile sağlık bakım vericileri özellikle de hemşireler ve hastalar arasında süregelen ve karşılıklı bir iletişim aracılığı sağlamaktadır. Bu sistemler aracılığıyla hastalar, hastaneye gitmelerine gerek kalmaksızın kendi yaşam ortamlarında sağlık durumlarını izleyebilmekte, toplanan bilgiler ise anında sağlık personeline iletebilmektedir. Bu durum, yalnızca bireyin yaşam kalitesini artırmakla kalmayıp; hastane başvurularının, gereksiz yatışların ve buna bağlı sağlık giderlerinin azaltılmasına da katkı sunmaktadır. Hemşirelik özelinde ele alındığında, giyilebilir teknolojilerin kullanımının bakım kalitesini artırmaya ve hemşire kaynaklı hataları azaltmaya yönelik olumlu etkileri dikkat çekmektedir. Literatürdeki çalışmalar, bu teknolojilerin hemşirelik uygulamalarını dijitalleştirerek oldukça hızlı, güvenilir ve bireyselleştirilmiş hizmet sunulmasını sağladığını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda Utah Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu'nda gerçekleştirilen bir pilot çalışma dikkat çekicidir. Geliştirilen akıllı saat teknolojisi, hemşirelerin bileğine takılarak test edilmiştir. 20 yataklı bir yoğun bakım simülasyon ünitesinde yürütülen deneyde, hemşireler acil durumlar sırasında cihaz üzerinden titreşimli uyarılar almış ve böylece alarm sistemine daha hızlı müdahale

edebilmişlerdir. Bu saatler, infüzyon pompaları, hasta monitörleri (ör. SpO₂, kan basıncı vb.) ve hasta çağrı sistemleriyle entegre edilmiştir. Entegrasyon sonrası hemşirelerin uyarıya yanıt süresinde 2.5 katlık bir iyileşme kaydedilmiş ve bu gelişme literatürde anlamlı bulunmuştur (McFarlane ve ark., 2018).

• **Cerrahi Hemşireliği Alanında Giyilebilir Teknolojinin Kullanımı**

Giyilebilir teknolojilerin sağlık sektöründe giderek yaygınlaşması, cerrahi uygulamalarda da bu sistemlere olan ilgiyi artırmıştır. Cerrahi hemşireliği alanında kullanılan giyilebilir teknolojiler tanı sürecinden ameliyat sonrası izlemeye ve hasta mobilizasyonuna kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Ayrıca, eğitim süreçlerinin desteklenmesi, hasta bakım kalitesinin artırılması ve güvenliğin sağlanması gibi alanlarda da etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Dursun & Yılmaz, 2021).

Cerrahi hastaların ameliyat öncesi hazırlık sürecinde fiziksel yeterliliklerinin değerlendirilmesi, giyilebilir teknolojiler ile daha nesnel şekilde yapılabilmektedir. Hedrick Traci ve ark, (2020) çalışmasında, cerrahi hastaların ameliyat öncesi fiziksel aktivite düzeylerinin giyilebilir teknoloji kullanılarak izlenmesi ve bu verilerin komplikasyonlarla ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırma, hastaların ameliyat öncesinde 30 gün boyunca adım sayar özellikli cihazlar kullanmalarını sağlamıştır. Elde edilen verilere göre, daha aktif olan hastaların ameliyat sonrası komplikasyon oranlarının anlamlı şekilde daha düşük olduğu bulunmuştur. Bu bulgu, ameliyat öncesinde giyilebilir teknoloji ile verilen hasta eğitiminin cerrahi sonuçları iyileştirebileceğini göstermektedir (Hedrick Traci ve ark., 2020).

Giyilebilir teknolojilerin gelişimiyle birlikte, başa takılabilen kameralar gibi yenilikçi sistemler, ameliyathane ortamında hem cerrahlar hem de hemşireler için eğitimde kritik bir ekipman haline gelmiştir. Bu kameralar sayesinde, üçüncü kişilerin steril sahaya müdahale etmesine gerek kalmadan, cerrahi işlemler uygulayıcının gözünden gerçek zamanlı olarak kayıt altına alınabilmekte ve uzaktan izlenebilmektedir. Böylece hem aseptik koşullar korunmakta hem de birebir gözlem imkânı sunularak eğitim süreçleri güçlendirilmektedir. Gelecekte bu sistemlerin yalnızca cerrahların eğitimiyle sınırlı kalmayıp, hemşirelik öğrencilerinin de cerrahi süreçleri doğrudan deneyimlemelerine olanak tanınması beklenmektedir. Özellikle ameliyathane hemşireleri açısından, başa takılan kameralarla yapılan kayıtlar; duygu durumu, stres yönetimi, işlem sırasındaki iletişim ve iş akışı gibi birçok öğenin gözlemlenebilmesini mümkün kılarak, hemşirelik eğitimine oldukça değerli bir katkı sunmaktadır (Dursun & Yılmaz, 2021).

Giyilebilir teknoloji cerrahi müdahale sonrası hastaların mevcut hareketlilik düzeyini izlemek ve rehabilitasyon sürecini desteklemek amacıyla da sıkça kullanılmaktadır. Isabeau Thijs ve arkadaşlarının (2019) yürüttüğü prospektif gözlemsel çalışmada, kalp ameliyatı sonrası farklı tekniklerle (konvansiyonel OPCAB ve robot destekli RA-MIDCAB) ameliyat edilen hastaların fiziksel aktivite düzeyleri, giyilebilir fitness izleyicileriyle ölçülmüştür. Sonuçlara göre, robotik yöntemle ameliyat edilen hastaların erken taburculuk sonrası dönemde daha aktif oldukları ve rehabilitasyon süreçlerinin daha başarılı ilerlediği saptanmıştır (Thijs ve ark., 2019).

Benzer şekilde, Simpson ve arkadaşlarının (2019) beyin cerrahisi kliniğinde yürüttükleri bir çalışmada, omurga cerrahisi sonrası spinal postürü izleyen giyilebilir cihazların doğruluk ve uygulanabilirlik düzeyleri incelenmiştir. Araştırmada mevcut giyilebilir teknoloji sistemlerinin spinal postürü değerlendirmede yeterli hassasiyete sahip olduğu ancak hastalar tarafından sürekli kullanım için daha kaliteli düzeyde validasyon ve cihaz konforu yönünden iyileştirme gerektiği belirtilmiştir (Simpson ve ark., 2019).

Transplantasyon cerrahisinde de giyilebilir sistemlerin geliştirilmekte olduğu dikkat çekmektedir. Salani ve arkadaşları (2018), giyilebilir yapay böbrek teknolojileri üzerine yürüttükleri çalışmada, bu sistemlerin uzun süreli böbrek yetersizliği yaşayan bireylerde diyaliz ihtiyacını azaltabileceğini; böylece hem hasta yaşam kalitesinin artırılabilirliğini hem de sağlık bakım maliyetlerinin düşürülebileceğini belirtmişlerdir. Bu tür cihazlar, sadece hastaların değil sağlık sistemlerinin de yükünü hafifletme potansiyeline sahiptir (Salani ve ark., 2018).

➤ Cerrahi Uygulamalarda Nanoteknolojinin Rolü ve Kullanım Alanları

Ameliyathaneler, hastanelerin yüksek stres ve dikkat gerektiren birimleri olarak, teknolojik yeniliklerin hızla adapte edildiği alanlardan biridir. Son yıllarda sağlık hizmetlerinde yaşanan teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak nanoteknoloji, cerrahi uygulamalarda önemli bir rol üstlenmiştir (Abaszadeh ve ark., 2020; Wang ve ark., 2019). Özellikle son on yılda tıpta nanoteknolojiye olan ilgi artmış ve bu teknolojinin tanı ve tedavi süreçlerine entegrasyonu, cerrahinin etkinliğini ve hasta sonuçlarını iyileştirme açısından önemli fırsatlar sunmuştur (Haleem ve ark., 2023).

Nanoteknolojinin cerrahi uygulamalara entegrasyonu, ameliyatların daha hassas şekilde gerçekleştirilmesine ve hastada oluşan fizyolojik stresin azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Bu durum, ameliyat sonrası süreçte daha küçük yara izi, daha hızlı iyileşme ve komplikasyonların azalması gibi olumlu

sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca minimal invaziv cerrahi tekniklerinin gelişimi, nanoteknolojik ürünlerin katkısıyla daha güvenli ve etkin bir hâl almıştır (Abaszadeh ve ark., 2023).

Nanoteknoloji, cerrahi uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Cerrahi implant ve ekipman üretiminde yüksek biyouyumluluk ve dayanıklılık sağlayan nanomalzemeler tercih edilmekte; dikiş materyalleri ve yara örtüleri antimikrobiyal özellikler kazandırılarak enfeksiyon riski azaltılmaktadır. Ayrıca, kemik rejenerasyonu süreçlerinde kemikleşmeyi destekleyen nanokompozit yapılar kullanılmakta ve alet dezenfeksiyonunda mikrobiyal kontaminasyonu önleyen yüzey kaplamaları uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra hedefe yönelik ilaç salımı sağlayan nanotaşıyıcı sistemler ve doku mühendisliği uygulamalarında nanoparçacık destekli iskelet sistemleri de cerrahide nanoteknolojinin yenilikçi kullanım örnekleri arasında yer almaktadır (Joob & Wiwanitkit, 2017; Kateb ve ark., 2014; Mariappan, 2019).

• **Ortopedik Cerrahide Nanoteknolojik Uygulamalar:** Nanoteknoloji, ortopedik cerrahi alanında hem tanı hem de tedavi süreçlerine yönelik olarak yenilikçi çözümler sunan önemli bir teknolojik yaklaşımdır. Son yıllarda geliştirilen nanomalzemeler, mevcut ortopedik uygulamalarda yaşanan çeşitli zorluklara yönelik etkili alternatifler sunmakta ve klinik başarı oranlarını artırmaktadır (Smith ve ark., 2018).

Ortopedik nanoteknoloji uygulamaları arasında; implantların ömrünü uzatmak, osteoporotik vertebra kırıklarının tedavisini desteklemek, osteokondral defektlerin onarımı, menisküs rejenerasyonu, enfeksiyonların önlenmesi, ortopedik onkolojik vakaların tedavisi ve kök hücre destekli rejeneratif yaklaşımlar yer almaktadır. Bu uygulamalar hastaların yaşamdan zevk alma kalitesini artırmakta aynı zamanda da cerrahi girişimlerin etkinliğini artırmaktadır (Mariappan, 2019).

- **İmplant Malzemeleri ve Nanoteknoloji:** Artroplastide nanoteknolojinin öncelikli hedeflerinden biri, hem vücutla uyumlu hem de uzun ömürlü implant materyalleri geliştirmektir (Smith ve ark., 2018). Bu kapsamda, implant yüzeylerine uygulanan nanotekstür kaplamalar, kemik hücrelerinin yüzeye tutunmasını kolaylaştırmakta ve kemik-implant bütünleşmesini artırmaktadır. Kaplamalarda sıklıkla nanoölçekli hidroksiapatit, metallo-seramik bileşikler ve nanodiamond gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu materyaller sadece hücre etkileşimini desteklemekle kalmaz, aynı zamanda implantların mekanik dayanıklılığını artırır ve aşınma, korozyon ya da erozyon gibi olumsuz etkileri azaltır (Amirtharaj ve ark., 2022; Winnicki, 2021).

Titanyum implantlar üzerinde yapılan çalışmalar, metalin mekanik dayanıklılığını korurken biyolojik uyumunu artırmak için şiddetli plastik deformasyon (SPD) gibi yöntemlerle nanoyapı düzeyinde işlenebileceğini göstermektedir. Bu süreç, metal tanelerini nanometre ölçeğine indirerek daha sağlam ve biyoyumlu yüzeyler elde edilmesini sağlar (Serra ve ark., 2013).

UHMWPE gibi polietilen bazlı malzemeler, ortopedik implantlarda kullanılsa da kırılma riski nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Nanoteknoloji ile yapılan modifikasyonlar, bu materyallerin mekanik performansını artırmakta ve biyoyumluluğunu güçlendirmektedir (Bistolfi ve ark., 2021). Örneğin, karbon nanotüplerle takviye edilmiş UHMWPE nanokompozitler, aşınma direnci ve dayanıklılık açısından etkili sonuçlar vermekte ve özellikle kalça protezlerinin asetabulum astarı veya diz protezlerinin tibial bileşenlerinde kullanılabilecek potansiyele sahiptir (Puértolas & Kurtz, 2014).

- **Ortopedik Kemik Çimentosu ve Nanoteknoloji:** Nanoteknolojik yaklaşımlar, ortopedik cerrahide sıklıkla kullanılan polimetil metakrilat (PMMA) temelli kemik çimentolarının performansını artırmaya yönelik olarak önemli olanaklar sunmaktadır. Geleneksel uygulamalarda, PMMA çimentosuna antibiyotik eklenerek postoperatif enfeksiyonların önlenmesi hedeflenmektedir. Ancak, bu ilaçların çimentodan hızla salınarak kısa süreli etkinlik göstermesi, tedavi başarısını sınırlayan başlıca faktörlerden biri olmuştur (Ayre ve ark., 2016; Wei ve ark., 2012).

Son yıllarda geliştirilen nano-ölçekli ilaç taşıyıcı sistemler özellikle lipit nanopartiküller, silika nanoparçacıklar ve kil nanotüpleri gibi çimento matrisine entegre edilerek antibiyotiklerin daha kontrollü ve zamanlı salınımını mümkün kılmakta, bu da enfeksiyon kontrolünde daha uzun süreli etkinlik sağlamaktadır (Al Thaher ve ark., 2017).

X-ışını görünürlüğünü sağlamak için, çimentoya sıklıkla zirkonyum ve baryum sülfat gibi seramik parçacıklar eklenir. Ancak, bu parçacıkların kemik-implant arayüzündeki biyoyumluluk üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Gilliani ve arkadaşlarının çalışmasına göre, kemik çimentosuna eklenen bu parçacıklar nanometre ölçeğinde modifiye edilmiş olup, sitokompatibiliteleri artırılmış ve mekanik arıza riskleri düşürülmüştür (Gillani ve ark., 2010).

- **Kıkırdak Rejenerasyonu ve Nanoteknoloji:** Kıkırdak dokusunun hasar görmesi, dejeneratif eklem hastalıklarının başlıca nedenlerinden biridir ve bu durum, özellikle osteoartrit gibi ilerleyici hastalıkların gelişimine zemin hazırlamaktadır. Yetişkin kıkırdak dokusunun düşük rejenerasyon kapasitesi ve sınırlı iyileşme tepkisi, bu tür defektlerin doğal yollarla onarılmasını

zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, rejeneratif tıp alanında kırık onarımını desteklemeye yönelik yeni yaklaşımlar geliştirilmesi uğruna çok sayıda araştırma yürütülmektedir. Son zamanlarda, mezenkimal kök hücre (MSC) tedavisini desteklemek amacıyla nanoteknolojiden yararlanılarak biyouyumlu iskele sistemlerinin geliştirilmesine yönelik klinik öncesi çalışmalarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu yaklaşımlar, hücresel proliferasyon, farklılaşma ve doku organizasyonunu optimize ederek doku mühendisliğinde umut verici sonuçlar doğurmaktadır (Mahboudi ve ark., 2018).

Örneğin, Liu ve arkadaşlarının çalışmasında, polikaprolakton (PCL) ve jelatin esaslı nanofibröz bir iskele geliştirilmiş ve bu yapı hem eklem kırığı onarımında hem de subkondral kemik rejenerasyonunda olumlu etkiler göstermiştir. Ayrıca, polietersülfon tabanlı bir iskele kullanıldığında, mezenkimal kök hücrelerin kondrojenik farklılaşma kapasitesinde belirgin bir yükselme gözlemlenmiştir (Liu ve ark., 2014). Mahboudi ve arkadaşlarına göre, nanofiber bazlı bir polietersülfon iskele kullanıldığında MSC kondrojenik farklılaşması önemli ölçüde iyileşmiştir (Mahboudi ve ark., 2018). Enjekte edilebilir hidrojeller ve peptit bazlı malzemeler, hasarlı doku bölgesine kolayca uygulanabilmeleri ve biyolojik sinyalleri taklit edebilmeleri nedeniyle kırık rejenerasyonu süreçlerinde tercih edilmektedir. Literatürdeki bulgular, nanoparçacıkların doku mühendisliğine yönelik iskelelerde kullanılması durumunda hücre adezyonunu, proliferasyonunu ve kondrosit fenotipinin korunmasını olumlu yönde etkilediğini bizlere kanıtlamaktadır. Fakat bu veriler her ne kadar ümit vaat edici özellikte olsa da nanoteknolojiye dayalı bu tedavi yaklaşımlarının henüz yaygın klinik uygulamalarda rutin olarak kullanıma girmediği belirtilmelidir. Klinik geçiş süreci, güvenlik, etkinlik ve düzenleyici onaylara ilişkin kapsamlı değerlendirmeleri gerekli kılmaktadır (Xu ve ark., 2017).

- Tendon İyileşmesi ve Nanoteknoloji: Tendon cerrahisinde uygulanan modern cerrahi tekniklere ve ameliyat sonrası bakım süreçlerindeki ilerlemelere rağmen, cerrahi sonrası gelişen adezyonlar (yapışıklıklar), hastaların fonksiyonel iyileşmesini olumsuz etkileyen kritik bir sorun olmayı sürdürmektedir. Bu sorunun çözülmesine yönelik nanoteknoloji ve ilaç salım sistemlerindeki gelişmeler, tendon iyileşme sürecinin içsel ve dışsal yönlerini destekleyen yenilikçi stratejiler sunmaktadır (Abaszadeh ve ark., 2023).

Son dönem çalışmalardan birinde Zhao ve ark. (2015) kontrollü düzeyde ilaç salınımını mümkün kılmak için hidrosol bazlı nanoparçacıkları ilaç taşıyıcısı olarak kullanarak umut verici bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu sistem, kemoterapötik özelliklere sahip olan ve antifibrotik etkisi ile bilinen mitomisin-C'nin lokal olarak tendon bölgesine salınımını sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar,

onarılan tendonun mekanik dayanımını etkilemeden, in vivo koşullarda adezyon gelişimini anlamlı ölçüde azaltabildiğini ortaya koymaktadır.

- Ortopedik Enfeksiyonlar ve Nanoteknoloji: Ortopedik cerrahi sonrası enfeksiyonlar, implant başarısızlığı, iyileşme süresinin uzaması ve ek cerrahi müdahaleler gibi ciddi komplikasyonlara yol açabilmektedir. Bu enfeksiyonların büyük kısmı, bakterilerin oluşturduğu biyofilmlerle ilişkilidir. Biyofilm tabakaları, antibiyotiklere karşı dirençli oldukları için tedavi sürecini güçleştirmekte ve çoğu zaman enfekte implantın çıkarılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, nanoteknoloji tabanlı antibakteriyel implantların geliştirilmesi giderek önem kazanmaktadır. Özellikle nanopartiküllerle kaplanmış, biyofilme dirençli yüzeyler, enfeksiyon riskini azaltmada yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Abaszadeh ve ark., 2023).

Son yıllarda, ortopedik alanda gümüş nanoparçacıklarının antimikrobiyal etkilerine dayalı ürünlere ilgi artmıştır. Klinik uygulamalarda kullanılan gümüş nanoparçacıklı pansumanlar, geleneksel pansumanlara göre enfeksiyonları önlemede ve yara iyileşmesini desteklemede daha yüksek etkinlik göstermektedir (Razavi ve ark., 2021). Benzer şekilde, Kose ve arkadaşlarının geliştirdiği gümüş nano toz kaplamalar, kaplanmamış titanyum implantlara kıyasla mikrobiyal kolonizasyonu önemli ölçüde azaltmıştır (Köse ve ark., 2016).

Genel olarak, nanoteknoloji destekli antimikrobiyal uygulamalar, ortopedik travma, spinal cerrahi ve eklem protezi gibi yüksek riskli cerrahilerin ardından ortaya çıkabilecek ameliyat sonrası enfeksiyonları önlemede umut vaat eden bir yöntemdir. Bununla birlikte, uzun dönem biyoyumluluk, potansiyel toksisite ve antibiyotik direnci gibi parametrelerin klinik olarak ayrıntılı biçimde incelenmesi gerekmektedir (Jia ve ark., 2016; Köse ve ark., 2016).

• Nöroşirurjide Doku Rejenerasyonu ve Nanoteknoloji Uygulamaları

Nöroşirurji pratiğinde, dejeneratif disk hastalıklarının cerrahi tedavisini takiben görülen komplikasyonlar, klinik başarıyı etkileyen kritik durumlar arasında yer almaktadır. Dissektomi ve füzyon gibi yaygın cerrahi yöntemlerin ardından, omurga hareketliliğinde azalma, spondilozis gelişimi ve disk hernilerinin tekrarlaması gibi yan etkiler sıkça rapor edilmektedir. Bu nedenle, intervertebral disk (IVD) rejenerasyonuna yönelik daha etkili ve hedefe odaklanan tedavi stratejilerine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Hücre temelli tedaviler ve doku mühendisliği yaklaşımları ile entegre nanoteknoloji uygulamaları, mevcut tedavilerin sınırlılıklarını aşmak amacıyla araştırmalarda önem kazanmaktadır (Abaszadeh ve ark., 2023).

Yapılan alışmalar, poli(-glutamik asit) nano kompleks enjeksiyonlarının doğal IVD matrisinin iyileşmesini destekleyebileceğini göstermiştir. Ayrıca, sinir rejenerasyonu alanında nanoteknolojiye dayalı yenilikçi çözümler de geliştirilmektedir. Karbon nanotüpler ve nanoölçekli iskelet yapılar kullanılarak tasarlanan sentetik kanallar, otogreftlerin sağladığı mekanik destekten daha fazlasını sunmakta ve sinir hücrelerinin tutunma ile yönlenme yeteneğini artıran topografik mikroçevreler oluşturmaktadır. Karbon nanotüplerin akson gelişimini uyurabileceği ve miyelinin bazı elektriksel özelliklerini taklit edebileceği de düşünülmektedir (Hui ve ark., 2022).

- **Plastik Cerrahi Uygulamaları ve Nanoteknoloji**

Nanoteknolojik yenilikler, plastik ve rekonstrüktif cerrahide tanı ve tedavi yaklaşımlarının önemli ölçüde dönüşmesini sağlamıştır. Nanometre düzeyinde geliştirilen tanı ve terapötik sistemler, plastik cerrahinin geniş uygulama yelpazesinde fonksiyonel ve estetik olarak başarıyı artırmaya yönelik katkılar sunmaktadır. Plastik cerrahi; rekonstrüktif doku onarımı, yara iyileşmesi, estetik prosedürler ve sinir rejenerasyonu vb. Çeşitli türdeki alt alanları kapsar. Bu nedenle nanoteknoloji, özellikle ilaç salınım sistemleri, biyoaktif implant ve protez materyalleri, doku mühendisliği temelli çözümler, gelişmiş yara örtüleri ve topikal cilt tedavileri gibi birçok klinik uygulamada önemli avantajlar sunmaktadır (Abdollahiyan ve ark., 2021; Parks ve ark., 2012).

Özellikle yapay deri uygulamalarında, nanoyapılı malzemelerle zenginleştirilmiş biyolojik iskelelerin kullanımı, cilt defektlerinin iyileştirilmesinde başarılı sonuçlar vermektedir. Tip I kollajen temelli biyomateriyallerin nanofaz gümüş partikülleri ile desteklenmesi, nöron onarımda görev alan proteinlerin sayısını artırmakta ve sinir iyileşme sürecini hızlandırmaktadır. Bu tür nanoaktif yapılar, rejeneratif süreçleri uyaran biyokimyasal sinyallerin kontrollü salınımını sağlayarak hem sinir dokusu hem de deri yenilenmesinde yeni ufuklar açmaktadır (Hu ve ark., 2014).

- **Plastik Cerrahide Doku ve Organ Mühendisliğinde Nanoteknoloji**

Plastik cerrahi uygulamalarında doku ve organ mühendisliği, özellikle rekonstrüktif meme cerrahisi gibi klinik alanlarda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Mastektomi sonrası gerçekleştirilen meme rekonstrüksiyonlarında kullanılan implantların hem kapsüler kontraktür gelişimini önleyebilecek düzeyde olması hem de biyolojik uyumluluk açısından yüksek performans sergilemesi gerekmektedir. Bu gereksinimler doğrultusunda nanoteknolojik malzemeler, implant tasarımlarında kritik bir rol oynamaktadır (di Pompeo ve ark., 2023). Örneğin, silikon bazlı meme implantlarında, dış kabuk malzemesi

olarak kullanılan silikon kauçuk, nanoskalada SiO₂ (silika) partikülleri ile güçlendirilerek nanokompozit formda üretilmiştir. Bu yapısal güçlendirme, implantın deformasyona karşı dayanıklılığını artırırken, uzun ömürlü kullanım ve kapsüler kontraktür gibi komplikasyonların önlenmesine katkı sağlar (Foroughani ve ark., 2022). Ayrıca, meme implantlarına entegre edilen nanofiber kaplamalar aracılığıyla, lokal tümör nüksü riskine karşı bölgesel kemoterapi ajanlarının salınımı mümkün hale gelmiştir. Bu tür hedefe yönelik ilaç iletim sistemleri, tümör mikroçevresine spesifik müdahalelere olanak tanıyarak sistemik olan olumsuz durumları azaltmakta ek olarak tedavinin başarı oranını da artırmaktadır (Elsadek ve ark., 2022). Öte yandan, nanorobotik sistemler, ileri nanomalzemeler ve biyoteknolojik yenilikler sayesinde plastik cerrahi alt alanlarından olan çene-yüz rekonstrüksiyonu ve dental implantoloji gibi uygulamalarda da nanoteknoloji oldukça kitik bir potansiyedir (Bhardwaj ve ark., 2014; Ding ve ark., 2020).

• Yara İyileşmesi Süreçlerinde Nanoteknoloji

Son yıllarda nanoteknoloji, yara iyileşme süreçlerinde sağladığı yenilikçi çözümlerle araştırma alanlarının odak noktalarından biri hâline gelmiştir. Özellikle cilt yenilenmesi ve doku onarımı bağlamında, nanoskopik yapılar sayesinde daha etkili tedavi stratejileri geliştirilebilmektedir. Hücre dışı matrise (ECM) yapısal olarak benzerlik gösteren nanofiber sistemler, yara bölgesinde biyolojik bir iskele görevi üstlenerek hücresel proliferasyon ve doku rejenerasyonunu desteklemektedir. Bu nanofiberler, aynı zamanda ilaçlar, proteinler, büyüme faktörleri ve diğer terapötik bileşiklerin dağıtımı için de kullanılabilir (de Almeida ve ark., 2023; Mascarenhas ve ark., 2022).

Yara iyileşmesinin inflamasyon, proliferasyon ve maturasyon aşamalarında; nanopartiküller, miseller, nanoemülsiyonlar ve lipozomlar gibi farklı nanoyapılı taşıyıcı sistemler uygulanmaktadır. Bu yaklaşımlar, yara iyileşmesini çok boyutlu olarak desteklemektedir. Örneğin; sitotoksitenin azaltılması, suda düşük çözünürlüğe sahip ilaçların biyoyararlanımının artırılması, topikal ajanların deriye penetrasyonunun iyileştirilmesi ve çevresel faktörlere (sıcaklık, pH, enzimatik yıkım, ışık) karşı korunma gibi avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, nanoyapılar antimikrobiyal etki sağlayarak enfeksiyon riskini azaltmakta, fibroblast proliferasyonunu uyatarak yeni doku oluşumuna katkıda bulunmakta ve inflamatuvar yanıtı düzenleyerek yara iyileşme süresini kısaltmaktadır. Bu özellikleriyle nanoteknolojik yaklaşımlar, modern yara bakımında umut vadeden bir paradigma değişimini temsil etmektedir (Alberti ve ark., 2017; Chopra ve ark., 2022).

• Yanık ve Travma Yaralarında Nanoteknoloji

Gelişen nanoteknolojik yaklaşımlar, yanık ve travma kaynaklı cilt yaralarının tedavisinde önemli ilerlemelere olanak sağlamıştır (Xiong ve ark., 2023). Bu tür yaraların iyileşme süreçlerini desteklemek amacıyla, tedavinin her aşamasına uygun olarak tasarlanmış farklı özelliklerde pansuman materyalleri geliştirilmiştir (Asadian ve ark., 2022). Üç boyutlu nanofiber iskeleler, hücre dışı matrisi (ECM) biyomimetik biçimde taklit ederek konak dokunun yeniden yapılanmasını teşvik eder (Hama ve ark., 2023). Bu iskele sistemleri, yalnızca hücresel proliferasyonu ve doku yenilenmesini kolaylaştırmakla kalmayıp, aynı zamanda yara bölgesinde optimal iyileşme için gerekli olan mekanik bütünlüğü, sıvı absorpsiyon kapasitesini, gaz değişimini ve sıcaklık regülasyonunu sağlamaktadır (Mariappan, 2019).

Nanofiber tabanlı pansumanlar, bu yönleriyle geleneksel yara bakım ürünlerine kıyasla çok daha fonksiyonel ve biyouyumlu iyileşme ortamları sunmaktadır. Özellikle biyolojik olarak aktif polimerlerden biri olan kitosan, nanofiber tabanlı pansumanlarda kullanılmak üzere yara tedavisi üzerinde olumlu fizyolojik etkiler gösterdiği bilimsel çalışmalarla ortaya konmuş bir bileşendir. Kitosan içeren nanoyapılı pansumanlar, antimikrobiyal, anti-enfeksiyonel aktivite, hemostatik ve biyobozunur özellikleri sayesinde yara yönetiminde ön plana çıkmaktadır ayrıca Kitosan mikrokürelerinin S. Aureus etkenine karşı fazlasıyla dayanıklı bir eki düzeyine sahip olduğu bilinmektedir (Lu ve ark., 2023).

• Cerrahi Onkoloji ve Nanoteknoloji Uygulamaları

Cerrahi, günümüzde birçok kanser türü için hâlen en etkili birincil tedavi yöntemi olma özelliğini sürdürmektedir (Debela ve ark., 2021; O'Donnell ve ark., 2019). Ancak cerrahi uygulamalarda karşılaşılan en önemli güçlüklerden biri, tümörlü dokuların intraoperatif olarak doğru şekilde tanımlanması ve negatif cerrahi sınırlarla eksiksiz olarak çıkarılabilmesidir (Bray ve ark., 2023; Gonfiotti ve ark., 2022). Bu noktada nanoteknoloji, özellikle altın nanopartiküller (AuNP) gibi ajanlar aracılığıyla, cerrahi başarı oranlarını artırma potansiyeline sahiptir. Altın nanopartiküller; “Yüzey Plazmon Rezonansı” (Surface Plasmon Resonance – SPR) ve “Gelişmiş Geçirgenlik ve Tutma” (Enhanced Permeability and Retention – EPR) etkisi gibi benzersiz fiziksel özellikleri sayesinde, tümör hedeflemeli görüntüleme ve tedavi uygulamalarında dikkat çekmektedir. Yaklaşık 10–100 nm boyut aralığında bulunan AuNP’ler, tümör vaskülaritesinden geçerek malign hücrelerde seçici olarak birikebilmektedir. Sağlıklı dokulara kıyasla kanser hücrelerinde daha yoğun şekilde tutulmaları,

onları hem tanı hem de tedavi açısından ideal nanotaşıyıcı sistemler hâline getirmektedir (Park ve ark., 2022; Shinde ve ark., 2022).

Altın nanopartiküller, çeşitli spektroskopik ve optik görüntüleme tekniklerinde kontrast ajanı olarak kullanılmasının yanı sıra; kemoterapötik ilaçların hedefli taşınması, tümör sınırlarının belirginleştirilmesi ve mikrometastazların tespiti gibi işlevlerle de öne çıkmaktadır. Bu sayede cerrahlar, ameliyat sırasında tümör dokusunu sağlıklı dokudan daha net biçimde ayırt edebilmekte ve minimal invaziv biçimde eksizyon gerçekleştirebilmektedir (Yang ve ark., 2022). Ayrıca AuNP'ler, sentinel lenf nodu haritalama ve tümör çevresinin değerlendirilmesi uygulamalarında da önemli bir görüntüleme aracıdır. Tekrarlayan tümör hücreleri ve mikrometastazların saptanmasında yüksek duyarlılık göstermeleri, cerrahlara operasyon sırasında daha güvenli cerrahi sınırlar belirleme imkânı sağlamaktadır. Böylelikle, operasyon sonrası komplikasyonlar ve morbidite oranları da azaltılabilmektedir (Abaszadeh ve ark., 2023).

• **Kalp Cerrahisi ve Nanoteknoloji Uygulamaları**

Nanoteknoloji kalp cerrahisinde, özellikle kalp kapakçığı hastalıkları ve aterosklerotik plakların tanı ve tedavisinde çok daha önemli bir yer tutmaktadır. Kalp kapakçıkları, temel olarak lifli protein yapısında olan kolajenden oluşmakta olup, bu yapı zamanla bozulabilmekte veya işlevini kaybedebilmektedir. Nanoteknoloji destekli biyomalzemeler, bu alandaki rejeneratif ve onarıcı uygulamaları güçlendirme potansiyeline sahiptir (Chopra ve ark., 2022).

Doku mühendisliği ile geliştirilen kalp kapakçıkları (TEHV), hasarlı veya fonksiyonel olmayan doğal kapakçıkların yerini alabilecek biyouyumlu ve biyomekanik olarak uyumlu alternatifler sunmaktadır. Nanomalzemeler, özellikle minyatür altın çubuklar gibi nanoölçekli yapılar, kolajen liflerinin yeniden düzenlenmesinde etkili olup kapakçık dokusunun dayanıklılığını ve esnekliğini artırmaktadır. Bu tür nanoyapıların kullanımı, implantasyon sonrası hücre proliferasyonu, doku bütünlüğü ve mekanik dayanıklılık açısından avantaj sağlamaktadır. Gelişen mikrofabrikasyon teknikleri ve üç boyutlu (3B) biyobaskı ile oluşturulan hidrojel tabanlı iskele sistemleri, fonksiyonel kalp kapakçığı üretiminde umut vadeden stratejiler arasında yer almakta ayrıca büyümeyi teşvik eden steroid yapıları farmakolojik ajanlar kullanılarak hücresel düzeyde kolajen üretimi artırılabilir. Bu da kapakçık dokusunun yeniden yapılanmasını destekleyerek, implantın daha uzun ömürlü ve fonksiyonel olmasını sağlamaktadır (Mariappan, 2019; Williams ve ark., 2019).

Anevrizmaların kontrolü, kanamanın durdurulması ve tıkalı atardamarların tedavisi gibi kritik durumlarda, ilaç taşıyıcı nanomalzemelerin kullanılmasıyla hedefe yönelik uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle lipid bazlı küresel yapılar olan miseller, hedefe yönelik ilaç dağıtımı yönünden oldukça kritik ve önem arzeden taşıyıcı sistemlerden biridir. Bu yapılar, pektinaz gibi enzimlerin yüzeylerine bağlanmasıyla aktif hâle getirilmekte ve damar plağı gibi hedef bölgelerde kontrollü salınım sağlamaktadır. Böylece, ilaç doğrudan patolojik alana ulaştırılmakta ve tüm vücudu etkileyebilecek olumsuz durumlar en aza indirilmektedir. "Nanoburr" olarak adlandırılan özel tasarlanmış nanopartiküller, arter duvarlarında hasarlı veya daralmış bölgelere selektif olarak bağlanarak, burada günler boyunca ilaç salınımı gerçekleştirebilir. Bu uzun süreli ve lokalize tedavi, özellikle kronik damar hastalıklarının yönetiminde etkin bir çözüm sunmaktadır (Mariappan, 2019).

• Vasküler Cerrahi ve Nanoteknoloji Uygulamaları

Nanoteknoloji sayesinde geliştirilen ilaç taşıma sistemleri, vasküler dokuda özgül antijenlere yüksek afinite ile bağlanabilecek şekilde tasarlanabilmektedir. Bu, özellikle lokal vasküler hasarın veya inflamasyonun bulunduğu bölgelerde ilaçların doğrudan etki göstermesini sağlayarak vücudun genelini etkileyen olumsuz durumları azaltır ve tedavi etkinliğini de artırır. Örnek vericek olursak, nitrik oksit (NO) ve koenzim Q10 (CoQ10) gibi biyoaktif moleküller, nanofiber dağıtım sistemleri ile modifiye edilerek, anjiyoplasti sonrası gelişebilecek restenoz riskini azaltmak ve vasküler tonüsü düzenleyerek kan basıncı regülasyonunu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Hajipour ve ark., 2019).

Vasküler cerrahide kullanılan stent ve greftler de nanoteknolojiden faydalanılarak geliştirilmektedir. Örneğin, elmas benzeri karbon (DLC) kaplamaya sahip koroner arter stentleri, biyouyumluluğu artırmakta ve trombosit aktivasyonunu azaltarak restenoz riskini düşürmektedir. Bu tür kaplamalar, aynı zamanda mekanik dayanıklılığı artırarak stentin ömrünü uzatmaktadır (Endo ve ark., 2005).

• Göz Cerrahisi ve Nanoteknoloji Uygulamaları

Nanoteknoloji, oftalmoloji alanında tanı, tedavi ve rejeneratif tıp uygulamalarında yenilikçi yaklaşımlar sunarak göz hastalıklarının oldukça etkili bir şekilde yönetilmesine ışık tutmaktadır. Katarakt ve diğer görme bozukluklarının oluşumunda temel etkenlerden biri reaktif oksijen türleri (ROS) ve buna bağlı gelişen oksidatif stres mekanizmalarıdır. Katarakt gelişiminde oksidasyon, lens proteinlerinin yapısal bozulmasına yol açarak lensin opaklaşmasına neden olur (Ahmad & Ahsan, 2020).

Gözün anatomik olarak yüzeysel ve kolay ulaşılabilir olması, nanomalzemelerin etkin kullanımına olanak sağlamaktadır. Nanomalzemeler, yüksek yüzey alan/hacim oranları sayesinde antioksidan ajanların etkili bir biçimde taşınmasına ve hedef dokuya ulaştırılmasına olanak tanır. Bu özellikleri, çeşitli göz rahatsızlıklarında kullanım olanağı sağlamaktadır örneğin; glokom yönetimi, koroidal teragnostik, postoperatif skar oluşumunun önlenmesi, retinal dejenerasyon tedavisi, oksidaif stres, gen tedavisi, oküler protez ve rejeneratif nanotıp gibi (Li ve ark., 2023; Onugwu ve ark., 2023).

Geleneksel yapay gözyaşı formülasyonlarında sıkça kullanılan petrolatum ve lanolin gibi bileşenler, polimer tabanlı yapıları sayesinde nemlendirici özellik göstermelerine rağmen, oftalmik uygulamalarda bazı advers etkilere yol açabilmektedir. Özellikle kuru göz tedavisinde kullanıldıklarında, bu maddelerin gözde kızarıklık, kaşıntı ve irritasyona neden olabileceği bildirilmiştir. Bu sorunun üstesinden gelmek amacıyla, petrolatum ve lanolin sıvı lipit formunda orta zincirli trigliseritlerle (MCT) işlenmiş ve polivinil pirolidon (PVP) çözeltisiyle birleştirilerek nanometre boyutunda homojen olarak dağılmış bir göz merhemi geliştirilmiştir (Sharma ve ark., 2023).

Bu yeni formülasyon, ölçeşiz dağılmış göz merhemi (NDEO – Non-Dimensionally Emulsified Ophthalmic ointment) olarak adlandırılmaktadır. NDEO'nun in vitro çalışmalarla değerlendirilen biyoyuymululuk düzeyinin, insan kornea epiteline herhangi bir zararlı etki göstermediği belirlenmiştir. Ayrıca bu formülasyonun, kornea ve konjonktiva dokularının doğal morfolojisinin yeniden kazanılmasında etkili olduğu bildirilmiştir. Bu özellikleriyle NDEO, modern oftalmik prosedürlerde etkili ve güvenli bir müdahale olarak görülmektedir (Natesan ve ark., 2020; Omerović & Vranić, 2020; Thacker ve ark., 2023).

• Göğüs Cerrahisi ve Nanoteknoloji Uygulamaları

Nanoteknolojinin onkolojik tedavi ve tanı süreçlerinde sunduğu olanaklar oldukça geniştir; özellikle torasik onkoloji, prognozun genellikle kötü olması nedeniyle bu teknolojiye fayda sağlama potansiyeline sahip önemli bir alandır (Hofferberth ve ark., 2016). Nanopartiküller, sadece kemoterapötik ajanların hedefe yönelik taşıyıcı sistemleri olarak değil, aynı zamanda torasik tümörlerin ve ilgili lenfatik yapıların görüntülenmesi, cerrahi öncesi değerlendirilmesi ve operasyon sırasında lokalizasyonunun kolaylaştırılması amacıyla da kullanılmaktadır. Nanoteranostik uygulamalar yani tanı ve tedaviyi bir arada sunan nano-temelli sistemler kontrollü ilaç salınımı, artırılmış tümör hedefleme ve terapötik etkinliğin izlenmesi gibi avantajlarıyla torasik malignitelerin yönetiminde umut vaat etmektedir. Bu alandaki araştırmalar, nanoteknolojinin

hem tanı koyulması hem de tedavinin sağlanması süreçlerinde daha entegre ve etkili bir yaklaşım sunabileceğini ortaya koymaktadır (Digesu ve ark., 2016).

- **Minimal İnvaziv Cerrahide Kateter Uygulamaları ve Nanoteknoloji**

Minimal invaziv cerrahi girişimlerde yaygın olarak kullanılan kateterler; ilaç enjeksiyonu, sıvı drenajı veya vücut kanallarının açıklığını sürdürme gibi amaçlarla vücut boşluklarına yerleştirilen önemli tıbbi cihazlardır. Ancak bu cihazların kullanımında karşılaşılan temel sorunlardan biri, kateter yüzeyinde trombüs (pıhtı) oluşumudur. Bu durum hem tedavi etkinliğini azaltmakta hem de ciddi klinik komplikasyonlara yol açabilmektedir. Son yıllarda geliştirilen nanoteknoloji tabanlı yaklaşımlar, bu probleme yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır. Özellikle karbon nanotüpler (CNT) gibi nanomalzemelerin kateter yapılarına entegre edilmesi, cihazın mekanik dayanıklılığını ve esnekliğini artırmakta; aynı zamanda trombojenik potansiyeli azaltmaktadır. Karbon nanotüplerin yüksek yüzey topografisi ve elektrostatik özellikleri sayesinde, trombüs oluşumunu engelleyici antitrombotik bir mikroçevre oluşturduğu düşünülmektedir (Roe ve ark., 2008).

Buna ek olarak, kateter yüzeylerinin gümüş nanopartiküllerle (AgNP) kaplanması, antibakteriyel bir bariyer oluşturarak biyofilm gelişimini engellemekte ve enfeksiyon riskini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu tür yüzey modifikasyonları, özellikle uzun süreli kateter kullanımının gerekli olduğu durumlarda, enfeksiyon ve pıhtılaşma gibi komplikasyonların önlenmesinde büyük önem taşımaktadır (LewisOscar ve ark., 2021).

- **Nano-Cerrahi ve Lazer Cerrahisinde Nanoteknoloji:** Son yıllarda nanoteknolojide kaydedilen ilerlemeler, cerrahi tekniklerin hassasiyetini artırmak amacıyla daha gelişmiş ve hedefe yönelik yöntemlerin uygulanmasını mümkün kılmıştır. Bu yeniliklerden biri, nanometre ölçeğinde gerçekleştirilen lazer cerrahisidir. Özellikle femtosaniye lazer darbeleri, bir saniyenin milyarda birinin milyonda biri süresinde gerçekleşen son derece kısa ışık atımlarıyla hücresel düzeyde hassas müdahalelere olanak sağlamaktadır. Bu sayede, hücre içindeki belirli organeller veya yapısal bileşenler, çevredeki dokulara zarar verilmeden seçici biçimde hedeflenip ayrılabilir. Bu yüksek düzeyde kontrol, özellikle oftalmolojik cerrahide kullanılan minimal invaziv girişimler açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Takács ve ark., 2012).

Nanoteknolojinin bir diğer dikkat çekici uygulama alanı ise kriyocerrahi yöntemlerinin yeniden yapılandırılmasıyla geliştirilen “nano-kriyocerrahi” yaklaşımıdır. Bu yöntemde, yüksek ısı iletkenliğine sahip nanopartiküller doğrudan tümör dokusuna veya çevresine yerleştirilerek bölgesel donma

oluşturulmakta ve kanser hücrelerinin seçici olarak tahrip edilmesi amaçlanmaktadır. Düşük sıcaklıklarda etkin biçimde çalışan bu nanopartiküller, hücre zarının bütünlüğünü bozarak hücresel ölümü tetiklemektedir. Henüz deneysel aşamada olmakla birlikte, nano-kriyocerrahi ileri evre tümörlerin tedavisinde gelecek vadeden bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Di ve ark., 2012).

- **Hemostaz ve Nanoteknoloji**

Cerrahi girişimler sırasında hızlı ve etkili kanama kontrolü, hasta güvenliği ve cerrahi başarının temel bileşenlerinden biridir. Son yıllarda hemostatik ajanların etkinliğini artırmak amacıyla nanoteknoloji tabanlı çözümler geliştirilmektedir. Bu bağlamda, kendi kendini düzenleyen peptitler kullanılarak oluşturulan nanofiber bariyer sistemleri öne çıkmaktadır. Söz konusu peptit yapılar, açık yara bölgelerine uygulandığında, nanoölçekte jel benzeri koruyucu bir bariyer oluşturarak kanamanın kontrol altına alınmasını desteklemektedir. Bu nanobariyer, sadece kanamayı durdurmaz; aynı zamanda biyouyumlu ve toksik özelliğe sahip olmayan yapısı sayesinde iyileşme süreci tamamlandığında vücut tarafından doğal yollarla parçalanır. Elde edilen moleküler bileşenler, doku rejenerasyonu sürecinde hücresel yapıların yeniden oluşumuna katkı sağlayabilir. Bu yenilikçi yaklaşım, özellikle travmatik yaralanmalarda ve acil cerrahi uygulamalarda potansiyel bir devrim niteliği taşımakta olup, cerrahi pratiğin tüm alanlarında önemli iyileştirmelere zemin hazırlamaktadır (Ellis-Behnke ve ark., 2006).

- **Cerrahi Bıçaklar ve Nanoteknoloji: Nanokaplamalı Cerrahi Aletler**

Günümüzde cerrahi uygulamalarda nanoteknoloji, cerrahi hassasiyetin artırılması ve dokuya verilen hasarın azaltılması açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Nanoskala düzeyinde geliştirilen yeni cerrahi aletler, cerrahların hücresel seviyede müdahalelerde bulunabilmesine ve ameliyat süreçlerini yüksek çözünürlükte izleyebilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle nörocerrahi alanında, nanoteknolojiyle desteklenen cerrahi ekipmanlar minimal invaziv yaklaşımlar aracılığıyla hastaya yönelik travmayı azaltmakta ve iyileşme süresini kısaltmaktadır. Bu bağlamda, cerrahi bıçakların performansını artırmak amacıyla mikro yapılandırılmış sert metal yüzeylerin elmas nanokatmanlarla kaplanması dikkat çeken yeniliklerden biridir. Elmas kaplamalar, sahip oldukları kimyasal ve biyolojik inertlik sayesinde dokulara ve yabancı maddelere minimum yapışma göstermekte; bu da daha temiz kesim, daha az doku hasarı ve daha düşük enfeksiyon riski anlamına gelmektedir. Ayrıca elmasın yüksek sertlik

ve aşınma direnci özellikleri, cerrahi bıçakların hem kullanım ömrünü hem de kesme etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Ojha ve ark., 2022).

Yeni üretim teknikleri sayesinde, 5 nanometre ile 1 mikrometre arasında değişen ultra ince ve son derece keskin uçlara sahip cerrahi bıçaklar geliştirilebilmektedir. Özellikle oftalmoloji, nörocerrahi ve minimal invaziv cerrahi alanlarında, yalnızca birkaç atom kalınlığında (yaklaşık 3 nm) elmas kaplı neşterler üretilmiştir. Bu neşterler, geleneksel metal bıçaklara kıyasla yaklaşık binde bir genişliğe sahip olup, mikrocerrahi uygulamalarında yüksek düzeyde hassasiyet ve kontrol sağlamaktadır. Nanokaplamalı cerrahi bıçakların kullanımının yaygınlaşması, cerrahi tekniklerde önemli bir dönüşüm potansiyeli taşımakta; daha az komplikasyon, daha hızlı iyileşme ve artan hasta konforu gibi klinik avantajlar sunmaktadır (Mali, 2013; Roszek ve ark., 2005).

• **Dikiş İğneleri, Dikişler ve Nanoteknoloji**

Cerrahi enfeksiyonların önlenmesi ve yara iyileşmesinin desteklenmesi amacıyla nanoteknoloji temelli yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmiştir. Özellikle dikişlerde gümüş nanoparçacık kaplamalarının kullanımı, antibakteriyel etkisi sayesinde enfeksiyon riskini önemli ölçüde azaltmaktadır. Gümüş nanopartiküllerin yüzeydeki varlığı, bakteriyel biyofilm oluşumunu engelleyerek cerrahi alanın steril kalmasına yardımcı olur (Ali ve ark., 2023).

Yaralı dokuların onarımında ve kanamanın kontrolünde ise Stöber yöntemiyle sentezlenen mezogözenekli silika nanopartikülleri veya demir oksit içeren sulu nanopartikül çözeltileri dikişlerde kullanılmaktadır. Bu nanopartiküller, dokular arasında nano köprüleme yaparak mekanik bütünlüğü artırır ve doku rejenerasyonunu destekler (Friedrich ve ark., 2021; Sivamaruthi ve ark., 2023).

Ayrıca, ameliyat sonrası ağrının etkin biçimde yönetilebilmesi amacıyla, ilaç salımı yapabilen nanoteknolojik dikiş materyalleri geliştirilmiştir. Elektro-eğirme (electrospinning) yöntemiyle üretilen bu dikişler, bupivakain içeren veya içermeyen yapılarda tasarlanabilmekte ve cerrahi bölgeye kademeli ilaç salımı gerçekleştirerek lokal analjezik etki sağlamaktadır (Arora ve ark., 2019). Bunun yanı sıra, aseklofenak veya insülin gibi farklı ajanların kontrollü salınımını mümkün kılan nanoteknolojik dikişler de yara iyileşmesini desteklemektedir. İnsülin, hücre göçünü artırarak doku rejenerasyonuna katkı sağlarken; aseklofenak, epidermal hiperplazi ve tahrişin önlenmesine yardımcı olarak komplikasyon riskini azaltmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, nanoteknoloji ile geliştirilen dikiş materyalleri; enfeksiyon riskinin azaltılması, ağrı kontrolünün iyileştirilmesi ve yara iyileşme sürecinin hızlandırılması gibi

cerrahi sonuçlar üzerinde önemli olumlu etkiler sunmaktadır (Anup ve ark., 2021; Xu ve ark., 2022).

- **Nanorobotlar ve Cerrahi Uygulamaları**

Nanobiyoteknolojinin gelişimiyle birlikte, cerrahide nanorobotların kullanımı yeni bir çağır açmıştır. Nanorobotlar, vasküler sistem veya kateterler aracılığıyla vücuda enjekte edilebilen, mikroskobik boyutlarda cihazlardır. Bu minyatür robotlar, cerrahın dışarıdan yönlendirmesi ve kontrolü altında, geleneksel cerrahi tekniklerle mümkün olmayan son derece hassas hücre içi işlemleri gerçekleştirebilirler (Giri ve ark., 2021).

Nanorobotların vücut içindeki etkinliği, bağışıklık sisteminin onları tanıyıp yok etmesini engelleyen, ultra-pürüzsüz yüzey kaplamaları sayesinde artırılmıştır. Bu sayede, bağışıklık tepkisi minimize edilir ve nanorobotlar engelsiz biçimde görev yapabilirler. İtici güç kaynağı olarak, oksijen, glikoz veya diğer doğal vücut şekerleri kullanılabilir. Ayrıca, görevlerine uygun olarak biyokimyasal veya moleküler bileşenler taşıyabilirler (Joy ve ark., 2021; Oral & Pumera, 2023). Cerrahi alanında nanorobotlar, özellikle kötü huylu tümörlerin görüntülenmesinde ve çıkarılmasında önemli avantajlar sağlar. Nanopartiküllerle donatılan nanorobotlar, tümör hücrelerini görünür hale getirerek cerrahların tam tümör rezeksiyonu yapmasını kolaylaştırır; ayrıca metastazların cerrahi sırasında tespit edilmesine de olanak tanır (Rifat ve ark., 2019).

Nanorobotlar, sadece cerrahi müdahalelerde değil, vücut içi sensörler olarak da görev yapabilir. Mikropları erken aşamada tespit edip yok ederek, hastalıkların semptom göstermeden önce müdahale edilmesine imkân sağlarlar. Kanser hücrelerinin ve aterosklerotik plakların ortadan kaldırılması, hasarlı dokuların onarımı, moleküler düzeyde vücut fonksiyonlarının izlenmesi gibi uygulamalar nanorobotların potansiyel kullanım alanları arasındadır. Sonuç olarak, nanorobotik teknolojiler hem tanı hem de tedavi alanlarında yeni olanaklar sunmakta ve modern tıbbın geleceğine yön verebilecek potansiyele sahip yenilikçi araçlar olarak değerlendirilmektedir (Ozaydin ve ark., 2022).

- **Görüntüleme Yöntemleri ve Nanoteknolojik Uygulamalar**

Geleneksel medikal görüntüleme tekniklerinde, hastalıklı dokuların tespit edilmesi amacıyla çeşitli kontrast ajanları kullanılır. Ancak bu yöntemlerin çözünürlük ve hedefleme kapasitesi sınırlıdır. Nanoteknolojinin gelişimiyle birlikte, görüntüleme sistemlerinin doğruluğu ve hassasiyeti önemli ölçüde artırılmış, hastalıkların tek hücre düzeyinde bile tanımlanabilmesi mümkün hale gelmiştir (Augustine ve ark., 2021).

Nanoparçacıkların yüksek yüzey alanı ve işlevselleştirilebilir yapıları, çok modlu (multimodal) görüntüleme yaklaşımlarının geliştirilmesini kolaylaştırmıştır. Bu yaklaşımlar sayesinde hem anatomik hem de fonksiyonel bilgilerin aynı anda elde edilmesi sağlanarak teşhis sürecinin doğruluğu artırılmaktadır (Orooji ve ark., 2020). Süperparamanyetik demir oksit nanoparçacıkları (SPIO), hücresel düzeyde görüntüleme ve hedeflenmiş ilaç taşıma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan nanoteknolojik ajanlardır (Hsu ve ark., 2019; Tada & Yang, 2019). Özellikle tümör anjiyogenezinin görüntülenmesi ile birlikte ateroskleroz ve kanser gibi hastalıkların tanısında kuantum noktaları ve mikro kabarcıklar gibi diğer kontrast ajanlarıyla birlikte işlev görmektedirler. SPIO nanoparçacıkları, tanı, tedavi ve hastalık takibini bütüncül bir yaklaşımla bir araya getiren yenilikçi platformlar arasında yer almaktadır. Bu nanoparçacıklar, harici bir alternatif manyetik alanla etkileşime girdiklerinde lokal ısı üretimini tetikleyerek manyetik hipertermi temelli tedavilere olanak sağlar. Ayrıca, SPIO ile işaretlenmiş makrofajların inflamasyon bölgelerine göçü, kök hücrelerin canlılığının dolaylı takibi için potansiyel bir biyobelirteç işlevi görebilir (Hughes, 2005).

➤ Nanoteknolojinin Etik ve Güvenlik Boyutları

Son dönem araştırmalar, nanomalzemelerin hava, su, toprak, bitkiler ve insan organizması dahil olmak üzere çok çeşitli çevresel ve biyolojik ortamlarda birikim gösterebildiğini ortaya koymuştur. Bu görünür olmayan partiküller, çevreye salındıktan sonra uzun süre havada ya da suda asılı kalabilir; üretim, taşımacılık, elleçleme, kullanım, bertaraf ve geri dönüşüm süreçlerinde önemli sağlık ve çevre riskleri yaratabilir. Nanomalzemelere maruz kalma, çeşitli ciddi sağlık sorunları ile ilişkilendirilmektedir. Özellikle astım, bronşit, akciğer ve karaciğer kanserleri, Parkinson ve Alzheimer hastalıkları, kalp-damar hastalıkları, Crohn hastalığı, kolon kanseri ve doğumsal anomaliler gibi rahatsızlıklar, nanomalzeme kaynaklı toksisite ile bağlantılı olabilmektedir (Asmatulu, 2011; Asmatulu ve ark., 2013). Bu toksisite düzeyi, nanoparçacıkların yüzey özellikleri (yük, şekil, yüzey alanı, parçacık boyutu, elektriksel potansiyel, kimyasal reaktivite vb.) ile doğrudan ilişkilidir (Medici ve ark., 2021; Niroumand ve ark., 2023). Söz konusu özellikler, nanoparçacıkların biyolojik sistemlerle etkileşimini ve organizmada ne şekilde davrandıklarını (hareketlilik, biyoyumumluluk veya bağışıklık sistemi yanıtı) belirlemede önemli rol oynar. Örneğin, daha büyük yüzey alanına sahip nanoparçacıkların hücreler üzerinde daha zararlı etkilere neden olabileceği saptanmıştır. Bu partiküllerin hücrelerle elektrostatik etkileşimleri, özellikle merkezi sinir sistemi, beyin, kemik iliği, dalak, lenf düğümleri ve kalp gibi hayati organlara ulaşma potansiyelini

artırmakta; bu durum da olası biyolojik hasarlar konusunda ciddi kaygılara neden olmaktadır (Kiio ve Park, 2021; Oberdörster ve ark., 2005; Sourı ve ark., 2022).

Günümüzde çeşitli tekniklerle geliştirilen yeni nesil nanomalzemeler, küresel ölçekte etik, güvenlik ve yasal belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Nanoetik adı verilen disiplin, nanoteknolojinin kullanımında şeffaflık, toplumsal sorumluluk, sınırlama ve düzenleme gibi ilkeleri merkeze alan bir yaklaşımı temsil eder. Bu bağlamda, özellikle tüketici ürünlerinde nanomalzemelerin kullanımına geçilmeden önce potansiyel risklerin değerlendirilmesi ve kamuoyundaki endişelerin azaltılması gerekmektedir (Pawar ve ark., 2021; Van ve ark., 2021).

İş yerlerinde nanoteknoloji ile çalışan bireylerin maruz kalabilecekleri riskler konusunda yeterli bilgiye sahip olmamaları, etik açıdan önemli bir sorunu gündeme getirmektedir. Bu durum, iş sağlığı ve güvenliği politikalarının gözden geçirilmesini ve risk analizlerinin önceden yapılmasını zorunlu kılar. Ayrıca toplumun nanoteknolojinin potansiyel yararları kadar, olası riskleri ve alınması gereken önlemler hakkında da doğru bilgilendirilmesi gerekmektedir. Kamuoyunun bilinçli kararlar verebilmesi için şeffaf ve katılımcı tartışma ortamları oluşturulmalı; bilim insanları bu süreçte bilgilendirme, eğitim ve toplumsal iletişim açısından aktif rol oynamalıdır (Hussain & Costa, 2022; Mazari ve ark., 2021).

➤ Nanoteknolojinin Geleceği ve Cerrahi Hemşireliğine Etkileri

Nanoteknoloji, özellikle tıp alanında sağladığı yenilikçi çözümler aracılığıyla sağlık hizmetlerinin geleceğini dönüştürme potansiyeline sahiptir (Sahu, 2021). Güncel araştırmalar, tedavi edici ajanların yalnızca hastalıklı hücre veya dokulara yönlendirilmesini mümkün kılan nanoskala ilaç taşıma sistemlerinin geliştirilmesine yoğunlaşmaktadır. Bu stratejiler, sistemik yan etkileri minimuma indirirken tedavi etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Kemp & Kwon, 2021; Sim & Wong, 2021; Sindhwani & Chan, 2021). Kanser tedavisinde ise nanoteknoloji, tümör hücrelerini hedef alarak sağlıklı dokulara zarar vermeden yok etmeye olanak tanımakta ve mevcut tedavi protokollerine kıyasla daha güvenli ve etkili bir yaklaşım sunmaktadır (Sindhwani & Chan, 2021).

Cerrahi hemşireleri; ileri evre kanser hastalarında cerrahi müdahale sürecinin kondaendike olduğu durumlarda kemoterapi ve radyoterapinin olası komplikasyonlarının azaltılmasında nanoskala ile ilaç verme sistemleri ile ilgili hasta ve hasta yakınlarını bilgilendirmeli onların sürece aktif katılımlarını sağlamalıdır. Özellikle cerrahi uygulamalara Nanoteknolojinin entegrasyonu sağlanarak; hastada daha az stres, daha az travma, daha küçük skar dokusu, daha

az ameliyat sonrası ağrı ve erken ayağa kalkma sağlanabilir. Nanomalzemelerin ortopedik cerrahide kullanılması ile implantların ömrünü uzatılabilir, yalıtım sağlanarak aşınma, korozyon vb. durumlar önlenabilir, osteokondral defektler, menisküs onarımı ve rejenerasyon desteklenebilir, enfeksiyonları önlenabilir ve rejeneratif tıp için kök hücreleri kullanımına olanak sağlanabilir. Plastik cerrahide; silikon yapıya sahip olan meme implantlarının kauçuk kompozit kabuğu ile güçlendirilmesiyle mastektomi ile ilişkili meme büyütme ve rekonstrüksiyon ameliyatlarında kullanılan meme implantları, bozulmayacak kadar dayanıklı bir yapıda olabilirler, kapsüler kontraktür gelişimini önleyebilecek ve uzun ömürlü olacak kadar deformasyona güçlü durabilirler. Cerrahi hemşiresi; iyileşmiş hasta sonuçları ve yaşam kalitesinin artırılması açısından hasta ve yakınlarını bu süreç hakkında bilgilendirilmeli, sürece aktif katılım sağlamalıdır (di Pompeo ve ark., 2023, Foroushani ve ark., 2022).

Cerrahi süreçte yara iyileşmesinin çeşitli aşamalarında, nanopartiküller, miseller, nanoemülsiyonlar ve lipozomlar dahil olmak üzere iyileşmeyi artırmak için çeşitli nanoyapılı ilaç dağıtım sistemlerinin kullanılması yaygınlaştırılmalıdır. Bu nanoölçekli dağıtım sistemlerinin; ilaçların sitotoksitesinin azaltılması, suda az çözünen ilaçların uygulanması, deriye daha iyi nüfuz etme, kontrollü salım özellikleri, antimikrobiyal aktivite, ilaçların ışığa, sıcaklığa, enzimlere veya pH bozulmasına karşı korunması, fibroblast çoğalmasının uyarılması ve inflamasyonun azaltılması gibi etkileri bulunmaktadır. Cerrahi hemşiresi yara iyileşmesi sürecini olumlu yönde desteklemede ve olası komplikasyonların önlenmesinde; yaranın mevcut durumuna uygun, biyouyumlu ve biyobozunur özellikte, antimikrobiyal, yara bölgesine bariyer sağlayıcı niteliğe sahip, yapışkanlığı az olan, ısı ve nem tutucu, kötü kokuya neden olmayan, modern yara örtülerinin kullanılması ve bu örtülerin doğru kullanımı konusunda hasta ve hasta yakınlarına iş birliği içinde olmalıdır (Afshar ve ark., 2024; Alberti ve ark., 2017; Chopra ve ark., 2022).

Kardiyovasküler cerrahi operasyonlarda; hatalı kalp kapakçıklarının ve atardamar plaklarının tanımlanması ve tedavisi süreçlerinde nanoteknolojinin kullanımından faydalanabilir. Anevrizmaları tedavisi ve kanamanın kontrol altına alınabilmesi için, içine ilaç yerleştirilmiş nanomalzemeler kullanılarak cerrahi müdahale süreci kısaltılabilir, komplikasyonların oranı azaltılabilir ve hastanın erken mobilizasyon süreci desteklenebilir (Chopra ve ark., 2022).

Cerrahi müdahale sırasında cerrahi ekip tarafından mikro yapılandırılmış elmas ile kaplanan cerrahi bıçaklar ve gümüş nano kaplama dikişlerin kullanımı desteklenmelidir bu sayede dokulara minimum fiziksel yapışma, kanamanın güvenli bir şekilde durdurulması ve yaralı dokuları onarımı sağlanabilir konuyla

ilgili hastane iletişim sağlanmalıdır. Nanoteknolojinin güvenli bir şekilde geliştirilmesini ve dağıtımını sağlamak için araştırmacılar nanopartiküler yapıların insanlara ve çevreye olan etkisini aktif olarak araştırmaktadır (Shafique & Luo, 2019). Olabilecek tehlikeli durumların azaltılmak veya ortadan kaldırılmak, nanoteknolojinin avantajlarından yararlanmak için güçlü yasalar ve standartlar geliştirilmeli ve bu yasalar kamoyuna açık, anlaşılır ve etkin bir şekilde sunulmalıdır (Von Hohendorff ve ark., 2021).

Nanotoksikoloji, nanofabrikasyon, kuantum nanobilimi ve biyonanoteknoloji gibi çeşitli araştırma konuları, nanoteknolojinin gelecekteki büyümesi için çok önemlidir. Bunlar nanoteknolojinin geleceğinin yalnızca birkaç potansiyel unsurudur. Araştırmalar ilerledikçe ve keşifler keşfedildikçe, hayatlarımızı iyileştirip dünyayı etkiledikçe çok sayıda disiplinde daha fazla atılım ve uygulama bekleyebiliriz (Liu ve ark., 2022).

Sonuç

Nanoteknoloji, sağlık bilimlerinde ve özellikle cerrahi uygulamalarda köklü değişimlerin öncüsü olarak görülmektedir. İlaç taşıma sistemlerinden akıllı biyomalzemelere, hedefe yönelik tedavi yöntemlerinden görüntüleme teknolojilerine kadar uzanan geniş kullanım alanı, bu teknolojinin disiplinler arası etkisini açıkça göstermektedir. Cerrahi hemşireliği açısından nanoteknoloji yalnızca tanı ve tedavi süreçlerini geliştirmekle kalmamakta; hasta eğitimi, ameliyat öncesi hazırlık, operasyon sırasındaki destek, ameliyat sonrası bakım, yara iyileşmesi ve komplikasyonların önlenmesi gibi pek çok bakım aşamasında da önemli katkılar sunmaktadır.

Bu gelişmeler, minimal invaziv cerrahi yaklaşımların yaygınlaşmasına, hasta güvenliği ve konforunun artmasına, iyileşme süresinin kısalmasına ve yaşam kalitesinin yükselmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, nanoteknolojik uygulamaların hızla ilerlemesi; güvenlik, toksikoloji ve etik boyutlarda yeni sorumlulukları da beraberinde getirmektedir.

Gelecekte, cerrahi hemşireliğinde nanoteknolojinin etkili biçimde kullanılabilmesi; hemşirelerin bu alandaki bilimsel bilgi ve teknik becerilerini güncel tutmalarına, etik ilkelere bağlı kalarak hasta güvenliğini incelemelerine ve yenilikçi teknolojileri bakım süreçlerine entegre edebilmelerine bağlı olacaktır. Böylelikle, kanıta dayalı, hasta merkezli ve yüksek teknolojiyle desteklenen bir cerrahi hemşireliği anlayışının gelişmesi mümkün hale gelecektir.

Kaynaklar

- Abaszadeh, F., Ashoub, M. H., Khajouie, G., & Amiri, M. (2023). Nanotechnology development in surgical applications: recent trends and developments. *European Journal of Medical Research*, 28(1), 537. <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01429-4>
- Abaszadeh, F., Eslami, J., & Bazrafcan, L. (2020). Knowledge, attitude, and performance of operating room personnel about occupational exposure to blood-borne infections. *Journal of Advanced Pharmaceutical Education & Research*, 10(S1), 157–161.
- Abdollahiyan, P., Oroojalian, F., & Mokhtarzadeh, A. (2021). The triad of nanotechnology, cell signalling, and scaffold implantation for the successful repair of damaged organs: An overview on soft-tissue engineering. *Journal of Controlled Release: Official Journal of the Controlled Release Society*, 332, 460–492. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.02.036>
- Afshar, M., Rezaei, A., Eghbali, S., Nasirizadeh, S., Alemzadeh, E., Alemzadeh, E., Shadi, M., & Sedighi, M. (2024). Nanomaterial strategies in wound healing: A comprehensive review of nanoparticles, nanofibres and nanosheets. *International Wound Journal*, 21(7), e14953. <https://doi.org/10.1111/iwj.14953>
- Ahmad, A., & Ahsan, H. (2020). Biomarkers of inflammation and oxidative stress in ophthalmic disorders. *Journal of Immunoassay & Immunochemistry*, 41(3), 257–271. <https://doi.org/10.1080/15321819.2020.1726774>
- Akduman, C. (2021). Cellulose acetate and polyvinylidene fluoride nanofiber mats for N95 respirators. *Journal of Industrial Textiles*, 50(8), 1239-1261. <https://doi.org/10.1177/152808371985876>
- Al Thaher, Y., Perni, S., & Prokopovich, P. (2017). Nano-carrier based drug delivery systems for sustained antimicrobial agent release from orthopaedic cementous material. *Advances in Colloid and Interface Science*, 249, 234–247. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.04.017>
- Alberti, T., Coelho, D. S., Voytena, A., Pitz, H., de Pra, M., Mazzarino, L., Kuhnen, S., Ribeiro-do-Valle, R. M., Maraschin, M., & Veleirinho, B. (2017). Nanotechnology: A promising tool towards wound healing. *Current Pharmaceutical Design*, 23(24), 3515–3528. <https://doi.org/10.2174/1381612823666170503152550>
- Ali, A., Petru, M., Azeem, M., Noman, T., Masin, I., Amor, N., ... & Tomková, B. (2023). A comparative performance of antibacterial effectiveness of copper and silver coated textiles. *Journal of Industrial Textiles*, 53, 15280837221134990. <https://doi.org/10.3390/cimb47060472>

- Amirtharaj Mosas, K. K., Chandrasekar, A. R., Dasan, A., Pakseresht, A., & Galusek, D. (2022). Recent advancements in materials and coatings for biomedical implants. *Gels* (Basel, Switzerland), 8(5), 323. <https://doi.org/10.3390/gels8050323>
- Anup, N., Chavan, T., Chavan, S., Polaka, S., Kalyane, D., Abed, S. N., Venugopala, K. N., Kalia, K., & Tekade, R. K. (2021). Reinforced electrospun nanofiber composites for drug delivery applications. *Journal of Biomedical Materials Research. Part A*, 109(10), 2036–2064. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.37187>
- Arora, A., Aggarwal, G., Chander, J., Maman, P., & Nagpal, M. (2019). Drug eluting sutures: A recent update. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 9(7), 111-123.
- Asadian, E., Masoudifar, R., Pouyanfar, N., & Ghorbani-Bidkorbeh, F. (2022). Nanotechnology-based therapies for skin wound regeneration. In *Emerging Nanomaterials and Nano-Based Drug Delivery Approaches to Combat Antimicrobial Resistance* (pp. 485-530). Elsevier.
- Asmatulu, R. (2011). Toxicity of nanomaterials and recent developments in lung disease. *Chapter, 6*, 95-108. InTech. <https://doi.org/10.5772/16670>
- Asmatulu, R., Zhang, B., & Asmatulu, E. (2013). Safety and ethics of nanotechnology. In *Nanotechnology Safety* (pp. 31–41). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59438-9.00003-5>
- Ataide, J. A., Zanchetta, B., Santos, É. M., Fava, A. L. M., Alves, T. F. R., Cefali, L. C., Chaud, M. V., Oliveira-Nascimento, L., Souto, E. B., & Mazzola, P. G. (2022). Nanotechnology-based dressings for wound management. *Pharmaceuticals* (Basel, Switzerland), 15(10), 1286. <https://doi.org/10.3390/ph15101286>
- Augustine, R., Mamun, A. A., Hasan, A., Salam, S. A., Chandrasekaran, R., Ahmed, R., & Thakor, A. S. (2021). Imaging cancer cells with nanostructures: Prospects of nanotechnology driven non-invasive cancer diagnosis. *Advances in Colloid and Interface Science*, 294, 102457. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102457>
- Ayre, W. N., Birchall, J. C., Evans, S. L., & Denyer, S. P. (2016). A novel liposomal drug delivery system for PMMA bone cements. *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*, 104(8), 1510–1524. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.33488>
- Barman, J., Tirkey, A., Batra, S., Paul, A. A., Panda, K., Deka, R., & Babu, P. J. (2022). The role of nanotechnology based wearable electronic textiles in biomedical and healthcare applications. *Materials Today Communications*, 32, 104055. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104055>

- Beyhan, B., & Pamukçu, M. T. (2011). *Nanotechnology research in Turkey: A university-driven achievement*. STPS Working Papers, 1107. STPS - Science and Technology Policy Studies Center, Middle East Technical University.
- Bhardwaj, A., Bhardwaj, A., Misuriya, A., Maroli, S., Manjula, S., & Singh, A. K. (2014). Nanotechnology in dentistry: present and future. *Journal of International Oral Health: JIOH*, 6(1), 121–126.
- Bhushan, B. (Ed.). (2017). *Springer handbook of nanotechnology* (4th ed.). Springer.
- Bistolfi, A., Giustra, F., Bosco, F., Sabatini, L., Aprato, A., Bracco, P., & Bellare, A. (2021). Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) for hip and knee arthroplasty: The present and the future. *Journal of Orthopaedics*, 25, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2021.04.004>
- Bodur, G. (2020). Internet of things (IoT) in healthcare: are we ready for the future? *Archives of Health Science and Research*, 7(1), 75-81. <https://doi.org/10.5152/ArcHealthSciRes.2020.550716>
- Bonato P. (2010). Advances in wearable technology and its medical applications. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2010*, 2021–2024. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5628037>
- Bray, J., Eward, W., & Breen, M. (2023). Evaluating the relevance of surgical margins. Part one: The problems with current methodology. *Veterinary and Comparative Oncology*, 21(1), 1–11. <https://doi.org/10.1111/vco.12865>
- Calipinar, H., & Ulas, D. (2019). Development of nanotechnology in the world and nanotechnology standards in Turkey. *Procedia Computer Science*, 158, 1011-1018. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.142>
- Chopra, H., Bibi, S., Mishra, A. K., Tirth, V., Yerramsetty, S. V., Murali, S. V., ... & Emran, T. B. (2022). Nanomaterials: a promising therapeutic approach for cardiovascular diseases. *Journal of Nanomaterials*, 2022(1), 4155729. <https://doi.org/10.1155/2022/4155729>
- Chopra, H., Bibi, S., Mishra, A. K., Tirth, V., Yerramsetty, S. V., Murali, S. V., ... & Emran, T. B. (2022). Nanomaterials: a promising therapeutic approach for cardiovascular diseases. *Journal of Nanomaterials*, 2022(1), 4155729. <https://doi.org/10.1155/2022/4155729>
- Chopra, H., Gandhi, S., Gautam, R. K., & Kamal, M. A. (2022). Bacterial nanocellulose based wound dressings: current and future prospects. *Current Pharmaceutical Design*, 28(7), 570–580. <https://doi.org/10.2174/1381612827666211021162828>

- Connolly, R. (2013). State industrial policy in Russia: The nanotechnology industry. *International Journal of Technology Transfer and Commercialisation*, 12(2/3), 155–176. <https://doi.org/10.1080/1060586X.2013.778545>
- Dağlıoğlu, Y., & Yüksel, A. (2023). Kanser tedavisi için mikroRNA'ların çok işlevli nano-taşıyıcılar ile dağıtımı. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 32(1), 52-60.
- de Almeida Barcelos, K., Garg, J., Soares, D. C. F., de Barros, A. L. B., Zhao, Y., & Alisaraie, L. (2023). Recent advances in the applications of CNT-based nanomaterials in pharmaceutical nanotechnology and biomedical engineering. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 87, 104834. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2023.104834>
- Debela, D. T., Muzazu, S. G., Heraro, K. D., Ndalama, M. T., Mesele, B. W., Haile, D. C., Kitui, S. K., & Manyazewal, T. (2021). New approaches and procedures for cancer treatment: Current perspectives. *SAGE Open Medicine*, 9, 20503121211034366. <https://doi.org/10.1177/20503121211034366>
- Demirci, Ş. (2018). Giyilebilir teknolojilerin sağlık hizmetlerine ve sağlık hizmet kullanıcılarına etkileri. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(6), 985-992.
- Demirkıran, A. (2019). Nanoteknolojinin insan sağlığına faydalı ve zararlı yönleri. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 136-148.
- di Pompeo, F. S., Firmani, G., Paolini, G., Amorosi, V., Briganti, F., & Sorotos, M. (2023). Immediate prepectoral breast reconstruction using an ADM with smooth round implants: A prospective observational cohort study. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery: JPRAS*, 80, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2023.02.014>
- Di, D. R., He, Z. Z., Sun, Z. Q., & Liu, J. (2012). A new nano-cryosurgical modality for tumor treatment using biodegradable MgO nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 8(8), 1233–1241. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2012.02.010>
- Digesu, C. S., Hofferberth, S. C., Grinstaff, M. W., & Colson, Y. L. (2016). From diagnosis to treatment: Clinical applications of nanotechnology in thoracic surgery. *Thoracic Surgery Clinics*, 26(2), 215–228. <https://doi.org/10.1016/j.thorsurg.2015.12.009>
- Ding, Q., Cui, J., Shen, H., He, C., Wang, X., Shen, S. G. F., & Lin, K. (2020). Advances of nanomaterial applications in oral and maxillofacial tissue regeneration and disease treatment. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Nanomedicine and Nanobiotechnology*, e1669. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/wnan.1669>

- Dursun, N., & Yılmaz, E. (2021). Cerrahi hemşireliği alanında giyilebilir teknoloji kullanımı. *Istanbul Gelisim University Journal of Health Sciences*, (15), 646-656.
- Ebadi, M., McCague, C., Vallee, O., Taylor, P. K., Lee, A. H. Y., & Bahrami, M. (2022). Salt and surfactant coated filters with antiviral properties and low pressure drop for prospective SARS-CoV2 applications. *Scientific reports*, 12(1), 11546. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15203-9>
- Ellis-Behnke, R. G., Liang, Y. X., Tay, D. K., Kau, P. W., Schneider, G. E., Zhang, S., Wu, W., & So, K. F. (2006). Nano hemostat solution: immediate hemostasis at the nanoscale. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 2(4), 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2006.08.001>
- Elsadek, N. E., Nagah, A., Ibrahim, T. M., Chopra, H., Ghonaim, G. A., Emam, S. E., Cavalu, S., & Attia, M. S. (2022). Electrospun Nanofibers Revisited: An Update on the Emerging Applications in Nanomedicine. *Materials (Basel, Switzerland)*, 15(5), 1934. <https://doi.org/10.3390/ma15051934>
- Endo, M., Koyama, S., Matsuda, Y., Hayashi, T., & Kim, Y. A. (2005). Thrombogenicity and blood coagulation of a microcatheter prepared from carbon nanotube-nylon-based composite. *Nano Letters*, 5(1), 101–105. <https://doi.org/10.1021/nl0482635>
- Ergül, V., & Çakır, S. (2023). Nanoteknolojinin sektörel uygulamaları üzerine bir değerlendirme. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 1(43), 1-22.
- Essa, W. K., Yasin, S. A., Saeed, I. A., & Ali, G. A. M. (2021). Nanofiber-based face masks and respirators as COVID-19 protection: A review. *Membranes*, 11(4), 250. <https://doi.org/10.3390/membranes11040250>
- Fernandes, N. B., Shenoy, R. U. K., Kajampady, M. K., DCruz, C. E. M., Shirodkar, R. K., Kumar, L., & Verma, R. (2022). Fullerenes for the treatment of cancer: an emerging tool. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(39), 58607–58627. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21449-7>
- Foroushani, F. T., Dzobo, K., Khumalo, N. P., Mora, V. Z., de Mezerville, R., & Bayat, A. (2022). Advances in surface modifications of the silicone breast implant and impact on its biocompatibility and biointegration. *Biomaterials Research*, 26(1), 80. <https://doi.org/10.1186/s40824-022-00314-1>
- Friedrich, R. P., Cicha, I., & Alexiou, C. (2021). Iron oxide nanoparticles in regenerative medicine and tissue engineering. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 11(9), 2337. <https://doi.org/10.3390/nano11092337>

- Gillani, R., Ercan, B., Qiao, A., & Webster, T. J. (2010). Nanofunctionalized zirconia and barium sulfate particles as bone cement additives. *International Journal of Nanomedicine*, 5, 1–11.
- Giri, G., Maddahi, Y., & Zareinia, K. (2021). A brief review on challenges in design and development of nanorobots for medical applications. *Applied Sciences*, 11(21), 10385.
- Gonfiotti, A., Salvicchi, A., & Voltolini, L. (2022). Chest-wall tumors and surgical techniques: state-of-the-art and our institutional experience. *Journal of Clinical Medicine*, 11(19), 5516. <https://doi.org/10.3390/jcm11195516>
- Gonzalez, A., Aboubakr, H. A., Brockgreitens, J., Hao, W., Wang, Y., Goyal, S. M., & Abbas, A. (2021). Durable nanocomposite face masks with high particulate filtration and rapid inactivation of coronaviruses. *Scientific Reports*, 11(1), 24318. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03771-1>
- Hajipour, M. J., Mehrani, M., Abbasi, S. H., Amin, A., Kassaian, S. E., Garbern, J. C., Caracciolo, G., Zanganeh, S., Chitsazan, M., Aghaverdi, H., Kamali Shahri, S. M., Ashkarran, A., Raoufi, M., Bauser-Heaton, H., Zhang, J., Muehlschlegel, J. D., Moore, A., Lee, R. T., Wu, J. C., Serpooshan, V., ... Mahmoudi, M. (2019). Nanoscale technologies for prevention and treatment of heart failure: Challenges and opportunities. *Chemical Reviews*, 119(21), 11352–11390. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00323>
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Rab, S., & Suman, R. (2023). Applications of nanotechnology in medical field: a brief review. *Global Health Journal*, 7(2), 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2023.02.008>
- Hama, R., Reinhardt, J. W., Ulziibayar, A., Watanabe, T., Kelly, J., & Shinoka, T. (2023). Recent tissue engineering approaches to mimicking the extracellular matrix structure for skin regeneration. *Biomimetics (Basel, Switzerland)*, 8(1), 130. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8010130>
- Han, S., Maliksi, C., Oh, E., Kumaran, S., Lee, K. H., Ko, D. H., & Choi, H. J. (2024). Evaluating layer contributions and salt coating effects on mask performance. *RSC Advances*, 14(38), 27644–27656. <https://doi.org/10.1039/d4ra04581e>
- Hedrick, T. L., Hassinger, T. E., Myers, E., Krebs, E. D., Chu, D., Charles, A. N., Hoang, S. C., Friel, C. M., & Thiele, R. H. (2020). Wearable technology in the perioperative period: predicting risk of postoperative complications in patients undergoing elective colorectal surgery. *Diseases of the Colon and Rectum*, 63(4), 538–544. <https://doi.org/10.1097/DCR.0000000000001580>
- Hofferberth, S. C., Grinstaff, M. W., & Colson, Y. L. (2016). Nanotechnology applications in thoracic surgery. *European Journal of Cardio-Thoracic*

- Kateb, B., Heiss, J. D., John, S. Y., & Hsieh, M. (Eds.). (2014). *The Textbook of Nanoneuroscience and Nanoneurosurgery*. CRC Press/Taylor & Francis.
- Kavaklı, Ö., Coşkun, H., & Şentüre, Ç. (2016). Nanoteknoloji ve sağlık. *Türkiye Klinikleri Surgical Nursing-Special Topics*, 2(1), 64-69.
- Kemp, J. A., & Kwon, Y. J. (2021). Cancer nanotechnology: current status and perspectives. *Nano Convergence*, 8(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s40580-021-00282-7>
- Keskin, H. L. (2011). Nanoteknoloji nedir? *Turkish Medical Journal*, 5(1), 45-49.
- Khatoon, U. T., & Velidandi, A. (2025). An overview on the role of government initiatives in nanotechnology innovation for sustainable economic development and research progress. *Sustainability*, 17(3), 1250. <https://doi.org/10.3390/su17031250>
- Kiio, T. M., & Park, S. (2021). Physical properties of nanoparticles do matter. *Journal of Pharmaceutical Investigation*, 51(1), 35-51. <https://doi.org/10.1007/s40005-020-00504-w>
- Köse, N., Çaylak, R., Pekşen, C., Kiremitçi, A., Burukoglu, D., Koparal, S., & Doğan, A. (2016). Silver ion doped ceramic nano-powder coated nails prevent infection in open fractures: In vivo study. *Injury*, 47(2), 320–324. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.10.006>
- LewisOscar, F., Nithya, C., Vismaya, S., Arunkumar, M., Pugazhendhi, A., Nguyen-Tri, P., ... & Thajuddin, N. (2021). In vitro analysis of green fabricated silver nanoparticles (AgNPs) against *Pseudomonas aeruginosa* PA14 biofilm formation, their application on urinary catheter. *Progress in Organic Coatings*, 151, 106058. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106058>
- Li, S., Chen, L., & Fu, Y. (2023). Nanotechnology-based ocular drug delivery systems: recent advances and future prospects. *Journal of Nanobiotechnology*, 21(1), 232. <https://doi.org/10.1186/s12951-023-01992-2>
- Liu, J., Nie, H., Xu, Z., Niu, X., Guo, S., Yin, J., Guo, F., Li, G., Wang, Y., & Zhang, C. (2014). The effect of 3D nanofibrous scaffolds on the chondrogenesis of induced pluripotent stem cells and their application in restoration of cartilage defects. *PLoS One*, 9(11), e111566. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111566>
- Liu, Z., Liu, N., & Schroers, J. (2022). Nanofabrication through molding. *Progress in Materials Science*, 125, 100891. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2021.100891>
- Lu, J., Zhang, J., Xu, C., Tang, S., Lu, S., Ren, Y., & Shang, Y. (2023). Antibacterial activity and sustained release properties of curcumin-loaded chitosan

- microspheres/nanofiber composites membranes for wound healing applications. *Textile Research Journal*, 93(17-18), 4045-4052. <https://doi.org/10.1177/004051752311702>
- Lurdhumary, J., Jayanthi, A., Bakkiyaraj, M., Krishnamoorthy, N., Dhanasakkaravarthi, B., Hariram, S., & Dhanraj, J. A. (2025). Nanofabrication techniques for scalable and efficient nanodevices. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3300, No. 1, p. 020021). AIP Publishing LLC.
- Mahboudi, H., Kazemi, B., Soleimani, M., Hanaee-Ahvaz, H., Ghanbarian, H., Bandehpour, M., Enderami, S. E., Kehtari, M., & Barati, G. (2018). Enhanced chondrogenesis of human bone marrow mesenchymal Stem Cell (BMSC) on nanofiber-based polyethersulfone (PES) scaffold. *Gene*, 643, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2017.11.073>
- Mali, S. (2013). Nanotechnology for surgeons. *The Indian Journal of Surgery*, 75(6), 485–492. <https://doi.org/10.1007/s12262-012-0726-y>
- Marangoz, Ö., & Yavuz, O. (2020). Nano-ilaç taşıma sistemleri ve toksikolojik değerlendirmeleri. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 77(4), 509-526.
- Mariappan, N. (2019). Recent trends in nanotechnology applications in surgical specialties and orthopedic surgery. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 12(3), 1095-1127. <https://dx.doi.org/10.13005/bpj/1739>
- Mascarenhas-Melo, F., Gonçalves, M. B. S., Peixoto, D., Pawar, K. D., Bell, V., Chavda, V. P., Zafar, H., Raza, F., & Paiva-Santos, A. C. (2022). Application of nanotechnology in management and treatment of diabetic wounds. *Journal of Drug Targeting*, 30(10), 1034–1054. <https://doi.org/10.1080/1061186X.2022.2092624>
- Mazari, S. A., Ali, E., Abro, R., Khan, F. S. A., Ahmed, I., Ahmed, M., ... & Shah, A. (2021). Nanomaterials: Applications, waste-handling, environmental toxicities, and future challenges—A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 105028. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105028>
- McCann, J., & Bryson, D. (Eds.). (2022). *Smart clothes and wearable technology*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- McFarlane, D. C., Doig, A. K., Agutter, J. A., Brewer, L. M., Syroid, N. D., & Mittu, R. (2018). Faster clinical response to the onset of adverse events: A wearable metacognitive attention aid for nurse triage of clinical alarms. *PloS One*, 13(5), e0197157. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197157>

- Medici, S., Peana, M., Pelucelli, A., & Zoroddu, M. A. (2021). An updated overview on metal nanoparticles toxicity. *Seminars in Cancer Biology*, 76, 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2021.06.020>
- Metin, Z. G., & Özdemir, L. (2015). Nanoteknolojinin sağlık alanında kullanımı ve hemşirenin sorumlulukları. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 18(3), 235–244.
- Munzarová, M. (2013, October 16–18). *Barrier fabric containing nanofiber layer*. In *Proceedings of the 5th International Conference NANOCON 2013* (pp. 375–379). Brno, Czech Republic: Tanger Ltd.
- Natesan, S., Boddu, S. H. S., Krishnaswami, V., & Shahwan, M. (2020). The role of nano-opththalmology in treating dry eye disease. *Pharmaceutical Nanotechnology*, 8(4), 258–289. <https://doi.org/10.2174/2211738508666200628034227>
- Niroumand, U., Firouzabadi, N., Goshtasbi, G., Hassani, B., Ghasemiyeh, P., & Mohammadi-Samani, S. (2023). The effect of size, morphology and surface properties of mesoporous silica nanoparticles on pharmacokinetic aspects and potential toxicity concerns. *Frontiers in Materials*, 10, 1189463. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1189463>
- Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., Carter, J., Karn, B., Kreyling, W., Lai, D., Olin, S., Monteiro-Riviere, N., Warheit, D., Yang, H., & ILSI Research Foundation/Risk Science Institute Nanomaterial Toxicity Screening Working Group (2005). Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. *Particle and Fibre Toxicology*, 2, 8. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-2-8>
- O'Donnell, J. S., Hoefsmit, E. P., Smyth, M. J., Blank, C. U., & Teng, M. W. L. (2019). The promise of neoadjuvant immunotherapy and surgery for cancer treatment. *Clinical Cancer Research: an Official Journal of the American Association for Cancer Research*, 25(19), 5743–5751. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-18-2641>
- Ojha, A., Jaiswal, S., Bharti, P., & Mishra, S. K. (2022). Nanoparticles and nanomaterials-based recent approaches in upgraded targeting and management of cancer: A review. *Cancers*, 15(1), 162. <https://doi.org/10.3390/cancers15010162>
- Omerović, N., & Vranić, E. (2020). Application of nanoparticles in ocular drug delivery systems. *Health and Technology*, 10(1), 61–78. <https://doi.org/10.1007/s12553-019-00381-w>
- Onugwu, A. L., Nwagwu, C. S., Onugwu, O. S., Echezona, A. C., Agbo, C. P., Ihim, S. A., Emeh, P., Nnamani, P. O., Attama, A. A., & Khutoryanskiy, V. V.

- (2023). Nanotechnology based drug delivery systems for the treatment of anterior segment eye diseases. *Journal of Controlled Release: Official Journal of the Controlled Release Society*, 354, 465–488. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2023.01.018>
- Oral, C. M., & Pumera, M. (2023). *In vivo* applications of micro/nanorobots. *Nanoscale*, 15(19), 8491–8507. <https://doi.org/10.1039/d3nr00502j>
- Orooji, Y., Mortazavi-Derazkola, S., Ghoreishi, S. M., Amiri, M., & Salavati-Niasari, M. (2020). Mesoporous Fe₃O₄@SiO₂-hydroxyapatite nanocomposite: Green sonochemical synthesis using strawberry fruit extract as a capping agent, characterization and their application in sulfasalazine delivery and cytotoxicity. *Journal of Hazardous Materials*, 400, 123140. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123140>
- Ozaydin, M. S., Doganturk, L., Ulucan-Karnak, F., Akdogan, O., & Erkok, P. (2022). Contemporary tools for the cure against pernicious microorganisms: micro-/nanorobots. *Prosthesis*, 4(3), 424-443.
- Özgüner Kılıç, H. (2017). Giyilebilir teknoloji ürünleri pazarı ve kullanım alanları. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(4), 99-112.
- Palmberg, C., Dernis, H., & Miguet, C. (2009). *Nanotechnology: An overview based on indicators and statistics. OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2009/7. OECD Publishing.
- Palmieri, V., De Maio, F., De Spirito, M., & Papi, M. (2021). Face masks and nanotechnology: Keep the blue side up. *Nano today*, 37, 101077. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2021.101077>
- Park, J. H., Cho, Y. W., & Kim, T. H. (2022). Recent advances in surface plasmon resonance sensors for sensitive optical detection of pathogens. *Biosensors*, 12(3), 180. <https://doi.org/10.3390/bios12030180>
- Parks, J., 4th, Kath, M., Gabrick, K., & Ver Halen, J. P. (2012). Nanotechnology applications in plastic and reconstructive surgery: a review. *Plastic Surgical Nursing: Official Journal of the American Society of Plastic and Reconstructive Surgical Nurses*, 32(4), 156–164. <https://doi.org/10.1097/PSN.0b013e3182701824>
- Pawar, S., Sardesai, M., & Shende, P. (2021). Nanotoxicological approaches towards nanosafety. In *Nanotoxicology and Nanoecotoxicology* (Vol. 2, pp. 195–224). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69492-0_9
- Puértolas, J. A., & Kurtz, S. M. (2014). Evaluation of carbon nanotubes and graphene as reinforcements for UHMWPE-based composites in arthroplastic

- applications: A review. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 39, 129–145. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2014.06.013>
- Razavi, R., Amiri, M., Alshamsi, H. A., Eslaminejad, T., & Salavati-Niasari, M. (2021). Green synthesis of Ag nanoparticles in oil-in-water nano-emulsion and evaluation of their antibacterial and cytotoxic properties as well as molecular docking. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(9), 103323. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103323>
- Rifat, T., Hossain, M. S., Alam, M. M., & Rouf, A. S. S. (2019). A review on applications of nanobots in combating complex diseases. *Bangladesh Pharmaceutical Journal*, 22(1), 99–108. <https://doi.org/10.3329/bpj.v22i1.40081>
- Roe, D., Karandikar, B., Bonn-Savage, N., Gibbins, B., & Roullet, J. B. (2008). Antimicrobial surface functionalization of plastic catheters by silver nanoparticles. *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 61(4), 869–876. <https://doi.org/10.1093/jac/dkn034>
- Roszek, B., de Jong, W. H., & Geertsma, R. E. (2005). *Nanotechnology in medical applications: State-of-the-art in materials and devices* (RIVM Report No. 265001001/2005). Bilthoven, The Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- Ruan, D., Qin, L., Chen, R., Xu, G., Su, Z., Cheng, J., Xie, S., Cheng, F., & Ko, F. (2020). Transparent PAN: TiO₂ and PAN-co-PMA: TiO₂ nanofiber composite membranes with high efficiency in particulate matter pollutants filtration. *Nanoscale Research Letters*, 15(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s11671-019-3225-2>
- Sahu, T., Ratre, Y. K., Chauhan, S., Bhaskar, L. V. K. S., Nair, M. P., & Verma, H. K. (2021). Nanotechnology based drug delivery system: Current strategies and emerging therapeutic potential for medical science. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 63, 102487. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2021.102487>
- Salani, M., Roy, S., & Fissell, W. H., 4th (2018). Innovations in Wearable and Implantable Artificial Kidneys. *American Journal of Kidney Diseases: the Official Journal of the National Kidney Foundation*, 72(5), 745–751. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2018.06.005>
- Sarıgül, T. (2018). Minyatür ilaç taşıma geliştirildi. <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/minyatur-ilac-tasima-sistemi-gelistirildi>
- Serra, G., Morais, L., Elias, C. N., Semenova, I. P., Valiev, R., Salimgareeva, G., Pithon, M., & Lacerda, R. (2013). Nanostructured severe plastic deformation processed titanium for orthodontic mini-implants. *Materials Science &*

- Engineering. C, Materials for Biological Applications*, 33(7), 4197–4202.
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.06.012>
- Shafique, M., & Luo, X. (2019). Nanotechnology in transportation vehicles: an overview of its applications, environmental, health and safety concerns. *Materials (Basel, Switzerland)*, 12(15), 2493.
<https://doi.org/10.3390/ma12152493>
- Shah, M. A., Pirzada, B. M., Price, G., Shibiru, A. L., & Qurashi, A. (2022). Applications of nanotechnology in smart textile industry: A critical review. *Journal of Advanced Research*, 38, 55–75. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2022.01.008>
- Sharma, S., Tyagi, K., & Dang, S. (2023). Use of nanotechnology in dry eye syndrome. In *Nanotechnology in Ophthalmology* (pp. 227-246). Academic Press.
- Shinde, V. R., Revi, N., Murugappan, S., Singh, S. P., & Rengan, A. K. (2022). Enhanced permeability and retention effect: A key facilitator for solid tumor targeting by nanoparticles. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 39, 102915. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.102915>
- Sim, S., & Wong, N. K. (2021). Nanotechnology and its use in imaging and drug delivery (Review). *Biomedical reports*, 14(5), 42.
<https://doi.org/10.3892/br.2021.1418>
- Simpson, L., Maharaj, M. M., & Mobbs, R. J. (2019). The role of wearables in spinal posture analysis: a systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 20(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2430-6>
- Sindhvani, S., & Chan, W. C. W. (2021). Nanotechnology for modern medicine: next step towards clinical translation. *Journal of Internal Medicine*, 290(3), 486–498. <https://doi.org/10.1111/joim.13254>
- Sivamaruthi, B. S., Thangaleela, S., Kesika, P., Suganthi, N., & Chaiyasut, C. (2023). Mesoporous silica-based nanoplatforms are theranostic agents for the treatment of inflammatory disorders. *Pharmaceutics*, 15(2), 439.
<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15020439>
- Smith, W. R., Hudson, P. W., Ponce, B. A., & Rajaram Manoharan, S. R. (2018). Nanotechnology in orthopedics: a clinically oriented review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 19(1), 67. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-1990-1>
- Souri, M., Soltani, M., Moradi Kashkooli, F., & Kiani Shahvandi, M. (2022). Engineered strategies to enhance tumor penetration of drug-loaded nanoparticles. *Journal of Controlled Release: Official Journal of the*

Controlled Release Society, 341, 227–246. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.11.024>

- Sun, B., Wang, W., & Sain, M. (2022). Carbonaceous nanocomposites for biomedical applications as high-drug loading nanocarriers for sustained delivery: A Review. *Journal of Composites Science*, 6(12), 379. <https://doi.org/10.3390/jcs6120379>
- Swan M. (2013). The quantified self: Fundamental disruption in big data science and biological discovery. *Big Data*, 1(2), 85–99. <https://doi.org/10.1089/big.2012.0002>
- Tada, Y., & C. Yang, P. (2019). Iron oxide labeling and tracking of extracellular vesicles. *Magnetochemistry*, 5(4), 60. <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry5040060>
- Takács, A. I., Kovács, I., Miháltz, K., Filkorn, T., Knorz, M. C., & Nagy, Z. Z. (2012). Central corneal volume and endothelial cell count following femtosecond laser-assisted refractive cataract surgery compared to conventional phacoemulsification. *Journal of Refractive Surgery (Thorofare, N.J. : 1995)*, 28(6), 387–391. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20120508-02>
- Thacker, M., Singh, V., Basu, S., & Singh, S. (2023). Biomaterials for dry eye disease treatment: Current overview and future perspectives. *Experimental Eye Research*, 226, 109339. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2022.109339>
- Thijs, I., Fresiello, L., Oosterlinck, W., Sinnaeve, P., & Rega, F. (2019). Assessment of physical activity by wearable technology during rehabilitation after cardiac surgery: explorative prospective monocentric observational cohort study. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(1), e9865. <https://doi.org/10.2196/mhealth.9865>
- Tüylek, Z. (2019). Nanotip alanında kullanılan sistemler. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 28(2), 119-129.
- Tüylek, Z. (2021). Nanoteknoloji uygulamalarında hayatımıza yansımalar. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(2), 69-79.
- Van de Voorde, M., & Jeswani, G. (Eds.). (2021). *Ethics in nanotechnology: Social sciences and philosophical aspects*. De Gruyter.
- Von Hohendorff, R., Engelmann, W., & Leal, D. W. S. (2021). Safety regulations for the use of nanotechnological products for biomedical applications: a systematic literature review. *Nanotechnology in Medicine: Toxicity and Safety*, 315-348. <https://doi.org/10.1002/9781119769897.ch15>
- Wang, C., Fan, W., Zhang, Z., Wen, Y., Xiong, L., & Chen, X. (2019). Advanced nanotechnology leading the way to multimodal imaging-guided precision

- surgical therapy. *Advanced Materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 31(49), e1904329. <https://doi.org/10.1002/adma.201904329>
- Wei, W., Abdullayev, E., Hollister, A., Mills, D., & Lvov, Y. M. (2012). Clay nanotube/poly (methyl methacrylate) bone cement composites with sustained antibiotic release. *Macromolecular Materials and Engineering*, 297(7), 645-653.
- Williams, J. K., Yoo, J. J., & Atala, A. (2019). Regenerative medicine approaches for tissue engineered heart valves. *Principles of Regenerative Medicine*, 1041-1058. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809880-6.00059-X>
- Winnicki, M. (2021). Advanced functional metal-ceramic and ceramic coatings deposited by low-pressure cold spraying: A review. *Coatings*, 11(9), 1044. <https://doi.org/10.3390/coatings11091044>
- Xiong, W., Zhang, R., Zhou, H., Liu, Y., Liang, M., Li, K., ... & Ye, Q. (2023). Application of nanomedicine and mesenchymal stem cells in burn injuries for the elderly patients. *Smart Materials in Medicine*, 4, 78-90. <https://doi.org/10.1016/j.smain.2022.08.001>
- Xu, H. H., Wang, P., Wang, L., Bao, C., Chen, Q., Weir, M. D., Chow, L. C., Zhao, L., Zhou, X., & Reynolds, M. A. (2017). Calcium phosphate cements for bone engineering and their biological properties. *Bone Research*, 5, 17056. <https://doi.org/10.1038/boneres.2017.56>
- Xu, L., Liu, Y., Zhou, W., & Yu, D. (2022). Electrospun medical sutures for wound healing: A review. *Polymers*, 14(9), 1637. <https://doi.org/10.3390/polym14091637>
- Yang, Y., Zheng, X., Chen, L., Gong, X., Yang, H., Duan, X., & Zhu, Y. (2022). Multifunctional gold nanoparticles in cancer diagnosis and treatment. *International Journal of Nanomedicine*, 17, 2041-2067. <https://doi.org/10.2147/IJN.S355142>
- Zhao, X., Jiang, S., Liu, S., Chen, S., Lin, Z. Y., Pan, G., He, F., Li, F., Fan, C., & Cui, W. (2015). Optimization of intrinsic and extrinsic tendon healing through controllable water-soluble mitomycin-C release from electrospun fibers by mediating adhesion-related gene expression. *Biomaterials*, 61, 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2015.05.012>



BÖLÜM 2

Kritik Bakımda Kritik Bir Sorumluluk: Yeşil Yoğun Bakım

Suzan GÜVEN¹

Giriş

Birleşmiş Milletler tarafından 2015 yılında ilan edilen Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirliğin önemine dikkat çekmiştir. Bu hedeflerin 2030 yılına kadar küresel sürdürülebilir kalkınma sürecini yönlendireceği ve hemşirelik uygulamalarını doğrudan etkileyeceği bildirilmektedir (Leppanen vd., 2021; Pizarro vd., 2024).

Tarihsel süreçte hemşirelik uygulamaları; çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla insan sağlığının geliştirilmesine katkı sağlayan sürdürülebilirlik girişimlerini içermektedir (Kıvanç vd., 2020). Modern hemşireliğin öncüsü Florence Nightingale 1800'lü yıllarda çevresel faktörlerin sağlık üzerinde doğrudan etkili olduğunu tanımlayan ilk hemşire olarak dikkat çekmektedir. Nightingale'in Kırım Savaşı sırasında çevresel koşullara yönelik yaklaşımı, ölüm oranlarının %42'den %2,2'ye düşmesini sağlamış ve hemşirelik bakımında çevreyle ilişkili unsurların dikkate alınmasının, sürdürülebilir sağlık hizmetleri açısından kritik önemini ortaya koymuştur. (Nightingale, 1992). Günümüzde ise hemşireler, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda yalnızca bireysel hasta bakımında değil; aynı zamanda kaynakların etkin kullanımı ve toplum sağlığını geliştirme girişimleri ile de küresel sağlık hedeflerine katkıda bulunmaktadır. Dünya genelinde hemşirelik mesleği, doğal çevrenin ne kadar önemli olduğunu bilmekte ve sağlık kuruluşlarında üretilen atıkların oluşturduğu gerçek tehdidi kabul etmektedir. Uluslararası Hemşireler Birliği, sağlık kuruluşlarında üretilen atıkların birey, toplum ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak veya ortadan kaldırmayı hemşirelerin de görevi olarak tanımlamaktadır (Kıvanç vd., 2020).

Yoğun Bakım Ünitelerinde Çevresel Sürdürülebilirlik ve Atık Yönetimi

Yoğun bakım üniteleri (YBÜ), sağlık hizmetlerinde "sıcak nokta" olarak kabul edilir. Teknolojinin üst düzeyde kullanımının yanı sıra bu alanda yüksek bir enerji talebi söz konusudur (Ahmed vd., 2025). Teknolojik cihazların ve enerji tüketiminin fazla olduğu alanlardan biri olan kritik bakım ortamları, hemşirelerin sürdürülebilirlik uygulamalarını hayata geçirmelerinde ayrıca önem taşımaktadır (Kıvanç vd., 2020). Yapılan bir araştırmada hemşirelerin, hastaların

¹ Öğr. Gör. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, ORCID ID: 0000-0002-8015-7870

nakil ve taburcu aşamalarında ve ölümünden sonra, enfeksiyon bulaşma riski veya tek kullanımlık olmaları nedeniyle birçok cihaz ve malzemenin atıldığı ve bu durumun büyük miktarda atık oluşumuna neden olduğunu bildirilmiştir. Bu sonuç en büyük malzeme israfının hastanın nakli sırasında meydana geldiğini doğrulamaktadır (Leppanen vd., 2021).

Yoğun bakımlarda geri dönüştürülebilir malzemeler ve su gibi birçok doğal kaynak tüketilmekte ve önemli miktarda atık üretilmektedir. (Ahmed vd., 2025). Bu noktada hemşirelerin atık yönetimi konusundaki yaklaşımları, çevresel sürdürülebilirliği doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, hemşirelere ve personele tek kullanımlık malzemelerin kullanımının sınırlandırılması, ilaç ve malzeme atıklarının geri dönüştürülmesi, çevre dostu ürünlerin tercih edilmesi, enerji yönetimi ve bakım süreçlerinde sorumlu kararların alınması konularında eğitimler verilerek atıkları azaltma, yeniden kullanma ve geri dönüştürme hedeflenmelidir (Bartoli vd., 2025).

Avrupa Anesteziyoloji ve Yoğun Bakım Derneği Sürdürülebilirlik Komitesi, Haziran 2023'te Glasgow Bildirgesi ile Avrupa genelindeki ülkelerin kendi sağlık planlarını oluşturmaları için anestezi ve yoğun bakımda sürdürülebilirlik konusunda bir rehber oluşturmuştur (Pizarro vd., 2024). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ise, sağlık hizmetlerinin zararlı etkilerini ortadan kaldırmak ve iklim dostu sağlık hizmetleri sunmak konusunda hazırladığı raporda, sağlık sektörünün küresel olarak sürdürülebilir hizmet sunmada öncü bir role sahip olduğunu belirtilmiş ve iklim dostu hastaneler için enerji tüketiminin azaltılması, alternatif enerji kaynakları, yeşil sürdürülebilir sağlık binalarının yaygınlaştırılması, toplu taşımanın teşvik edilmesi, sürdürülebilir gıda, atık yönetimi ve su tasarrufundan oluşan yedi tema belirlemiştir (Iliopoulou vd., 2025). Ayrıca, Uluslararası Hemşireler Konseyi, hemşireliğin doğal yaşamı koruma ve sürdürme konusundaki ortak sorumluluğunu vurgulayarak bu temaları desteklemiştir (Iliopoulou vd., 2025).

Yoğun bakım ünitelerinin karbon ayak izi: Küresel Örnekler

Farklı ülkelerde yapılan çalışmalar, YBÜ' nin çevresel etkilerinin atık üretimi ve enerji tüketimi boyutunda önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Sağlık hizmetleri, küresel sera gazı emisyonlarının neredeyse %5'inden sorumludur. Bazı yüksek gelirli ülkelerde bu oran %10'a kadar ulaşmaktadır (Iliopoulou vd., 2025). Sağlık hizmetlerinin karbon ayak izinin 2050 yılına kadar üç katına çıkması beklenmektedir (Ahmed vd., 2025, Masud vd., 2024). Bu nedenle birçok ülke sera gazı emisyonlarını azaltmak için büyük çaba gerektiren sürdürülebilir sağlık sistemlerinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Karbonsuzlaştırma sürecinin sera gazı emisyonlarında %80-90'lık bir azalmaya yol açması ve sonucun 2050 yılına kadar yılda yaklaşık %6 ila %7'lik bir azalmaya neden olması hedeflenmektedir (Waele vd., 2024).

Dünya genelinde YBÜ karbon ayak izi dikkat çekici boyutlara ulaşsa da sağlık sisteminin toplam sera gazı emisyonlarına olan katkıları kesin olarak ortaya konulamamıştır. Bununla birlikte farklı ülkelerde yapılan çalışmalar bazı çarpıcı veriler sunmaktadır:

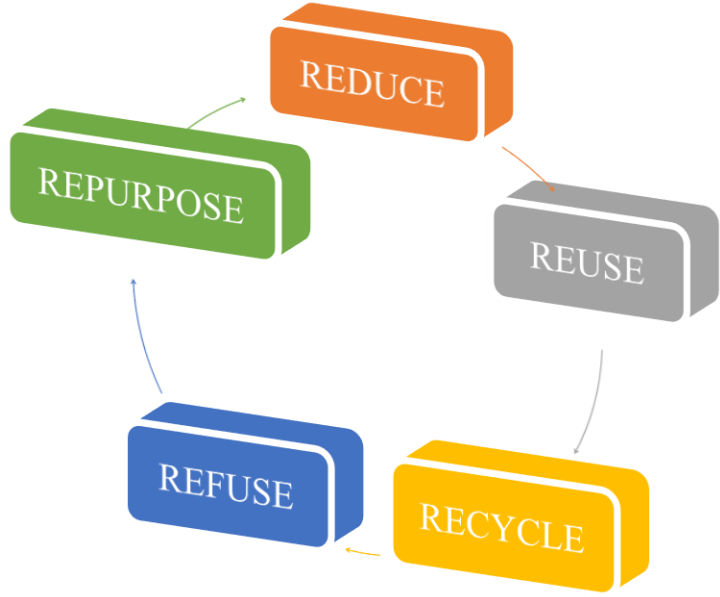
- **New York, Brooklyn’de** yapılan bir çalışmada, 12 yataklı bir YBÜ’de yatak başına günlük **7,1 kg katı atık** ve **138 kg CO₂ emisyonu** üretildiği; aynı hastanedeki 48 yataklı YBÜ’de ise hasta başına günlük **5,5 kg atık** ve **45 kg CO₂ emisyonu** rapor edilmiştir (Masud vd., 2024).
- Hollanda’da yapılan önceki araştırmalar, bir YBÜ’deki bakım faaliyetlerinin hasta başına günde 17 kg kütle ve 12 kg CO₂ eşdeğeri emisyon, 300 litre su tüketimi ve YBÜ’de kullanılan ürünlerin üretimiyle ilişkili 4 m² tarım arazisi işgali oluşturduğunu göstermiştir (Iliopoulou ve ark., 2025)
- Avustralya ve Amerika Birleşik Devletleri’nde yer alan iki YBÜ’de septik şok tedavisi gören hastalara yönelik yapılan karbon ayak izi değerlendirmesinde, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin enerji tüketiminin toplam karbon ayak izinin %76–87’sini oluşturduğu, tek kullanımlık malzemeler ve diğer sarf malzemelerinin ise daha sınırlı katkı sağladığı bildirilmiştir (See, 2023).
- İngiltere’de yapılan bir araştırma, YBÜ’deki hastaların bakım uygulamaları için tüketilen elektrik miktarının ortalama 4 kişilik bir hanenin tüketimine benzer olduğu bildirilmiştir (Bein vd., 2021).

Yapılan bir çalışmada bir yoğun bakım hastası için günlük ortalama 108 tek kullanımlık eldiven, 57 kompres, 34 infüzyon torbası, 24 şırınga ve 9 cerrahi maske tüketildiği bildirilmiştir (Masud vd., 2024). Bu yüksek tüketim, ekonomik açıdan sürdürülebilirlik sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle YBÜ, sağlık sektöründeki birçok “karbon sıcak noktasının” merkezi olarak tanımlanmaktadır. Bu sorunlar DSÖ üye devletlerini çevresel kaygıları dikkate alan stratejiler geliştirmeye ve uygulamaya teşvik etmektedir. Avustralya’da, **Ulusal Sağlık Sürdürülebilirliği ve İklim Birimi** gibi girişimler, YBÜ’de sorumlu kaynak tüketimini desteklemektedir (Masud vd., 2024).

Yoğun Bakım Ünitelerinde Çevresel Sürdürülebilirlik: 5R Yaklaşımı

Yoğun bakım ünitelerinde çevresel sürdürülebilirliği geliştirmeye yönelik müdahaleler sistematik olarak 5R yaklaşımı ile çerçevelendirilmektedir. Bu yaklaşım; gereksiz tüketim ve israfın önlenmesi (Reduce), yeniden kullanılabilir ekipmanların tercih edilmesi (Reuse), geri dönüşüm uygulamalarının

yaygınlaştırılması (Recycle), faydası sınırlı ve çevresel yük oluşturan ürün veya uygulamaların reddedilmesi (Refuse) ve mevcut kaynakların farklı amaçlar için yeniden değerlendirilmesini (Repurpose) kapsamaktadır. Bu çerçeve, hemşirelik bakımında alınacak küçük ölçekli kararların dahi çevresel etkinin azaltılmasına önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır (Pradere vd., 2023).



Şekil 1. 5R Yaklaşımı

Reduce: Hemşirelik uygulamalarında aşırı atık üretimi genellikle tek kullanımlık, geri dönüşümü olmayan ürünlerin kullanılması ve satın alınması ile ilgilidir. Ayrıca tek kullanımlık yatak çarşaflarının, alt bezlerinin ve kağıt havluların aşırı kullanımı, tıbbi malzemelerin gereksizce fazla paketlenmesi ve gereksiz fotokopi olduğu belirtilmektedir (Ertaş ve Güden, 2019). Pediatrik YBÜ’de endotrakeal tüpler, bebek bezleri, tek kullanımlık alt bezler ve esnek emme kateterleri gibi ürünlerin kullanılmadan atığa dönüşmesi, toplam atığın %75’inden fazlasını oluşturabilmektedir (See, 2023). Bu nedenle stoklama ve kullanılmayan malzemelerin farkında olunması hem tıbbi atık yükünü hem de maliyetleri azaltmada kritik öneme sahiptir (Ertaş ve Güden, 2019; Masud vd., 2024). Gereksiz oksijen ve tek kullanımlık malzeme kullanımının sınırlandırılması, BT/MRG yerine daha düşük karbon ayak izine sahip akciğer grafisi veya ultrason gibi alternatiflerin tercih edilmesi, izolasyon odalarında açılmamış malzemelerin israfının önlenmesi ve hemşire farkındalık eğitimleri önemli stratejilerdir (Masud vd., 2024).

Reuse (Yeniden Kullan): Bazı ürünlerin, temizlenerek, dezenfekte edilerek ve gerektiğinde sterilize edilerek yeniden kullanılabilmesi mümkündür. Satın alma kararlarında enerji verimliliği ve ekipman kalitesinin dikkate alınması, ekipmanların onarımı ve yükseltilmesi ile ürün ömrünün uzatılması, tek kullanımlık yerine yeniden kullanılabilir stetoskop, bronkoskop ve laringoskop bıçaklarının tercih edilmesi ve tek kullanımlık cihazların üçüncü taraf tesislerde yeniden işlenerek tekrar kullanıma kazandırılması sürdürülebilirliği desteklemektedir (See, 2023).

Recycle (Geri Dönüştür): Yeniden dönüştürülen tıbbi ürünlerin çoğu yoğun bakımlar, ameliyathaneler gibi perioperatif ortamlarda bulunmaktadır. Hastane atıklarının %75 ila %90'ı evsel atıklarla karşılaştırılabilir niteliktedir ve çoğunun geri dönüştürülme potansiyeli vardır. DSÖ'ye göre hastane atıklarının yaklaşık %85'i tehlikesiz, yaklaşık %10'u bulaşıcı ve kalan %5'i bulaşıcı olmayan ancak tehlikelidir. (Pizarro vd., 2024) Avustralya'da 2013 yılında 780 yataklı Princess Alexandra Hastanesi'ndeki 21 ameliyathanede aylık 20 tonu aşan atık üretildiği ve hepsinin tıbbi atık olarak ele alındığı tespit edilmiş ve bunun üzerine atık yönetimi girişi başlatılmıştır. İlk başta tıbbi atık olarak değerlendirilen bütün atıkların girişim sonrasında %18'inin tıbbi, %26'sının genel ve %56'sının geri dönüştürülebilir atık olduğu belirlenmiştir. Böylece hem atık miktarlarında hem de bertaraf ücretlerinde yaklaşık %60 azalma sağlanmıştır (Wyssusek vd., 2016). Avustralya'da bir hastanenin 6 ameliyathanesinde yapılan 1 haftalık ölçüm sonucunda toplam 1,265 kg atık üretildiği, bunun %23'ünün geri dönüştürülebilir olduğu tespit edilmiştir (McGain vd., 2015).

Yeniden dönüşüm için sağlık profesyonellerine aşağıdaki stratejiler önerilmektedir:

- Dönüşüm için kâğıt, karton, plastik gibi basit ürünlerle başlanması,
- Atık yönetimi için yeniden dönüştürülen kutuların kullanılması,
- Sıvı torbaları ve kesici olmayan atıkların geri dönüşümü, biyolojik tehlike atıkları ile tıbbi olmayan atıkların ayrıştırılması,
- Yeniden dönüştürülecek atıkların ayrılmasında atıkların oluşacağı alanlarda renk kodlu kutular kullanılması (kâğıt için yeşil, metal için gümüş, plastik için mavi vb.)
- Çöp sahası atıklarının azaltılması ve geri dönüştürülmüş ürünleri satın alan tesislerin maliyetlerinin düşürülmesi,
- Kâğıt, karton, cam, organik atıklar, floresan tüpler, kullanılan bazı çözücüler, radyoaktif kimyasallar gibi atıkların geri dönüşümü

mümkün olabilmektedir. Bu tip atıkların özel depolama alanlarında saklanarak geri dönüşümü sağlanabilmektedir.

- Plastik atıkların ayrıştırılmasındaki zorluk ve potansiyel enfeksiyon bulaştırma riski, tıbbi malzemelerin geri dönüştürülmesini kısıtlamaktadır.
- Ürünlerin yeterli şekilde ayrıştırılması için geri dönüşüm kutularının yerleştirilmesi (Masud vd., 2024).

Refuse (Reddet): Hastanelerde kullanım sonucu oluşan bulaşıcı atıklar, kimyasal atıklar, radyoaktif atıklar, cıva termometre, buharlı lamba gibi atık türleri özel olarak imha edilmelidir. Bu tip atıkların yerel yönetmeliklere uygun bir şekilde yok edilmesi sağlanmalıdır. Sağlık bakım sisteminde cıvanın kullanıldığı alanlar, termometreler, sfigmomanometreler ve gastrointestinal sistemi temizlemede kullanılan nazogastrik tüpler, özafagus dilatatörleri, bujiler, bataryalar, bazı temizleme solüsyonları ve florasan lambalardır. Hastanelerde, tüm cıvalı ürünlerin kullanımını elimine edilmesi ve bunların yerine kolay geri dönüşebilen veya özel bir yok etme gerektirmeyen ürünler kullanması önerilmektedir (Waele vd., 2024).

Repurpose (Yeniden Amaçlandır): Sürdürülebilirlik uygulamalarında atık yönetiminin önemli bir adımı da atıkların geri kazanılması ve farklı alanlarda değerlendirilmesidir (Pradere vd., 2023). Kullanılmayan veya açılmamış malzemelerin eğitim amaçlı ya da başka kliniklerde değerlendirilmesi, malzeme fiyat listelerinin paylaşılması ile hemşirelerin farkındalığının artırılması ve plastik atıkların geri kazanılarak farklı alanlarda yeniden kullanılması sürdürülebilirlik uygulamalarına katkı sağlamaktadır. Bazı ürünlerin, temizlenerek, dezenfekte edilerek ve gerektiğinde sterilize edilerek yeniden kullanılabilmesi mümkündür (Masud vd., 2024).

Yoğun bakım ünitelerinde 5R yaklaşımı, hemşirelik bakımına entegre edilebilecek somut uygulama örnekleri ile daha anlaşılır hale getirilebilir. Aşağıdaki tablo, her bir bileşenin (Reduce, Reuse, Recycle, Refuse, Repurpose) hemşirelik pratiğine yansımalarını özetlemektedir.

Tablo 1. Yoğun bakımda 5R yaklaşımının hemşirelik bakımına entegrasyonu

5R Yaklaşımı	Hemşirelik Uygulama Örnekleri
Reduce	• Gereksiz oksijen tedavisinden kaçınmak • Tekrarlayan kan gazı, BT, MRG istemlerini azaltmak • Hasta odalarında gereksiz malzeme stoklamamak • Buhar sterilizasyonunu öncelikli tercih etmek • Enfekte olmayan ve biyolojik kökenli atıkları renk kodlu geri dönüştürülebilir kutularda toplamak • Çift torbalı atık toplama sistemi uygulamak • Yakmaya alternatif çevre dostu atık yönetim yöntemlerini araştırmak ve uygulamak • Ürünlerin çevresel etkilerini değerlendirmek • Kimyasalları kaynağında ayırmak ve güvenli kullanmak
Reuse	• Sterilize edilebilen bronkoskop, laringoskop ve stetoskop gibi ekipmanları tercih etmek • Tek kullanımlık cihazların uygun koşullarda yeniden işlenmesini sağlamak • Tıbbi cihazların bakım/onarımı ile kullanım ömrünü uzatmak
Recycle	• Kullanılmış sıvı torbaları, plastik kaplar ve kesici olmayan malzemeleri ayrıştırarak geri dönüştürmek • Biyolojik riskli atıklar ile tıbbi olmayan atıkları etkin biçimde ayırmak
Refuse	• Klinik faydası düşük ve çevresel yükü yüksek uygulamalardan kaçınmak • Kalitesi düşük tek kullanımlık ürünleri reddetmek
Repurpose	• Açılmamış malzemeleri eğitim amaçlı değerlendirmek • Malzeme maliyet listelerini paylaşarak israf farkındalığı oluşturmak • Plastik atıkları farklı amaçlarla yeniden işlevlendirmek

Avrupa Yoğun Bakım Derneği Önerileri

- İklim değişikliğinin YBÜ üzerindeki etkisini değerlendirmek.
- İklim değişikliğinin hasta bakımını ve kaynak bulunabilirliğini nasıl etkilediğini daha iyi anlamak ve bu değişimlere hazırlıklı olmak.
- YBÜ'nin ve yoğun bakım faaliyetlerinin çevresel etkilerini tanımlamak.
- Karbon ayak izini, atığı ve kaynak tüketimini azaltmak için kritik alanları vurgulamak.
- Klinik yoğun bakım bakımında sürdürülebilirlik girişimleri için bir çerçeve geliştirmek ve önemli çevresel ve sağlık faydaları elde etmek için uygulanabilir stratejiler sunmak.

- YBÜ’nde çevresel sürdürülebilirlik araştırmalarını ve inovasyonunu kolaylaştıran politikalar önermek.
- Yoğun bakım uygulamalarının çevresel etkisini anlamayı ve azaltmayı ve inovasyonu teşvik etmeyi amaçlayan çalışmalarını teşvik etmek.
- Yoğun bakım sağlık personeli arasında çevresel sürdürülebilirliğin önemi konusunda farkındalığı ve eğitimi artırmak için stratejiler önermek.
- Yoğun bakım sağlık personeli için sürdürülebilirlik çalışmalarına nasıl katkıda bulunabilecekleri konusunda eğitim girişimleri önermek (Waele vd., 2024).

Tek Kullanımlık Tıbbi Malzemelerin Yeniden Kullanımında Ulusal Yaklaşımlar

Sağlık kuruluşlarında tek kullanımlık tıbbi malzemelerin yeniden kullanımına yönelik uygulamalar, ekonomik gerekçeler, çevresel kaygılar ve hasta güvenliği arasındaki hassas dengeyi gündeme getirmektedir. Bu konuda ülkeler arasında önemli farklılıklar bulunmakta, bazıları kesin yasaklar getirirken bazıları sıkı sterilizasyon protokolleri ile kısmi esneklik tanımaktadır.

Tek kullanımlık malzemeler çoğunlukla yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmayan plastiklerden üretilmekte olup, sterilizasyona karşı düşük direnç göstermektedir. Tek kullanımlık malzemelerin maliyetlerinin yüksek olması, malzemelerin bir kısmının tanıya dayalı ödeme kapsamında yer alması veya düşük fiyatlı olması, sağlık kuruluşlarının ekonomik kazanç elde etme isteği ve çevresel duyarlılığın artışı yeniden kullanımda etkili olan faktörler olarak belirtilmektedir (Waele vd., 2024).

Ülkeler arasındaki farklı yaklaşımlar hem hasta güvenliği hem de çevresel sürdürülebilirlik bakımından önemli tartışmalara yol açmaktadır. Örneğin; Finlandiya, Fransa, İngiltere, Macaristan, İspanya ve Japonya gibi ülkelerde tek kullanımlık malzemelerin yeniden kullanımı tamamen yasaklanmıştır. Buna karşın ABD, Almanya ve Kanada gibi ülkelerde, sağlık otoriteleri tarafından belirlenen sterilizasyon prosedürleri ve protokoller titizlikle uygulandığı sürece kısmi olarak tekrar kullanımına izin verilmektedir (Yiğit, 2016).

Avrupa ülkeleri arasında da yaklaşımlar net değildir. Birleşik Krallık’ta Sağlık ve İlaç Düzenleme Kurumu, özellikle çapraz enfeksiyon riski gerekçesiyle tek kullanımlık malzemelerin yeniden kullanımına karşı olduklarını açıkça bildirmiştir (Otur ve ark., 2022). Türkiye’de ise Sağlık Bakanlığı İlaç ve Eczacılık Genel Müdürlüğü tarafından 2011 yılında yayımlanan “Tıbbi Cihazların Sterilizasyonu” konulu genelgede, tek kullanımlık aletlerin yeniden

kullanılmasının yasak olduğu ifade edilmiştir (T.C Sağlık Bakanlığı İlaç ve Eczacılık Müdürlüğü, 2011)

Geri Dönüşüm Uygulamalarında Engeller

Geri dönüşüm uygulamaları, sağlık bakım hizmetlerinde sürdürülebilirlik açısından önemli bir potansiyele sahip olmakla birlikte, çeşitli yapısal ve davranışsal engeller nedeniyle sıklıkla kesintiye uğramaktadır. Ülkemizde özellikle kaynağında ayrıştırma alışkanlığının olmaması, her atığın “çöp” olarak değerlendirilmesi, atıkların ekonomik değerine ilişkin farkındalığın yetersizliği, kurumlar arası iş birliğinin zayıflığı ve eğitim faaliyetlerinin sınırlı olması, geri dönüşüm süreçlerinin etkinliğini azaltan başlıca nedenler arasında yer almaktadır. Ayrıca sağlık kuruluşlarında çalışan hemşirelerin de çoğunlukla yeşil uygulamaları göz ardı ettikleri ya da iş yükü nedeniyle bu uygulamalardan vazgeçmek zorunda kaldıkları bildirilmektedir (Bartoli vd., 2025).

Literatürde sağlık kuruluşlarında geri dönüşümün önündeki engeller şu başlıklar altında özetlenmektedir:

- Enfeksiyon bulaş riski konusundaki kaygılar,
- Atıkları türlerine göre ayrıştırmada güçlükler,
- Ayrıştırma ve depolama için alan yetersizliği,
- Kurumsal düzeyde etkin bir atık yönetim sisteminin bulunmaması,
- Finansman ve insan kaynağı eksiklikleri,
- Çalışanlarda farkındalık ve motivasyon yetersizliği,
- Değişime direnç ve kurum kültürünün sürdürülebilirlik odaklı olmaması,
- Hizmet içi eğitimlerin sınırlılığı (Bulut ve Kasap, 2023; Sürme, 2025; Şimşek ve Özsoy, 2024).

Bu bulgular, sürdürülebilir sağlık hizmetlerinde geri dönüşümün yalnızca teknik bir süreç değil, aynı zamanda kültürel ve yönetsel bir dönüşüm gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Bu noktada eğitim, en kritik bileşenlerden biridir. Nitekim sürekli eğitim programları aracılığıyla sağlık çalışanlarının farkındalıklarının artırılması, kaynağında uygun ayrıştırma becerilerinin geliştirilmesi ve enfekte olmayan atıkların tıbbi atık kutularına atılmasının önlenmesi mümkün olabilmektedir (Kıvanç vd., 2020).

Yasal ve Etik Düzenlemeler

Dünyada tek kullanımlık malzemelerin tekrar kullanımının yaygınlaşması; tıbbi, etik ve yasal açıdan çok yönlü tartışmalara yol açmıştır. Tek kullanımlık tıbbi malzemelerin yeniden kullanımına ilişkin riskleri ortaya koyan çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, maliyet avantajı sıkça vurgulansa da hasta güvenliği bu süreçte öncelikli kaygı olarak öne çıkmaktadır (Akçay, 2018). Tıbbi açıdan, yetersiz temizlik ve dekontaminasyon, çapraz enfeksiyon riski, mekanik hasar, prion hastalıklarının bulaşma olasılığı, toksik kalıntılar, biyolojik uyumsuzluk, fonksiyonel güvenilirlik sorunları ve malzeme bütünlüğünün bozulması gibi ciddi riskler söz konusudur (Yiğit, 2016).

Etik ve hukuki açıdan ise, hastadan bilgilendirilmiş onam alınmaması, tekrar kullanım sonrası ortaya çıkabilecek tıbbi malpraktis olasılıkları ve bu durumların doğuracağı yasal sorumluluklar tartışmaların merkezinde yer almaktadır. Bu bağlamda, literatürde şu sorular sıkça gündeme gelmektedir:

- Kullanım kılavuzuna aykırı olarak tek kullanımlık bir malzeme yeniden sterilize edilerek kullanılabilir mi?
- Tekrar sterilizasyon işlemi malzemenin kalitesini ve performansını nasıl etkiler?
- Tekrar kullanım sonucu bir hasta zarar görürse yasal sorumluluk kime aittir?
- Hukuken geçerli bir bilgilendirilmiş onam alınmış olsa bile, hastaya tekrar kullanılacak malzemenin riskleri açıkça bildirilmiş midir?
- Tekrar kullanımın zararına ilişkin yeni kanıtlar ortaya çıkarsa, sağlık kuruluşunun reuse malzeme kullanılan hastaları izleme ve bilgilendirme sorumluluğu var mıdır?
- Tekrar kullanım ile bir hastayı tedavi etmek etik olarak kabul edilebilir mi? (Otur vd., 2022; Yiğit, 2016).

KAYNAKLAR

- Ahmed, F. R., Nasr, W., Alhidhani, M., Musaeed, M., Hmeidi, H., Al-Yateem, N., ... & AbuRuz, M. E. (2025). Greening critical care: Exploring environmental sustainability challenges and opportunities in the Emirati ICU context. *Nursing & Health Sciences*, 27(1), e70071.
- Akçay, A., & Akçay, M. (2019). Kardiyolojide kullanılan tek kullanımlık malzemelerin tekrar kullanımı durumunda maliyetin belirlenmesi. *Klimik Journal/Klimik Dergisi*, 32(2), 140-145.
- Bartoli, D., Petrosino, F., Midolo, L., Pucciarelli, G., & Trotta, F. (2025). Critical care nurses' experiences on environmental sustainability: A qualitative content analysis. *Intensive and Critical Care Nursing*, 87, 103847.
- Bein, T., Weiss, M., & Schellongowski, P. (2021). What's new in intensive care: Environmental sustainability. *Intensive Care Medicine*, 47(8), 903-905. <https://doi.org/10.1007/s00134-021-06455-6>
- Bulut, A., & Kasap, R. İ. (2023). Hemşirelerin Çevre Bilinci Ölçeği Türkçe formunun psikometrik özellikleri. *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Dergisi*, 6(10), 1384-1403.
- De Waele, J. J., Hunfeld, N., Baid, H., Ferrer, R., Iliopoulou, K., Ioan, A. M., ... & Azoulay, E. (2024). Environmental sustainability in intensive care: The path forward. An ESICM Green Paper. *Intensive Care Medicine*, 50(11), 1729-1739.
- Ertaş, H., & Güden, M. A. (2019). Hastanelerde tıbbi atık yönetimi. *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, 1(1), 53-67.
- González-Pizarro, P., Brazzi, L., Koch, S., Trinks, A., Muret, J., Sperna Weiland, N., ... & Buhre, W. (2024). European Society of Anaesthesiology and Intensive Care consensus document on sustainability: Four scopes to achieve a more sustainable practice. *European Journal of Anaesthesiology*, 41(4), 260-277. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001942>
- Iliopoulou, K., Leone, M., Hunfeld, N., Ferrer, R., Baid, H., Ostermann, M., ... & De Waele, J. J. (2025). Environmental sustainability in intensive care: An international survey of intensive care professionals' views, practices and proposals to the European Society of Intensive Care Medicine. *Journal of Critical Care*, 88, 155079.
- Kıvanç, M. M., Türen, S., Atakoğlu, R., & Özçalık, C. K. (2020). Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine erişimde hemşirenin önemi. *Sağlık ve Yaşam Bilimleri Dergisi*, 2(2), 74-78.

- Leppänen, T., Kvist, T., McDermott-Levy, R., & Kankkunen, P. (2022). Nurses' and nurse managers' perceptions of sustainable development in perioperative work: A qualitative study. *Journal of Clinical Nursing*, 31(7-8), 1061-1072.
- Martyn, J. A., Paliadelis, P., & Perry, C. (2019). The safe administration of medication: Nursing behaviours beyond the five-rights. *Nurse Education in Practice*, 37, 109-114.
- Masud, F. N., Sasangohar, F., Ratnani, I., Fatima, S., Hernandez, M. A., Riley, T., ... & Vincent, J. L. (2024). Past, present, and future of sustainable intensive care: Narrative review and a large hospital system experience. *Critical Care*, 28(1), 154.
- McGain, F., Story, D., Hendel, S., & Peake, S. (2015). Auditing operating room recycling: A management case report. *A&A Case Reports*, 5(3), 47-50. <https://doi.org/10.1213/XAA.0000000000000097>
- McGain, F., Muret, J., Lawson, C., & Sherman, J. D. (2020). Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. *British Journal of Anaesthesia*, 125(5), 680-692.
- Nightingale, F. (1992). *Notes on nursing: What it is, and what it is not*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Pradere, B., Mallet, R., de La Taille, A., Bladou, F., Prunet, D., Beurrier, S., ... & Pinar, U. (2023). Climate-smart actions in the operating theatre for improving sustainability practices: A systematic review. *European Urology*, 83(4), 331-342.
- Schuster, M., & Bein, T. (2025). Ökologische Nachhaltigkeit in der Intensivmedizin [Environmental sustainability in intensive care medicine]. *Die Anaesthesiologie*, 74(4), 189-203. <https://doi.org/10.1007/s00101-024-01485-3>
- See, K. C. (2023). Improving environmental sustainability of intensive care units: A mini-review. *World Journal of Critical Care Medicine*, 12(4), 217-225.
- Smale, E., Baid, H., Balan, M., McGain, F., McAlistar, S., De Waele, J. J., ... & Hunfeld, N. (2025). The green ICU: How to interpret green? A multiple perspective approach. *Critical Care*, 29(1), 80.
- Sürme, Y., Maraş, G., & Aydin Akbuğa, G. (2025). Environmental sustainability, medical waste management, energy and medicine consumption of the surgical intensive care nurses: A qualitative study. *Nursing in Critical Care*, 30(1), 27-36.
- Şimşek, H. G., & Özsoy, S. A. (2024). Sağlık kuruluşlarında hemşireler için yeşil bir uygulama: Geri dönüşüm. *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 9(1), 145-151.

- T.C. Sağlık Bakanlığı İlaç ve Eczacılık Genel Müdürlüğü. (2011). *Tıbbi cihazların sterilizasyonu hakkında genelge*. Ankara: Sağlık Bakanlığı.
- Tordjman, M., Pernod, C., Bouvet, L., & Lamblin, A. (2022). Environmentally sustainable practices in the operating room: A French nationwide cross-sectional survey of anaesthesiologists and nurse anaesthesiologists. *Turkish Journal of Anaesthesiology and Reanimation*, 50(6), 424-430.
- Wyssusek, K. H., Foong, W. M., Steel, C., & Gillespie, B. M. (2016). The gold in garbage: Implementing a waste segregation and recycling initiative. *AORN Journal*, 103(3), 316.e1-316.e8.
- Yiğit, V. (2016). Tek kullanımlık tıbbi malzemelerin yeniden kullanımı: Sistematiik tarama. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 8(2), 58-76.