

# İmplant üretiminde sürdürülebilirlik ve etik boyutlar

## Sustainability and ethical dimensions in implant production

Levent Bayam<sup>1</sup>, Kadir Öznam<sup>1</sup>, Mehmet Erdem<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Medipol Üniversitesi Sefaköy Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul

<sup>2</sup>Özel Muayenehane, Bursa

Ortopedi, büyük ölçüde implantlara bağımlıdır ve yüksek miktarda atık üretir; bu nedenle sürdürülebilirlik, ele alınması gereken çok önemli bir konudur. Yüksek malzeme kullanımına rağmen, bu uzmanlık alanı atık azaltımı, geri dönüşüm ve enerji verimliliğinin artırılmasından da büyük ölçüde fayda sağlayabilir. Ortopedi alanındaki tek kullanımlık cihazlar, eklem implantları önemli miktarda atık üretmektedir, karbon emisyonu da yüksek miktardadır. Alet kutularındaki malzeme sayısı ve diğer ameliyat malzemelerinin taşınması da çevresel yükü büyük oranda artırmaktadır. Kompleks tedarik zincirine karşılık, karbon emisyonundan yeşil ortopediye geçilmesi de etik standartlarının geliştirilmesi de teşvik edilmesinde büyük faydalar olan, araştırmaya değecek ve iş birliği gerektiren alanlardır.

**Anahtar sözcükler:** implant üretiminde sürdürülebilirlik; yeşil ortopedi; geri dönüşüm; etik

Orthopedics is heavily reliant on implants and generates high levels of waste, therefore, sustainability is a crucial issue that needs to be addressed. Despite the high volume of material use, this speciality can also greatly benefit from waste reduction, recycling, and increased energy efficiency. Disposable devices and joint implants generate significant amounts of waste and high carbon emissions in orthopaedics. The number of materials in instrument boxes and the transport of other surgical materials also greatly increase the environmental burden. With involvement in a complex supply chain, the shift from carbon emissions to green orthopedics, coupled with the development of ethical standards, is an area that warrants research and collaboration, and offers significant benefits.

**Key words:** sustainability in implant production; green orthopedics; recycling; ethics

## İMLANT ÜRETİMİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirlik özellikle ortopedi ve travmatoloji gibi çok fazla implant tüketiminin olduğu bir alanda günümüz dünyasında önemli bir başlıktır. Kısaca gereksiz ve fazladan kullanımı azaltmayı hedefler ve yeniden kullanımı teşvik eder. Ortopedi ve travmatoloji alanında tek kullanımlık cihazlar ve tehlikeli maddeler de dâhil olmak üzere önemli miktarda atık üretmektedir ve bunun yanı sıra işçiliğin yoğun olduğu bir üretim zinciri, atık maliyeti de bu bütünlüğün bir parçasıdır.<sup>[1,2]</sup> Büyük eklem implantları, her bir vaka başına yüksek miktarda geri dönüştürülebilir atıklar üretmektedir.<sup>[3]</sup> Ayrıca plastik içeren ürünler de oldukça yoğun kullanımdadır ve bunların ancak %30'u kullanımda kalabilmektedir.<sup>[1]</sup>

Ürünlerin üretimden imhaya kadar olan yaşam döngüsü etkilerinin değerlendirilmesini, sürdürülebilir uygulamalara uyumu sağlamak için tedarikçilerle iş birliği yapılmasını, atıkları azaltmak için yeniden kullanılabilir

ve geri dönüştürülebilir ürünlere öncelik verilmesini, maliyetleri ve karbon ayak izini azaltmak için enerji verimli ürünlerin tercih edilmesini ve etik iş uygulamalarının sağlanmasını içerir.<sup>[2]</sup> Ortopedi branşı, diğer branşlara göre çok daha yoğun şekilde implantlara bağımlı bir cerrahidir. Aynı şekilde, ameliyathanenin boyutları hastanenin geneline kıyas ile ufak olduğu hâlde, tek başına bir kurumun %20 ila 30 arasındaki israfından sorumludur.<sup>[1]</sup>

Bu kadar yoğun dış malzeme, tedarik ve atık potansiyeline sahip ortopedi branşı, aynı zamanda önleyici tıbbi önem vererek gereksiz kullanımı azaltmak durumdadır.<sup>[1]</sup>

## ETİK

Bu konu ile ilgili etik hususlar, yüksek bakım standartlarını korurken sağlık çalışanlarını, hastaları ve toplulukları korumak için güvenli atık yönetimini sağlamayı içerir. Enfeksiyon kontrolü ve biyomedikal atık protokollerine uygun olarak yapılmalıdır.<sup>[2]</sup> Tüm sağlık sistemlerinin kit

**İletişim / Contact:** Prof. Dr. Levent Bayam • E-posta / E-mail: levbayam@hotmail.co.uk

**ORCID ID:** Levent Bayam, 0000-0001-5149-0829 • Kadir Öznam, 0000-0003-4971-7849 • Mehmet Erdem, 0000-0002-9683-1882

**Geliş / Received:** 4 Mayıs 2026 • **Revizyon / Revised:** 24 Haziran 2026 • **Kabul / Accepted:** 24 Haziran 2026

kaynakları tahsis etmesi gerekir ve bu tahsisin gerçekleştirilmesi normatif ilkelere dayanmalıdır. Örnek olarak, klinik olarak eş değer iki ilaç için sübvansiyon kararı alındığında ve bunlardan biri çevresel sürdürülebilirlik sorunu oluşturduğunda, sürdürülebilirlik ilkesinin çevresel olarak sorunlu olan ilaca sübvansiyon verilmemesini, diğerine ise verilmesini savunması, standart sağlık etiği düşüncesini sarsmaz.<sup>[4]</sup>

Çoğu ülkede, ortopedik cerrahların ameliyat yapmadan önce hastalardan bilgilendirilmiş onam alma yasal yükümlülüğü vardır. Bilgilendirilmiş gönüllü onam, bireyin seçim özgürlüğünü korur ve bireyin özerkliğine saygı duyar. Helsinki Bildirgesi'ne göre, bilgilendirilmiş onam önemliyken aynı zamanda içerdiği bilgilerin kolayca anlaşılması da önemlidir.<sup>[5]</sup> Onay formlarında sunulan bilgilerin karmaşıklığını tam olarak anlayamayabilecek savunmasız hastalar, adlarına imza atmak için yasal olarak bilgilendirilmiş veya yetkili bir temsilciye ihtiyaç duyabilirler. Okuma yazma bilmeyen durumlarda, tarafsız ve okuma yazma bilen bir tanık görevlendirilebilir ve hastalara gereksiz teşvikler uygulanmamalıdır.<sup>[2]</sup>

Tekrar kullanım, ortopedi alanındaki maliyetleri aşağı çekebilecek bir durumdur ve belki de sağlığa erişimi daha ekonomik hale getirebilir.<sup>[5]</sup> Örneğin, sürekli pasif hareket cihazı gibi, ameliyat sonrası buz makinaları ve hastane yatakları tekrar kullanılabilir ve kiralanabilirken tekrar kullanım etik açıdan değerlendirilmelidir.<sup>[6]</sup> Endoprotezler, vücut içinde kullanılan çivi, plak ve vidaların başka hastada tekrar kullanılması, yüksek enfeksiyon riskleri barındırır. Öte yandan eksternal fiksasyonun vücut içine girmeyen kısımlarının yeniden başka hastada kullanımı değerlendirilmesi gereken bir durumdur. Burada da implantın kime ait olduğu, tasarruflardan kimin yararlandığı ve yeniden işlenmiş parçaların kullanımının açıklanması gerekliliği konusunda sorular ortaya çıkmaktadır.<sup>[6]</sup>

Literatürde, eksternal fiksasyon sistemlerinin ve diğer yeniden kullanılabilir ekipmanların yeniden kullanılması durumu; etik sonuçlarının, implantın mülkiyeti, yeniden işlenmiş parçaların açıklanması, enfeksiyon riskleri, maliyet tasarruflarının dağıtımı ve insani kaygılarla ilgili hususları içerdiği belirtilmektedir.<sup>[2]</sup>

## KARBON EMİSYONU

Ortopedi ve travmatoloji oldukça yüksek karbon emisyonu gösteren bir tıp alanıdır. Özellikle ortopedi ve travmatoloji ameliyathaneleri, enerji yükleri, sarf malzemesi kullanımı ve kompleks tedarik zinciri nedeniyle orantısız bir yüksek katkı sunarlar.<sup>[7]</sup>

Buhar sterilizasyonu gereken tekrar kullanılabilir ameliyat setleri, Cobalt-60 gamma radyasyonu gerektiren tek kullanımlık setlere göre daha yüksek seviyelerde kar-

bon emisyonu üretir.<sup>[3]</sup> Sistematik bir analiz çalışmasında, en fazla karbon emisyonunun intraoperatif safhada olduğunu göstermiştir. Ortalaması ise cerrahi başına 15,0 kg CO<sub>2</sub>e idi, perioperatif safhaları da ekleyince bu miktar vaka başı 21,5 kg CO<sub>2</sub>e olmaktadır.<sup>[8]</sup> Bunlar oldukça yüksek miktarlardır.

İlginç bir başka bakış da, yüz yüze olan ve olmayan (telefon ile) ortopedi poliklinik randevuları kıyaslandığında, beklendiği gibi yüz yüze olan randevular, daha çok karbon emisyonu üretmiştir. Bunun ölçüm kriterleri de gidiş-geliş ortalama mesafesinde orta büyüklükte bir arabanın karbon emisyonu ve hastane ziyaretinde ortaya çıkan ısıtma, ışıklandırma ve atık üretimi hesaba katılarak hesaplanmıştır.<sup>[9]</sup> Karbon emisyonu konusunda son zamanlardaki global farkındalığa rağmen ortopedik uygulamalar parçalı bir görünüm göstermektedir.<sup>[7]</sup>

## YEŞİL ORTOPEDİ KAVRAMI

Yeşil cerrahi terminolojisi başlangıçta, ameliyat odalarında enerji tüketimini azaltmak için kurgulanmıştır.<sup>[10]</sup> Yani cerrahi uygulamaların çevresel yükünü azaltmayı hedefler. Aynı şekilde, yeşil ortopedi kavramı daha etkili bir döngü mekanizması kurmayı, cerrahi alet kutularındaki alet sayısını gerekli miktara kısıtlamayı ve gereksiz uygulamalardan uzaklaşmayı hedefler.

Ortopedik işlemlerdeki gereksiz kullanımlar arasında büyük varyasyonlar mevcuttur. Bu kullanımlar revizyon artroplastisinde en yüksek boyuta ve karbon emisyonuna çıkarken, artroskopik işlemlerde an az indirgenmektedir.<sup>[10]</sup> Daha önceleri kullanılan tekrar kullanılabilir malzemelerden, enfeksiyon endişesiyle beraber, tek kullanımlık malzemelere geçiş, gereksiz kullanımı büyük ölçüde artırmıştır. Bunların ötesine geçen durum da tedarik zincirleri, paketleme, üretim, implant ve diğer ameliyat malzemelerinin taşınması da çevresel yükü büyük oranda artırmaktadır.<sup>[10]</sup>

Dünya Sağlık Örgütü (*World Health Organization*) de yeşil sağlık programı, ameliyathane gibi müdahalenin yüksek etkisi olan alanlara özellikle vurgu yapmaktadır.<sup>[7]</sup> Yeşil ortopedi tanımlamaları arasında, tek başvuruda değerlendirme modeli (*one-stop*) klinikler, uzaktan erişimli ve sanal konsültasyonlar, gereksiz hastane ziyaretlerini azaltılması vardır. Dijitalleşme sonucunda, kâğıt kullanımının azaltılması, elektronik dosya ve haberleşmeye dönülmesi, yine yeşil ortopediye katkı sağlar ve sadece bunlarla da sınırlı değildir.<sup>[1]</sup> Ortopedik cerrahinin çevresel etkisini anlamak, ameliyathane atıklarının ötesine geçerek tedarik zinciri emisyonlarını, sterilizasyon süreçlerini, ameliyat sonrası bakım gereksinimlerini, atık bertarafını ve komplikasyonların tedavisini de içeren tüm bakım yolunun incelenmesini gerektirir.<sup>[10]</sup>

## GERİ DÖNÜŞÜM (RECYCLING)

Ortopedi ve travmatolojinin özellikle perioperatif dönemindeki gereksiz kullanımı olan cerrahi malzemenin geri dönüşümü çok azdır ve dolayısı ile üzerinde durulması gereken bir konudur. Elli beş hasta ile yapılan bir çalışmada, ortopedinin alt uzmanlıkları arasında en fazla malzeme kullanımı artroplasti alanında olmuştur.<sup>[11]</sup> Bu alt uzmanlık alanı aynı zamanda en fazla geri dönüşümün sağlanabileceği alandır. Özellikle eklem büyüklüğü arttıkça, geri dönüşüm olabilecek atık miktarı da artar.<sup>[3]</sup> Ayrıca, total kalça ve diz protezlerinde, artan hastaya özel ve modüler implantlar da bu gereksiz kullanımı artırmaktadır. Azimi ve ark.'nın yaptığı çalışmada, vaka başı ortalama atık miktarı 8 kilograma (kg) yakinken artroplasti için bu miktar 9,3 kg'ı aşmaktadır.<sup>[12]</sup>

Ortopedi ve travmatoloji açısından özellikle ameliyathanelerdeki etkili geri dönüşüm programları, bu konudaki çöpleri engelleyerek ekolojik ayak izlerini azaltabilir. Elbette bu, fiiliyatta her zaman düz bir yol değildir. Başlangıçta belli bir miktar yatırım, maliyet ve güvenlik gibi endişeleri içeren bir dizi güçlükler içerir. Sonuçta, bu konuda global bir çeşitlilik vardır, Birleşik Krallık'ta çok az bir geri dönüşüm varken Avustralya'da çok yaygındır.<sup>[11]</sup>

Üretici firmalarla yapılan bir anket çalışmasında, yeterli geri dönüşüm çalışmaları olmadığı görülmüştür. Her ne kadar basılı el kitapçıklarının yerini şimdilerde elektronik versiyonları olsa da, çalışmaya katılan firmaların ancak yarısı, kağıt ve plastik materyalleri azaltma çalışması yapmaktaydı ve bunların çok azı, bu konuda internet sayfalarında daha spesifik bilgi vermektedir.<sup>[13]</sup>

Jambulingam ve ark.'nın yaptığı 211 hastalık bir çalışmada ise hastaların geri dönüşümle ilgili yaklaşımlarını incelemiştir. Buna göre hastaların %90'ı kendi ortezlerini geri dönüşüme vermeye gönüllüken yine %90 oranında bir hasta grubu da bunları kullanmaya gönüllü olduklarını belirtmişlerdir.<sup>[14]</sup> Bu konudaki etik sorunların açıklığa kavuşturulması hariç geri dönüşüm açısından iyimser bir tablo oluşturmaktadır.

Geri dönüşüm konusu ile ilgili cerrahi kurum ve dernekler de stratejiler belirlemişlerdir. Örneğin İngiltere Kraliyet Cerrahi Koleji (*Royal College of Surgeons of England*), cerrahide sürdürülebilirlik stratejisi oluşturmuştur. Bu strateji tek kullanımlık malzeme yerine çok kullanımlıkları teşvik etmektedir.<sup>[14]</sup> Kısacası bu konu ortopedi açısından yol alınabilecek bir alandır.

## ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Dünya Sağlık Örgütü'nün yeşil sağlık programı belli stratejilerin uygulanmasını teşvik etmektedir. Bunlar, azaltma, tekrar kullanım ve geri dönüşüm, tekrar değer-



Şekil 1. Yeşil ortopedi stratejileri.

lendirme, tekrar düşünme işlemleri ve sürdürülebilirlik araştırmaları yapmayı içermektedir (Şekil 1).

Kanıtlar şunu göstermiştir ki, sterilizasyona her seferinde girecek alet sayısının optimizasyonu, atık ayırma işlemlerinin geliştirilmesi, düşük seviyede anestezi ve çevreye uyumlu tedarik, zararlı etkileri %20-70 arasında azaltılabilir.<sup>[7]</sup> Çok kullanımlı aletler, ameliyat kıyafetleri ve cerrahi örtü sürdürülebilir çözümler sunabilir. Diğer bir fayda da setleri küçültmekle olabilir.<sup>[1]</sup> Başlıca yaklaşımlar arasında malzemelerin geri dönüşümü ve yeniden kullanımı, kapalı döngü tedarik zincirlerinin uygulanması ve sürdürülebilir tedarikin teşvik edilmesi yer almaktadır.<sup>[2]</sup> Hatta bir çalışmada, ameliyat ortamında uygulamadaki basit değişiklikler ile su tüketimini %63 azaltmak mümkün olmuştur. Ameliyat öncesi el yıkama hazırlığında alkol bazlı preparat kullanımı hem daha az su ve hem de zaman tasarrufuna yardımcı olabilir.<sup>[3]</sup> Başka bir öneri de 3 boyutlu baskının döngüsel ekonomi yapısı, üretimde sürdürülebilirliği ve tedarik zincirinin kısılmasını teşvik edebilir. Maliyetlerde azalmanın yanı sıra karbon emisyonları da daha düşüktür. Geleneksel ortopedik implantların ürettiği atıklara alternatif olarak 3 boyutlu baskı, biyolojik olarak parçalanabilir malzemeye geçişte bir basamak olabilir veya en azından araştırmaya değer bir noktadır.<sup>[15]</sup> Ortopedi cerrahisinde çevresel olarak sürdürülebilirlik değişikliklerin güvenli ve etkili bir şekilde uygulanmasının yollarını belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Çevresel sürdürülebilirlik uygulanmasındaki en yaygın engeller ise eksik altyapı ve eğitim eksikliğidir.<sup>[3]</sup>

Sonuçta ortopedi ve travmatoloji alanı, sağlık hizmetleri açısından çevre üzerindeki karbon ayak izine katkıda bulunmaya devam etmektedir ve bunun en önemli bacaklarından birisi, ameliyathanelerdeki atık yönetimidir. Gittikçe artan yeşil ortopedi çabaları tartışılmaya başlanmış ve buna dair araştırmalar ön plana çıkmaya başlamıştır. Sürdürülebilirlik için teşvik edilmesine ve uygulanmasında iş birliğine ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

1. Kodumuri P. Greening orthopaedics: A surgeon's call for sustainability. British Orthopaedic Association 2023. Erişim adresi: <https://www.boa.ac.uk/resource/greening-orthopaedics-a-surgeon-s-call-for-sustainability.html> (Erişim tarihi: 03.03.2026).
2. Kar A, Pant A, Shah R. Ethical considerations in the management of orthopedic surgery waste: Balancing environmental protection and participant safety. *Cureus* 2024;27;16(9):e70342. [Crossref](#)
3. Phoon KM, Afzal I, Sochart DH, Asopa V, Gikas P, Kader D. Environmental sustainability in orthopaedic surgery: A scoping review. *Bone Jt Open* 2022;3(8):628-40. [Crossref](#)
4. Munthe C, Fumagalli D, Malmqvist E. Sustainability principle for the ethics of healthcare resource allocation. *J Med Ethics* 2021;47:90-7. [Crossref](#)
5. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA* 2013;310(20):2191-4. [Crossref](#)
6. Friedman Lisa GM, Suk M. The ethical implications of reusing external fixation systems: A used car or a plastic water bottle?. *JOEI* 2021;2(2). [Crossref](#)
7. Regmi A, Baral S, Sami A, Jain VK. Greening orthopaedic surgery: Carbon footprint, waste generation, environmental impact, and mitigation strategies. *J Orthop* 2026;73:86-94. [Crossref](#)
8. Ari B, Canli EA. Carbon footprint of orthopedic and trauma surgeries: A systematic review and meta-analysis. *Med Science* 2025;14(4):1001-7. [Crossref](#)
9. Curtis A, Parwaiz H, Winkworth C, Sweeting L, Pallant L, Davoudi K, et al. Remote clinics during coronavirus disease 2019: Lessons for a sustainable future. *Cureus* 2021;13(3):e14114. [Crossref](#)
10. Mohamed A, Fuad U, Elsayed A, Elasad A. Green surgery and sustainability in orthopaedic operating rooms: A comprehensive review of environmental initiatives. *Cureus* 2025;17(8): e91369.
11. Kooner S, Hewison C, Sridharan S, Lui J, Matthewson G, Johal H, et al. Waste and recycling among orthopedic subspecialties. *Can J Surg* 2020;21;63(3):E278-E283. [Crossref](#)
12. Azimi B, Danti S, Donati M C, Lodovici V, Shahraki A, Macchi T, et al. Quantification and recycling of orthopedic surgical waste: Toward circular economy approaches in hospitals. *Mater Today Commun* 2026;50:114533. [Crossref](#)
13. Kawamura H, Nishino T, Mishima H. Reducing/recycling product packaging materials and implementing sustainable development goal initiatives in orthopedic artificial joint manufacturing and sales companies: A questionnaire-based survey. *Cureus* 2024;16(11):e74556. [Crossref](#)
14. Jambulingam R, Mirza Y, Kemp M. Doctor, can we reuse this brace; patient attitudes towards reuse of orthopedic braces. *Arch Orthop* 2024;4(1):5-12. [Crossref](#)
15. Alyssa Cevetello BS, Janae Rasmussen DO, Noamaan Farooqui MS, Mohammed Ghazali BS, Michael Critelli MS, Claudia Polanco MD, et al. Orthopedic surgery environmental sustainability recommendations: A literature review. *Am J Clin Med Res* 2025;13(1):13-7. [Crossref](#)