



## Ortopedide biyomalzeme kullanımı: Genel bilgiler ve tanımlar

### The use of biomaterials in orthopedics: general information and definitions

Taşkın Ceyhan,<sup>1</sup> Nusret Köse<sup>2</sup>

Biyomalzeme Araştırmacı, Ortopedi ve Travmatoloji Uzmanı, İstanbul;  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Eskişehir

Metalik, seramik, polimerik ve kompozit malzemeler olmak üzere dört başlık altında gruplandırılabilen biyomalzemeler insan vücudunda vücut sıvıları ile etkileşimde bulunmakta ve mekanik etkilere ve kimyasal etkilere uğramaktadırlar. Bu derlemede ortopedi ve travmatoloji bilimi alanında vücut içinde kullanılan biyomalzemeler ile ilgili tanımlar verilmiş ve genel bilgiler özetlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Biyomalzeme; seramik; implant; polimer.

Biomaterials which can be divided into four groups as metals, ceramics, polymers and composite materials are in a constant interaction with body fluids and are exposed to mechanical and chemical effects in the body. This review provides the definitions and summarizes the general information on biomaterials used in the human body in the field of orthopaedics and traumatology.

Key words: Biomaterials; ceramic; implant; polymers.

Mühendislik olarak herhangi bir şeyi imal etmek için kullanılan maddelere "malzeme" adı verilir. Biyolojik ortamda çalışmayan dokuları, hasar görmüş organları tedavi etmek ya da onlara destek vermek amacıyla vücutta kullanılan malzemelerin hepsine "Biyomalzeme" denir ve bunlar sürekli olarak ya da belli aralıklarla vücut sıvılarıyla temas ederler. Eğer bir malzeme canlıda kullanılıyorsa bu malzemenin mekanik etkilere (kas hareketi ve vücut ağırlığı), kimyasal etkilere (korozyon ve parçalanma), sıcaklık ile radyasyona dayanabilmesi ve osteointegrasyon (dokulara uyabilen, toksik etkisi olmayan) özelliğine sahip olması istenir. Ortopedide en fazla kullanılan malzemeler (çoğunluğu metalik implantlar) mekanik dayanıklılıkları nedeniyle tercih edilmektedir. Kemik, kırık veya tendon yerine geçecek olan malzemelerin bu dokulara en yakın özelliklerde olması için çaba harcanmaktadır.<sup>[1-3]</sup>

Tüm biyomalzemelerin mekanik özelliklerinin vücut dokuları ile etkileşimde ne şekilde değişiklik göstereceği önemlidir. İmplantın duran veya hareket halindeki bedende ağırlık yüklenmelerine ve kas kasılmalarına verdiği yanıt aynı zamanda onun

kemikle bütünleşme (osteointegrasyon) kapasitesini de etkileyecektir. Kendi başına çok sert olan bir metal, insan kemiği için iyi olmayabilir. Buna karşın kemiğin esnekliğine ve mekanik özelliklerine daha yakın olan bir metal bedende daha iyi ve uyumlu bir iş görebilir (Tablo 1). Biyomalzemeler metalik, seramik, polimerik ve kompozit malzemeler olmak üzere dört başlık altında gruplandırılabilir. Kırıkların tedavisinde kullanılan plak, vida ya da kanal içi çiviler ile eklem hastalıklarında uyguladığımız kalça protezleri, diz protezleri, yapay kemikler ve omurga protezleri biyomalzemelerden üretilen tipik implant örneklerindedir. Endüstrileşme, uzay sanayi ve askeri teknoloji alanındaki gelişmeler ile ortopedik cerrahi alanındaki ilerlemeler günümüzde implant malzemelerin tıpta kullanımını çok artırmıştır. Ülkemizden yeterli veri olmasa da, örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl 11 milyon hastaya, Almanya da ise 2.5 milyon hastaya bir medikal implant uygulandığı bilinmektedir. Bu malzemeleri kullanacak hekimlerin malzemelerin ve malzeme gruplarının iç yapıları, davranışları, özellikleri ve bu özellikleri etkileyici faktörler konusunda bilgisi olmalıdır.

Evreni oluşturan ögeler arasında hava, su, güneş ile birlikte toprak da önemlidir. Gökbilimciler evrenin 14 milyar yıl önce büyük patlama ile meydana geldiğini o zamandan beri merkezi bir noktadan sürekli olarak genişlediği konusunda kanıtlar toplamıştır.<sup>[4]</sup> Yerküre ve güneş sisteminin geri kalanı yaklaşık 4.6 milyar yıl yaşındadır.<sup>[1]</sup> Dünyanın en dış katmanına "kabuk" denir. Yerküre üzerindeki kayalar yerkürenin derinliklerinden püskürmüş ergimiş malzemeden (magma) meydana gelmiştir. Magma çözülmüş gazlar içeren erimiş kayadır. Magmatik kayalar mineraller de içermektedir.<sup>[2]</sup> Yeraltından yüzeye çıktıktan sonra lav olarak adlandırılan bu maddenin soğuyup katılaşmasıyla mineral içeren katı kayalar oluşur. Tortul kayalar ise yaşlı kayaların parçalanması ve sudaki minerallerin çökmesiyle oluşur. Kabuğun büyük kısmı beş elementten oluşmuştur. (Oksijen %46, silisyum %27, alüminyum %8, demir %5, kalsiyum %3 ve diğerleri %9). Kabukta saf veya bileşik halde bulunan elementlere mineral denir. Bazı bakterilerle organik maddenin kendisini oluşturan inorganik maddelere parçalanması veya solunumla çıkan karbondioksitin çevreye dönmelerinden sonra karbona ayrışması mineralizasyon olarak bilinir.<sup>[2]</sup> Metal içeren mineraller cevher ismini alır. Mineral kümeleri silika (oksijen ile birleşmiş silisyum içerenler) silikatlar, karbonatlar (karbon ve oksijenlerle birleşenler) halojenürler (halojen elementleri içeren), sülfürler (kükürtle birleşmiş elementler), fosfatlardır (fosfor, oksijen ve başka elementlerle tepkime verenler).

Malzemeler moleküllerden, moleküller atomlardan oluşur. Yalnız bir tür atom içeren maddeye "element" denir. Altmış beş adet doğal metal, 16 adet doğal ametal, dokuz adet yarı metal (metalimsi, metaloid) vardır. Altın gibi bazı elementler yalnız bulunabilir ancak çoğu yalnız başına bulunmaz, bazı elementlerle bileşik halde bulunurlar. Karbon canlıların elementi olup tüm canlı varlıklarda bulunan, katı ametal bir elementtir. Maddeler gaz, sıvı ve katı halinde olurlar.

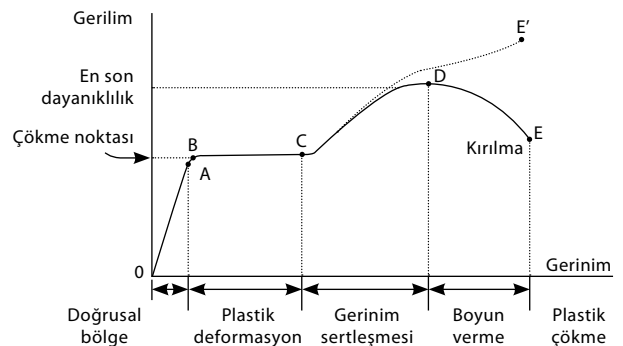
**Tablo 1.** Farklı malzemelerin elastik modülü (sertlik) ve gerilme gücü

Materyal	Elastik modül (Sertlik, GPa)	Tensil güç (Gerilme, MPa)
Paslanmaz çelik	190	480
Co-Cr-Mo	200	650
Ti6Al4V	110	860
UHMWPE	2.2	30
Kortikal kemik	10-20	100-200
Spongiyöz kemik	0.2-0.5	10-20

GPa: Gigapaskal; MPa: Megapaskal; Pa: Paskal (1 metrelik aynı yapıdaki alana düşen 1 newton'luk yük); Co-Cr-Mo: Kobalt-krom-molibden; UHMWPE: Çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilen.

Ortopedide kullanılan biyomalzemelerin çoğu katı maddelerdir.

Vücutta kullanılan implantlarda bir kuvvet zorlamasına (kas hareketi) ya da ağırlığa karşı malzemenin davranış ve yanıtlarındaki değişiklikler, mekanik özellikler, olarak tanımlanır. Burada kuvvet, hareket, yön ve hız gibi değişkenler devreye girer. Mekanik, cisimler üzerindeki kuvvetler, hareket ve cisimler arasındaki ilişkilerle ilgilenir. Statik ve dinamik olarak iki gruba ayrılabilir. (i) Statik, iç ve dış kuvvetleri denge halinde bulunan sistemler ve sıvılar ile sabit hızla hareket eden sistemleri inceler. (ii) Dinamiğin temel konuları ise kinematik (hareket-geometri), kinetik (hareket-kuvvet) ilişkileri veya sıvılar (akışkanlar dinamiği)'dir.<sup>[5]</sup> Biyomekanik bilim dalı vücutta kullanılacak bir malzemeye dışardan uygulanan kuvvetler ve bu kuvvetler ile oluşan iç etkiler ve deformasyonları inceler. Cisme etki eden kuvvetler (kompresyon, gerilme, torsiyon ve makaslama) cisimde biçim değişiklikleri (deformasyon) oluşturabilir. Bu biçim bozukluğu geçici (elastik) ya da kalıcı (plastik) olabilir. Bir malzemenin biyomekanik özellikleri basınç (stress) ve gerinim (strain) ile ölçülür. Basınç, bir malzemenin birim yüzeyine etki eden kuvvettir. Uygulanan yüke karşı cismin içsel direnci ile ilgilidir, birimi paskal (N/m<sup>2</sup>)'dir. Gerinim ise yüklenmeye bağlı olarak cisimde oluşan biçim bozukluğunun (deformasyon) görece ölçülmesidir. Gerinim bir orantıdır dolayısıyla birimi yoktur. Temel olarak belirli bir sınıra kadar uygulanan kuvvet (stres) ile gerinim doğru orantılıdır (Hooke Kanunu). Young Modulusu bir materyalin sertliğinin ölçülmesi ya da deformasyona direnç kapasitesidir (elastisite). Elastik bir materyalin basınç/gerinim eğrisi kırılma noktasına kadar düz bir çizgidir (zorlama-gerilme eğrisi; Şekil 1). Diğer bir deyişle bir malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığında oluşan şekil değişikliği tamamen geri dönebiliyorsa (bir yayın uzadıktan sonra kısılması, çelik cetvelin büküldükten sonra düzelmesi) bu durum kalıcı olmayan şekil değiştirmedir (elastik deformasyon). Bununla bağlantılı olarak



**Şekil 1.** Bir malzemede gerilim-gerinim eğrisi.

bükülmezlik, sertlik (stiffness) malzemede oluşturulan geriye dönüşlü (elastik) şekil değişikliğinin bir nitel ölçüsüdür. Yani sertliği fazla olan bir metali bükmek için fazla güç harcamak gerekir. Kalıcı şekil değiştirme (plastik deformasyon) ise malzemeye uygulanan kuvvet ya da yüklenme kaldırıldığında oluşan şekil değişikliğinin geri dönmemesi (yayın eskisinden daha uzun kalması, metal cetvelin bükülü kalması) gibi kalıcı şekil değişimleridir.<sup>[5-8]</sup>

Kırılgan materyaller yetersizlik öncesinde kuvvet kaldırıldığında eski haline tamamen geri dönebilen bir şekil değişimine uğrarlar. Süneklik (ductility) malzemenin bir kuvvet uygulandığında kopmaksızın kalıcı biçim değiştirme (plastiklik) yeteneğidir. Genleşebilir (ductile) malzemeler kırılmadan önce büyük miktarda geri dönmez biçim bozukluğu gösterirler. Genleşme, çökme sonrası gelişen biçim bozukluğunun ölçümüdür. Tokluk (toughness) malzemenin darbeye direncinin bir ölçüsüdür. Bir malzemenin darbe ile kopmasına, kırılmasına ya da biçiminin bozulmasına karşı gösterdiği direnç tokluk olarak bilinir. Tokluk malzemenin ani yükünü ya da darbenin yükünü emme yeteneğidir. Yetersizlik olmadan önce (kırılma, kopma, eğilme) malzemenin her birim hacminde emilen enerji miktarı, o malzemenin iç tokluğu olarak tanımlanır. Akışmazelastik (viskoelastik) maddelerin (kemik ve bağlar) baskı-gerilme davranışı zaman-hız bağımlıdır. Akışmazelastik malzemenin elastik modulus değeri, gerilmesi arttıkça yükselir. Yükleme hızı arttıkça daha çok esneyen bir malzeme davranışı sergiler. Eşyönlü (izotropik) malzemeler her yönde aynı mekanik özellikleri gösterirler (örn. golf topu). Eşyönlü olmayan (anizotropik) malzemelerin uygulanan yükün yönüne göre mekanik özellikleri değişir (örn. kemik).

Bir malzemenin çökme noktası (yield point) malzemenin elastik özellikten plastik özelliğe geçiş noktasıdır. En son dayanıklılık malzemenin baskıya karşı gösterebileceği en fazla dayanma gücüdür. Kırılma noktası malzemenin zorlama ile kırıldığı noktadır. Plastik değişim yük kaldırıldıktan sonra geri dönmeyen boyut değişimi değeridir. Gerilme enerjisi, materyalin enerji (zorlama) emme yeteneğidir. Bir zorlama-gerilme eğrisinde eğrinin altındaki alandır. Bir malzemede yorulma yetmezliği (fatigue failure) son gerilme kuvvetinin altındaki değerlerde tekrarlayan yüklenmelerle oluşur. Yorulma yetmezliği yüklenmenin derecesine ve sıklığına bağlıdır. Eğer zorlama önceden tahmin edilen miktardan az ise, buna "endurans sınırı" (ne kadar sıklıkla uygulanırsa uygulansın materyalin kırılmadan özelliğini kaybetmediği en fazla zorlama) denir. Soğuk akma (creep); geniş bir zaman sürecinde uygulanan sabit kuvvetlere karşı

malzemelerde oluşan ilerleyici şekil bozukluğudur. Eğer sabit, devamlı yükleme sonrası ani bir zorlama uygulanırsa materyalde şekil bozulması devam eder akma gösterir. Bu işlem kalıcı bir deformite oluşturabilir ve malzemenin mekanik işlevlerini etkileyebilir. Bir malzeme sürekli ya da tekrarlayıcı bir kuvvet etkisinde kalırsa öyle bir noktaya gelir ki olabileceğinden daha az bir kuvvetle bükülür- eğilir, bu dayanma sınırıdır (endurance limit) ve malzemenin yorulduğunu (fatigue) gösterir. İşte bu sınırdan malzeme şeklini değiştirebilecek kuvvet olabileceğinden daha azdır. Yorulma dayanımı (fatigue strength); 500 milyon devirde yaratılan yorulma ile kopmayı gerçekleştirmek için gerekli gerilmedir. Dayanıklılık sınırı (endurance limit); yorulma testinde malzemenin kopabileceği gerilmenin altındaki bir gerilme değeridir. Yorulma ömrü (fatigue life); bir malzemenin yorulmasıyla kopmadan önce belirli gerilme yaratan kuvvetlerle karşılaştığı devir sayısıdır. Yorulma testi (fatigue test); akma dayanımı altında bir gerilme tekrarlı olarak uygulandığında malzemenin kopmaya karşı direncini ölçer. Akma dayanımı (yield strength) malzemede kalıcı şekil değişikliğine neden olan gerilmenin niceliğidir.

Metallerin vücut ortamında bulunan yüksek tuzlu çözeltide kimyasal çözülmesi yıpranma (korozyon) olarak adlandırılır, pek çok tipi vardır. (i) Basit korozyon, temas eden yüzeyde eşit yoğunlukta geride pul pul tabaka veya döküntü bırakır. (ii) Çatlak korozyonu oksijenin implant yüzeyindeki yarıkları etkilemesiyle oluşur. (iii) Noktasal korozyon, delikler ve noktalar şeklinde olan korozyondur. (iv) Değme korozyonu, sert cisimlerin implant yüzeylerine sürtünmesiyle bozulan yüzeylerde serum tuzunun etkisiyle oluşur. (v) Seçici korozyon, alaşım içindeki bazı metallerin seçilerek eritilmesidir. Hidrojene bağlı gevrekleşme (hydrogen embrittlement) atom halindeki hidrojenin çeşitli alaşımların, genellikle çeliklerin içine sızmasıyla oluşur. Kendi kendini tepkisiz (nötr) hale getirme (self passivating) korozyona karşı bir önlemdir. Seramikler aşınmaya karşı metallerden, ıslanabilirlik (wettability) ve ara yüzeyde koruyucu yağlayıcı tabaka oluşturmaları nedeniyle daha dirençlidirler.

Metaller genel olarak iyi süneklik, dayanım ve elektrik iletkenliğine sahip malzeme grubudur. Ortopedide kullanılan metaller alaşımdır bunlar farklı metallerin birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu şekilde metallerin farklı özellikleri bir araya getirilerek istenilen görevi yapacak özellikleri sağlayan implantlar yapılabilir. Örneğin çelik ve kromun birlikteliğiyle hem sağlam hem de korozyona dirençli, paslanmaz özellikte bir alaşım elde edilir. Süper alaşım ise nikel, demir ya da kobalt birlikteliğini içeren son derece sağlam ve dayanıklı alaşımdır. Paslanmaz çelik temelinde

demir karbon alaşımıdır yapıya molibden, krom, küçük değerlerde manganez ve silisyum da eklenmiştir. Yüksek dayanıklı, sünek ve iyi yorgunluk dayanımı vardır. Kobalt alaşımlar kobalt, krom ve molibdenden oluşur. Krom, sertlik ve aşınma direncini artırmak için kısmen de çatlak (crevice) korozyonunu azaltmak için kullanılır. Titanyum alaşımlar dayanıklılık ve katılık içeren yapısı, düşük özgül ağırlığı ve göreceli hafif oluşu, yüksek ısılara dayanıklılığı ve korozyona direnci için tercih edilir. Çabuk tepkimeye giren bir metal olup yüzeyinde oksit oluşur. Tantalum şimdiye kadar yapay olarak yapılan gözeneklere doğal olarak sahip olup bu nedenle kemik dokusunun implant içine doğru ilerlemesine izin verir. Mekanik dayanıklılığı yüksektir. Isıya dayanıklıdır.

İstenilen özelliklerin (daha sert, daha yumuşak ya da dayanıklı) sağlanması için metaller bir seri işlemlerden geçirilir. Soğuk şekillendirme bir malzemenin kristalleşme sıcaklığının altında yeniden şekil değiştirmesidir. Şekil değiştirirken aynı zamanda dayanımı da artar (pekleşme). Sıcak şekillendirme metalin sıcakta pekleşme artmadan şekil değiştirmesidir. Karbürleme (carburizing) bir çeliğe karbürün yayılmasıyla yapılan yüzey sertleştirme tekniğidir. Döküm işlemi (casting) eritilen metal ya da alaşımın bir kalıpla şekillendirilmesidir. İterek çıkartma (extrusion) eritilen bir metal ya da alaşıma iterek şekil verilmesidir. Tavlama (annealing) cam ve metalleri yüksek sıcaklıkta kızdırarak yumuşattıktan sonra yavaş yavaş soğutarak katılaştırma işlemine verilen addır. Soğuk şekillendirme etkilerini (pekleşmeyi) yok etmek, metali özgün yumuşak ve süneklik şartlarına geri döndürmek için tasarlanmış ısı işlemidir. Dövme (tampering) bir çekiçe döğülerek şekil verme işlemidir, malzemeyi sertleştirir. Dövmecilik (forging) ayrıca demiri ısıtarak işlemektir.

Polimerler normal olarak organik moleküllerin molekül zincirlerine ya da ağlarına bağlanması ile elde edilen malzeme grubudur. Polimerler düşük dayanım, ergime sıcaklıkları ve zayıf elektrik iletkenlikleri ile tanımlanır. Küçük moleküllerin (mer) birleşmesinden oluşan büyük moleküllerdir. Kemik çimentosu (bone cement, polimetilmetakrilat; PMMA) çok kullanılan önemli bir polimerdir. Çimentodaki gözeneklerin azalması yapısal dayanıklılığının artmasını sağlar. Polietilen ortopedide sık kullanılan önemli ikinci polimerdir. Düz bağlarla bağlanan mer'ler de ağırlık düşüktür. İlk kullanılan polietilenler bu şekilde idi. Daha sonra bağ sayısı ve

şekli değiştirilerek geliştirildi. Çok yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (ultra high molecular weight polyethylene; UHMWPE) çapraz bağlı olup günümüzde kullanılan asıl polietilendir. Çapraz bağlı polietilenin (cross-linked polyethylene), sıyrılma direnci, çapraz bağlı olmayan öncülerinden daha fazladır, yani dayanıklıdır. Yüksek darbe dayanımı, tokluk ve daha az sürtünme aşınması özelliği gösterir. Polietilen malzemelerin sterilizasyonunda radyasyon kullanılırsa ışınlama sonrası oksidasyon elastik modülüsü artırıp, sünekliği ve kırılma tokluğunu azaltacağı için kullanılmamalıdır. Polilaktik asit (PLA) polimerleri ve poliglolik asit (PGA) polimerleri vücutta parçalanmaya (degradation) uğrarlar. Bu parçalanma polimerlerin vücutta enzim ve hidrosilasyon ile parçalara ayrılması, erimesidir.

Ortopedide kullanılan diğer bir malzeme seramiklerdir. En çok bilineni alümina seramiktir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün yüksek sıcaklıkta fırında bekletilmesiyle elde edilir. Kalça protez kapları ve başlarının yapımında kullanılır. Biyoyumlu malzemedir. Sinterleme (sintering) küçük seramik parçaların yüksek sıcaklıkta ısıtılarak birleştirilmesidir. Cam seramikler silisyum elementi silica (SiO<sub>2</sub>) içeren malzemelerdir. Çeşitli oksitlerin oda sıcaklığında çözeltilerle birleştirilmesiyle yüzey reaktif cam seramikler elde edilir. Bunların doku ile temasında yüzeyde Ca ve PO<sub>4</sub> iyonları ile kimyasal tepkimeye girme özellikleri vardır. Bu şekilde yüzeyinde hidroksiapatit oluşumu için odaklar oluşturup kemikle bütünleşmeyi artırırılar.

## KAYNAKLAR

1. HB Skinner. Current diagnosis and treatment in orthopaedics. 3rd ed. New York: The McGraw-Hill; 2003.
2. Karol S, Suludere Z. Biyoloji terimleri sözlüğü. Ankara: Cevat Ayvalı Türk Dil Kurumu Yayınları; 2008. s. 448.
3. Türkçe sözlük. 10. Baskı. Ankara: TDK Yayını; 2005.
4. Douglas JF. Evolution. New York: Sinauer Associates; 2005. Çeviri editörü: Kence A, Bozcuk AN. Evrim. Ankara: Palme Yayıncılık; 2008. s. 69.
5. Çelik G. Mekanik büyüklükler. In: Akçalı İD, Gülşen M, Ün K, editörler. Kas-iskelet sistemi biyomekaniği. Adana: Güneş Kitapevi; 2009. s. 95-103.
6. Ceyhan T. Implant malzemeleri ve biyoyumluluk. In: Akçalı İD, Gülşen M, Ün K, editörler. Kas iskelet sistemi biyomekaniği. Adana: Güneş Kitapevi; 2009. s. 433-503.
7. Donald R. Askerland. Materials science and engineering materials 1. Çeviri editörü: Erdoğan M. Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri. Mekanik testler ve özellikler. Cilt 1, 3. Baskı. İstanbul: Nobel Yayın Dağıtım; s. 99-127.
8. Görgeç M, Öztürk İ, Aksoy B, Bombacı H. Ortopedi ve travmatolojide biyomateryeller. TOTDER 2005.