

Review / Derleme

TIBBİ UYGULAMALARDA KULLANILAN BİYOUYUMLU BİYOMALZEMELER

Biocompatible Biomaterials Used in Medical Applications

Zehra Deniz ÇIRAK¹  Derya Büşra YAKINCI² 

¹İnönü Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Malatya

²Marmara Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, İstanbul

Geliş Tarihi / Received: 29.05.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 04.06.2020

Yayın Tarihi / Published: 21.06.2020

ÖZ

Biyomalzemeler, canlı bir sistemin parçası yerine geçen veya canlı doku ile temas içinde çalışması için kullanılan doğal veya yapay malzemelerdir. Hastalıklı veya hasar görmüş organ ya da dokuların yerine kullanılmaları yanı sıra, bazı vücut fonksiyonlarını düzeltmek için omurga sabitleyiciler, bazı organların fonksiyonelliğini artırmak için kontakt lens, kalp pili, işitme cihazı gibi biyomalzemeler kullanılmaktadır. Ameliyat ipliği, vidalar, deri implantasyonu, silikonlar, diş telleri ve dental implantlar gibi pek çok alanda biyomalzemeler kullanılmaktadır. Biyomalzemeler, teknolojik gelişmesini sürdürürken biyoyumluluklarının çok önemli olduğu karşımıza çıkmaktadır. Tıbbi uygulamalarda kullanılan biyomalzemelerin belli bir süre veya sürekli canlı dokuyla teması sırasında olumsuz durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu olumsuzlukların giderilebilmesi işlemleri ve biyoyumlu biyomalzeme üretimi bir multidisipliner çalışma alanıdır. Bu çalışmada temel biyomalzeme çeşitleri, tıbbi uygulamalardaki kullanımları ve gelecekteki yeni-nesil biyoyumlu biyomalzemelerin üretiminin önemi belirtilmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyomalzeme, Biyoyum, İmplant, Tıbbi uygulama

ABSTRACT

Biomaterials are natural or artificial materials that replace part of a living system or are used to work in contact with living tissue. In addition to their usage in replacing diseased or damaged organs or tissues, spinal stabilizers are used to correct some body functions, biomaterials such as contact lenses, pacemakers, hearing aids are used to increase the functionality of some organs. Biomaterials are used in many areas such as surgical thread, screws, skin implantation, silicones, braces and dental implants. While biomaterials continue its technological development, it appears that biocompatibility is very important. Adverse conditions may occur when biomaterials used in medical applications come into contact with living tissue for a certain or continual period of time. To overcome these problems and to produce biocompatible biomaterials is a multidisciplinary field of study. In this study, basic biomaterial types, their use in medical applications and the importance of the production of future new-generation biocompatible biomaterials are indicated.

Keywords: Biocompatibility, Biomaterial, Implant, Medical applications

GİRİŞ

Biyomalzeme; vücudun herhangi bir organ, doku veya fonksiyonuyla yer değiştiren, tedavi eden ya da güçlendiren, bir sistemin herhangi bir parçası ya da tümü olarak belli bir zaman periyodu boyunca kullanılan doğal ya da sentetik kökenli madde (ilaçlardan farklı olarak) veya maddelerin birleşimidir (Williams, 1987; Williams, 2011). Biyomalzemeler, günümüzde bilimsel anlamda yeni olarak tanımlanmasına karşın tarihçesi oldukça eski zamanlara dayanmaktadır. Mısırlıların mumyalarında kullandıkları yapay göz, burun ve dişler tarihteki en eski biyomalzemelerdir. 1880’lerde fildişinden yapılmış protezlerin vücut içine yerleştirilmesi, diş hekimliğinde altının kullanımı, bronz ve bakırdan yapılmış çeşitli protezlerinin kullanımı milattan önceye kadar dayanmaktadır. İlk metal protez vitalyum 1938’de üretilmiş. (Park ve Kim, 2000) ve kırık kemiklerin tedavisinde vida ve plaka olarak kullanılmıştır (Niinomi, 2002).

Vücut içerisinde yabancı malzemelerin kullanımına yönelik çalışmalar 19. yüzyıl ortasından itibaren hızlanmıştır. 1950’lerde kan damarlarının değişimi, 1960’larda kalça protezleri, 1970’lerde ise sentetik ameliyat ipliği gibi birçok biyomalzeme kullanılmıştır. Son 45 yılda ise birçok metal, seramik ve polimer vücudun değişik parçalarının onarımı ve yenilenmesi için kullanılmaktadır (Gür ve Taşkın, 2004). İnsan vücudu protein ve oksijenli tuzlu çözeltiler içermektedir. Biyomalzemelerin, kullanımları esnasında deforme olmamaları, korozyona uğramamaları gerekmektedir. Ancak bazı implant malzemeleri, vücut tarafından kabul edilmekte bazıları da reddedilmektedir. Biyomalzemelerin, toksik ve kanserojen özellikte olmaması, mekanik dayanımlarının yeterli olması, vücutta meydana gelen reaksiyonların dışında reaksiyonlara sebep olmaması ve korozyona uğramaması gerekmektedir. Biyomalzemelerin, iltihaplanma, pıhtı oluşumu vb. gibi dokuların normal değişimlerine engel olmayacak ve istenmeyen tepkiler oluşturmayacak özellikte olmalıdır. Biyomalzemeler canlıdaki fizyolojik ortam tarafından kabul edilmeli ve biyouyumlu olması gerekmektedir (Güven, 2010). Biyomalzemelerin temel özelliklerini sayacak olursak; öncelikle fiziksel özelliklerini korumalı, kanserojen olmamalı, toksik olmamalı, alerjik olmamalı, uzun ömürlü olmalı, kullanım ömrü boyunca fonksiyonelliğini yitirmemeli, steril edilebilir olmalı şeklinde sıralayabiliriz.

Biyouyumluluk; bir biyomalzemenin vücut dokularına fiziksel, kimyasal, biyolojik uyumu ve vücudun mekanik davranışına sağladığı optimum uyumdur (Gümüşderelioğlu, 2002). Bir biyomalzemenin yaşayan yapıdaki fizyolojik ortam tarafından kabul edilmesi gerekir. Biyouyumluluk, kullanılacak malzemenin türüne yaşayan yapının neresinde, ne

kadar süreyle kullanılacağına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; direkt kanla temas edecek malzemeyle, direkt kemikle temas edecek malzemenin biyouyumluluğu birbirinden çok farklı olacaktır. Vücudun bu malzemelere karşı verdiği tepkilerde son derece farklıdır. Vücut sıvılarının pH değeri 1 ila 9 arasında farklı dokulara göre değişmektedir. Yine hareketler esnasında kemikler değişken yük ve gerilime maruz kalır. Canlı dokuya yerleştirilen biyomalzemeler, yapının özelliklerine, hareketine esnekliğine bağlı olarak dokulardan sürekli tepki alırlar (Gümüşderelioğlu, 2002).

Tıbbi uygulamalarda kullanılan biyomalzeme türleri; seramikler, metaller, polimerler ve kompozitler olmak üzere 4 gruba ayrılır; özellikleri, üretim, avantaj ve dezavantajlarına göre tıbbi uygulamalarda kullanılırlar (Tablo 1).

1-Biyometaller

Biyometaller, çok sert olmaları, yüksek yoğunluğa sahip olmaları dezavantajlarının yanında kristal yapıları ve mekanik özellikleri sebebiyle özellikle ortopedik uygulamalarda eklem protezlerinde ve kemik yenileme malzemesi olarak kullanımlarından dolayı pek çok avantaja sahiptir. Metalik biyomalzemeler, temas halinde olduğu yapıyla kimyasal reaksiyona girerek korozyona uğrayabilirler. Metal protezlerin biyouyumluluk durumu vücut içerisinde korozyona uğramalarıyla alakalıdır (Williams, 1987). Biyometallerin çelik, altın, titanyum ve titanyum alaşımları, kobalt ve alaşımları diş implantlarında, çene cerrahisinde, yapay kalp parçaları, kateter gibi pek çok tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır (Murr, 2017).

Metalik biyomalzemeler aynı zamanda teşhis ve tedavi amaçlı biyomedikal cihaz üretiminde de geniş bir yere sahiptir.

Metalik biyomalzeme olarak kullanılan önemli metaller:

Çelik

• *Karbon çeliği*: Demir, mangan, silisyum, karbon ve eser miktarda miktarda kükürt ve fosfor'dan oluşan çelik,

• *Alaşımlı çelikler*: Alüminyum, krom, nikel, kobalt, bakır, mangan, molibden, fosfor, silisyum, kükürt, titanyum, tungsten ve vanadyum içerebilirler. Eklenen krom, korozyon direncini ve ısı direnci artırırken, alüminyum, aşınmaya karşı direnci artırır.

• *Paslanmaz çelik*: Yapısında az miktarda silisyum, fosfor, azot, mangan, molibden ve kükürt bulunur (Alves-vd., 2017).

Altın

Diş tedavilerinde uzun ömürlü ve korozyon açısından tercih edilen metallerdir. Saf altına göre, altın alaşımları, daha iyi mekanik özelliklere sahip olduklarından, dökme işlemleri için uygundur. Altın alaşımlarının daha dayanıklı olması için %75 veya daha fazlası altın, geri kalan kısmına ise platin, bakır bazen de çinko eklenerek hazırlanır. Böylece erime sıcaklığı düşürülmüş olur. Altın içeriği %83'ten fazla olduğunda meydana gelen daha yumuşak alaşımlar dolgu malzemesi olarak kullanılır. Alaşımın altın içeriği azaldıkça daha sert olduğundan, dayanıklılığı artarak kaplama malzemesi olarak kullanılırlar.

Alaşımlar

•Titanium ve Titanium Alaşımlar

Titanium, 1930'lu yılların sonlarında biyomalzeme üretiminde kullanılmaya başlanmıştır (Geetha, Singh, Asokamani ve Gogia, 2009). Kobalt ve çeliğe göre daha hafif oluşu (Leutjering ve Williams, 2003) başta olmak üzere fiziksel ve kimyasal üstünlüklerinden dolayı titanium ve titanium alaşımları medikal ve dental uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır (He, vd., 2003).

Titanium organik bir malzemedir. Titaniumun kapsamlı ve tercih edilmesini sağlayan güçlü özelliklerden bazıları şunlardır: düşük yoğunluk ($4,5 \text{ g/cm}^3$), yüksek spesifik dayanım, kırılma tokluğu, yorulma dayanımı, çatlak yayılımına karşı direnç, düşük sıcaklıkta yüksek tokluk ve mükemmel korozyon direnci sayılabilir (Chunxiang, BaoMin, Lichen ve Shuangjin, 2011; Ivasyshyn ve Aleksandrov, 2008).

Saf veya alaşımlı titanium, kemik içi implantlar, protez eklem, parsiyel protez, cerrahi splint, damar stentler ve bağlayıcıları, dental implant ve kuron köprü yapımında kullanılır (Hrabe, 2010). Canlı yapıda doku tarafından yüksek derecede kabul edilebilen titaniumun kemikle bağlanması da daha iyidir (Williams, 1991). Titaniumun bir diğer önemli özelliği manyetik olmamasıdır. Dolayısıyla MR (Mağnetik Rezonans) uyumludur. Hasta Görüntüleme tetkiklerinin çekimlerinde sorun yaşamaz. Titanium allerjik özelliği az olan, hafif ve deri içine yerleştirme de en iyi biyouyumluluk sağlayan malzemedir (Domínguez-Trujillo vd., 2018; Rahimizadeh, Nourmohammadi, Arabnejad, Tanzer ve Pasini, 2018). Bütün bu avantajlı özelliklerinden dolayı titanium ve titanium alaşımlarının kullanılması son yıllarda medikal ve dental uygulamalarda oldukça artmıştır.

•*Nikel-Titanyum Alaşımları*

Nikel Titanyum alaşımları, hem mühendislik uygulamalarında hem de diş ve medikal uygulamalarda ilgi duyulan özel bir malzemedir.

Bu alaşımlar, ısıya duyarlı yapılarıyla, deforme edildiklerinde, akıllı malzeme olarak kabul edilen uygun ısı işlemlere tabi tutuldukları zaman ilk şekillerine dönebilme özelliğine sahiptirler (Quader, Kok, Dagdelen ve Aydogdu, 2019). Bu özellik, (Shape Memory Effect (SME) “şekil hatırlama etkisi” olarak adlandırılır. Nikel Titanyum alaşımlarının SME etkisi ilk Buehler ve arkadaşları tarafından gözlemlenmiştir. Canlı yapı dışında alması gereken şekil verilip, canlı içerisinde ilk şeklini hatırlayan bu biyomalzemelerin, pek çok önemli uygulama alanları bulunmaktadır. Bunlar, diş köprüleri ve telleri, yapay kalp için kaslar ve stentler, kafatası içerisindeki damar bağlantıları ve pek çok ortopedik protezler sayılabilir (Duerig, Melton, Stockel ve Wayman, 1990; Mantovani, 2000; Quader vd., 2019).

•*Kobalt ve Alaşımları*

Temel olarak kobalt-krom-molibden alaşımı ve kobalt-nikelkrom-molibden alaşımı olmak üzere iki tür alaşımdan söz edilir. Kobalt-krom-molibden alaşımı, son zamanlarda yapay eklemlerin üretiminde kullanılmakla beraber aynı zamanda dişçilikte de kullanılmaktadır. Fazla yük altında ki diz ve kalça gibi eklem protezlerin de, Kobalt-nikelkrom-molibden alaşımı kullanılmaktadır. Bu tür alaşımların bileşimleri, temel olarak ağırlıkça %65 kobalt ve geri kalanı kromdan oluşur. Daha iyi tanecikli yapı elde etmek için yapıya molibden eklenir. Kobalt içeren alaşımların deformasyona karşı direnci, paslanmaz çeliğe göre daha büyüktür (Sathyakumar vd., 2011).

2-Biyoseramikler

Sağlık sektöründe çok çeşitli uygulamaları olan inorganik malzemelerdir. Özellikle termometreler, gözlük camları, endoskopide kullanılan fiber optiklerin yapımında kullanılırlar. Bunların yanısıra dişçilikte dolgu malzemesi olarakta çok yaygın kullanılmaktadır (Guazzato, Albakry, Quach, ve Swain, 2004). Biyoseramikler kemik kaplama, kemik yapıştırma, kemik dokusuna girme özelliklerinden dolayı klinikte tercih edilen malzemelerdir (Hench, 1991). Dental biyoseramikler sert doku implantı olarak dişçilikte dolgu malzemesi olarak kullanılan sert bağ dokusunun tamiri veya yenilenmesinde restoratif olarak sık kullanılan materyallerdir (Çömlekoğlu, Dündar, Güngör, Akın ve Artunç, 2008).

Biyoseramikler, biyoinert ve biyoaktif olmak üzere iki grupta incelenir.

(i) Biyoaktif seramik doku ve implant arasında kimyasal bağ oluşumuna izin veren seramik malzemedir.

(ii) Biyoinert seramiklerin doku ile etkileşimleri mekanik bağ şeklindedir. Mekanik bağ, malzemenin dokuyu değiştirmeden doku bir arada tutabilmesi anlamına gelir.

Biyoseramikler; polikristalin yapılu seramik (alümina ve hidroksiapatit), biyoaktif cam, biyoaktif cam seramikler veya biyoaktif kompozitler (polietilen-hidroksiapatit) şeklinde hazırlanabilmektedir (Hench ve Wilson, 1993).

Alümina: Alüminanın yüksek yoğunluğa sahip olması ve saflık oranının $>99.5\%$ oluşu, korozyon direnci, dayanıklılığının yüksek oluşu ve iyi derecede biyouyumluluk özelliği, özellikle kalça protezlerinde ve diş implantlarında kullanımı için tercih sebebidir. İnert yapıya sahip biyoinert seramikler ve oksijen iyonlarının oluşturduğu düzlemde metal iyonlarının dağılmasıyla oluşan polikristalin seramiklerdir. Alümina, 20 yıldan fazla süredir ortopedik uygulamalarda kullanılmaktadır (Pasinli, 2004).

Zirkonya: Bir diğer inert yapıya sahip Zirkonya yüksek çatlama ve bükülme direncine sahip olduğundan, uyluk kemiği protezlerinde başarıyla kullanılmaktadır (Chevalier, 2006). Ancak, Zirkonya içerisinde yarılanma ömrü çok uzun olan radyoaktif elementler içermesinden (uranyum, toryum, vb) ve yüksek iyonlaştırma özelliğine sahip olduklarından, sert ve yumuşak doku hücrelerini etki ederek tahrip edebilmektedirler.

Kalsiyum-fosfat (Ca-P) seramikler: Diş implantlarında, ortopedik kaplamalar ve yüz kemiklerinde, kulak kemiklerinde, kalça ve diz protezlerinde “kemik tozu” olarak kullanılmaktadır (Pasinli, 2004).

Cam ve cam-seramikler: Magnezyum/Alüminyum(Mg/Al) veya Lityum/Alüminyum kristalleri içeren cam yapılarıdır. Biyocam malzemelerde silika gruplarının bazıları fosfor kalsiyum veya sodyum ile yer değiştirmiştir (SiO_2 , Na_2O , CaO , P_2O_5). Bu sayede implant ve doku arasında kimyasal bağlanma gerçekleşir (Hench ve Wilson, 1984). Camlar, silika (SiO_2) bazlı malzemelerdir.

3-Polimerler

Polimerler, içersinde karbon bulunan, uzun organik molekül zincirlerinden oluşurlar. Polietilen (PE), poliüretan (PU), politetrafloroetilen (PTFE), poliasetal (PA), polimetilmetakrilat (PMMA), polietilenteraftalat (PET), silikon kauçuk (SR), polisülfon (PS),

polilaktik asit (PLA) ve poliglukolik asit (PGA) gibi tıbbi uygulamalarda kullanılan polimerler, çok değişik bileşimlerde ve şekillerde (lif, film, jel, boncuk, nanopartikül) hazırlanabilmeleri nedeniyle biyomalzeme olarak geniş bir kullanım alanına sahiptirler (Aguilar ve San Román, 2019). Polimerler fiziksel yapısı bakımından vücuttaki yumuşak dokulara benzer özellik gösterirler. Kıkırdak, cilt, damar ve lens gibi özel dokuya sahip bölgelerde, protez malzemesi olarak kullanılırlar. Özellikle diş hekimliği ve ilaç endüstrisi yoğun olarak kullanıldığı alanlardır. Aşağıda ortopedide biyomalzeme olarak kullanılan bazı polimer çeşitleri ve kullanım alanları tanımlanmıştır. Ancak, ortopedik alanda mekanik dayanımları zayıf olup, sterilizasyon işlemleri yapılırken (otoklavlama, etilen oksit, Co radyasyonu) polimer özellikleri etkilenebilmektedir.

Bazı polimer çeşitleri ve kullanım alanları:

Hidrojeller: Çapraz-bağlı polimerik yapıda ve suda şişebilen özellikte olan polimerdir. Tıbbi uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan hidrojel, doğal dokulara benzerlik yönüyle çapraz-bağlı phemadır. Normal biyolojik reaksiyonlarda inerttir. Isıyla steril edilebilir ve vücut tarafından emilmez, çeşitli şekil ve formlar da hazırlanabilir (Gómez-Mascaraque ve Palao-Suay, 2019).

Polietilen (PE): Düşük-yoğunluklu PE ve yüksek-yoğunluklu PE şekilleri vardır. Yoğunluk arttıkça polietilenin sertlik ve dayanıklılığı artar, yumuşama sıcaklığı yükselir. Yağlara dirençli ve ucuz olması avantaj teşkil eder. Kimyasallara direnç göstermesi en belirgin özelliğidir.

Polikarbonat (PC): Kurşun-geçirmez camlar, gözlük camları ve pek çok tıbbi cihazlarda kullanılır. Şeffaf ve darbeye dayanıklı olduklarında endüstride de yaygın olarak kullanılırlar. Polikarbonatlar iyi derecede ısı direnci gösterir ve alev geciktiriciler ile birlikte bu direnci daha üst seviyeye taşıyabilir. Polikarbonat plastikler darbeye dayanıklı olmaları ve transparan yüzeyleri sebebi ile cama göre daha sağlam ve dayanıklı materyallerin yapımında da kullanılır (Gómez-Mascaraque ve Palao-Suay, 2019).

M. Naylon (Nylon): Naylonlar, diaminlerin, dibazik asitlerle reaksiyonu sonucu oluşurlar, ya da laktomların halka açılması polimerizasyonu ile hazırlanırlar. Naylonlar cerrahide ameliyat ipliği olarak kullanılırlar (Maitz, 2015).

N. Poliüretanlar (PÜ): Poliüretanlar, “yumuşak” ve “sert” segmentlerden oluşan blok ko-polimerlere denir. Kalp damar uygulamalarında kanla uyumlulukları çok iyi olduğundan özellikle tercih edilirler (Ayhan, 2002).

Polidimetilsiloksan (PDMS): Karbon ana zinciri yerine silisyumoksijen ana zincirine sahip olan yaygın kullanımı olan bir diğer polimer, polidimetilsiloksan’dır. Bazı damar protezlerinde, drenaj borularında ve kateterlerde, yüksek oksijen geçirgenliği özellikleriyle, solunum cihazlarında kullanılır. Çok iyi esneklik özelliklerinden dolayı kalp kapakçıkları, kan damarları göğüs implantları, kulak, burun, diş ve çene implantları gibi çok sayıda protezde kullanılır (Maitz, 2015).

Polivinilklorür (PVC): Tıbbi uygulamalarda kan nakli, diyaliz ve beslenme amaçlı tüp formunda kullanılır. Sert ve kırılabilir bir malzeme olan PVC, yumuşak ve esnek hale plastikleştirici ilaveleriyle getirilebilir. Ancak, PVC, plastikleştiricinin yapıdan sızması durumlarında problemlere yaratabilmektedir. Plastikleştiriciler düşük zehirliliğe sahip olsalar da yapıdan sızmaları PVC’nin esnekliğini azaltabilmektedir (Sarsılmaz ve Sarsılmaz , 2003).

4-Kompozitler

Kompozitler, iki ya da daha fazla sayıda farklı kimyasal yapıdaki malzemenin, sınırlarını ve özelliklerini koruyarak oluşturduğu çok fazlı malzemelerdir (Jian, Minglong ve Zhichun, 2019). Kompozitler, tek başına bileşenleri kullanıldığında elde edilemeyecek özellikleri elde etmek için farklı malzemelerin yapay kombinasyonu ile elde edilen çok fazlı malzemelerdir (Chung, 2002).

Yüksek dayanıklılığa ve düşük elastisite modülüne sahip olduklarından dolayı, özellikle ortopedik uygulamalarda kullanılırlar (Kaya, 2016). Ortopedik cerrahide karşılaşılan en büyük problemlerden biri, kemikle metal ya da seramik implantın sertlik derecesinin birbiriyle uyumsuzluğudur. Kemik ve implanta binen yükün paylaşılması, oluşacak deformasyonları önleyebilmektedir. İmplantın sertlik derecesinin temasta ettiği dokularla aynı olacak şekilde ayarlanması önemlidir. Polimer kompozitler bu deformasyonları engellemek amacıyla kullanılmak istenmektedir (Güven, 2010). Liflerle güçlendirilen polimerik kompozit, kendisini oluşturan bileşenlerden birinin tek başına sahip olmadığı özelliklere sahip olur.

Ayrıca kompozit malzemenin bileşimi değiştirilerek, implantın vücuttaki kullanım alanlarına göre mekanik ve fizyolojik şartlara uyum sağlanması kolaylaştırılabilir. Kompozit

malzemeler, yapısal uyumluluğun sağlanması açısından daha homojen malzemelere oranla avantajlıdır (Chung, 2002).

Kompozitlerin, korozyona direnç, metal yorgunluğunun ve metal iyonlarının salınımının görülmemesi ve kırılabilirliğin azalması gibi üstün yönleri vardır. Kompozitler, ortopedi ve diş hekimliği uygulamaları dışında yumuşak doku implantı olarak da kullanılırlar.

Polimer kompozitler manyetik özellik taşımadıklarından, manyetik rezonans (MR) ve bilgisayarlı tomografi (CT) gibi görüntüleme sistemleriyle uyumludurlar. Metal alaşımları ve seramikler radyo-opak olduklarından X-ışınları radyografisinde problem yaratırlar. Oysaki kompozit malzemelerde radyo-şeffaflık ayarlanabilir. Hafif oluşları ve üstün mekanik özellikleri göz önüne alındığında, kompozitler bu tür görüntüleme cihazlarının yapısal bileşenleri olarak son derece uygundur (Guedes, 2019).

Tablo 1: İmplantasyon amacıyla kullanılan 4 grup sentetik materyalin temel özellik ve uygulamaları (Yianni, 1995).

MATERYALLER		AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI	UYGULAMA ALANLARI
METALLER	<i>Vitalyum Titanyum Alaşımları 316, 316L, S,S</i>	<i>Dayanıklılırlar, Gerilme dirençleri yüksektir</i>	<i>Biyouyumlulukları düşüktür, Yoğunlukları yüksektir, Korozyona uğramaktadırlar</i>	<i>Ortopedik birleştiriciler(tabaka, çivi vs.) Diş implantları</i>
	<i>Aluminyum Oksitler Kalsiyum Aluminatlar Titanyum Oksitler Karbonlar</i>	<i>İnerttirler, Korozyona ve fazla sıkıştırmaya dayanıklılırlar, Biyouyumlulukları iyidir</i>	<i>Mekanik güvenleri düşüktür, Esneme özellikleri olmadığından ve yüksek dansiteli olduklarından fabrikasyon zorlukları vardır</i>	<i>Kalça protezleri, dişler, derialtı sistemleri</i>
	<i>Teflon Nylon Dacron Silastic kauçuğu</i>	<i>Esnekler, Fabrikasyonları kolaydır, Düşük yoğunlukludurlar</i>	<i>Mekanik güçleri düşüktür ve zamanla parçalanırlar</i>	<i>Cerrahi iplikler, arterven damarları, tendonlar, burun, kulak, elmacık kemiği</i>
	<i>Seramik kaplı Metal Karbon kaplı Metal</i>	<i>Biyouyumlulukları iyidir, İnerttirler, Korozyona dayanıklı ve gerilme dirençleri yüksektir</i>	<i>Materyal fabrikasyonu zordur</i>	<i>Kalp kapakçıkları, Diz kapağı implantları</i>

SONUÇ VE TARTIŞMA

Hastalıklı veya hasar görmüş organ ve doku yerine kullanılan biyomalzemeler, bu problemleri yaşayan bir canlı için hayati önem taşımaktadır. Biyomalzemeler, fonksiyonunu

tam olarak yerine getiremeyen organ ve dokulara da tekrar işlev kazandırmak ya da işlevliğini artırmak içinde kullanılmaktadır. Bunlarla birlikte ameliyatlarda iyileşmeye yardımcı olmak için vidalar, teller veya ipler, bazen de estetik problemleri düzeltmek için diş teli ve silikon olarak da kullanılabilir. Biyomalzemeler canlı sağlığı için teşhis ve tedavi edici özellikler içinde hazırlanmış cihazlarda da kullanılmaktadır.

Biyomalzemelerin kullanımı tasarlanırken fizyolojik kabul en önemli durumdur. Biyomalzemenin canlı yapı ile etkileşiminde; kimyasal çözünme, aşınma, genleşme, basınç ile etkilenmeler söz konusudur. İnsan vücudundaki akışkanlar; su, çözünmüş oksijen, protein, klorür ve hidroksit gibi çeşitli iyonlar içermektedir. Biyomalzemenin, vücuttaki sıvılarla kısa ve sürekli temas halinde ortaya çıkabilecek sorunların başında korozyon gelmektedir. Vücut bazen biyomalzemeyi canlı yapı kabul etmeyip iltihap ya da alerji şeklinde cevap verebilmektedir. Biyomalzeme kullanımında en önemli faktör şüphesiz biyouyumdur. Sağlık alanında kullanılan biyomalzemelerin uyum problemlerini en aza indirmek için çalışmalar devam etmektedir. Gelecekte, daha uzun ömürlü ve canlı yapıyla daha biyouyumlu olan yeni-nesil biyomalzemeler tasarlanıp üretilecektir.

Biyomalzemeler ve biyouyumlu üretim bir multidisipliner uygulama alanıdır. Malzeme mühendisliği, genetik ve biyomedikal mühendisliği, nanoteknoloji, biyoloji ve optik gibi pek çok konuyu kapsayan bir alan olup, bu sektörün önemi her geçen gün artmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aguilar, M. R., San Román, J. (2019). *Smart polymers and their applications*. Woodhead Publishing. Second Edition.
- Alves A. C, Wenger F., Ponthiaux, P., Celis, J-P., Pinto, A. M., Rocha, L. A., Fernandes, J. C. S. (2017). *Corrosion mechanisms in titanium oxide-based films produced by anodic treatment*. *Electrochimica Acta*, 234, 16-27.
- Ayhan, H. (2002). *Biyomalzemeler*. Hacettepe Üniversitesi Bilim Teknik Dergisi, 17.
- Chevalier, J. (2006). *What future for zirconia as a Biomaterial?* *Biomaterials*, 27, 535-543.
- Chung, D. D. L.(2002). *Composite materials: functional materials for modern technologies*. Springer, London.
- Chunxiang, C., Baomin, H., Lichen, Z., Shuangjin, L. (2011). *Titanium alloy production technology, market prospects and industry development*. *Materials And Design*, 32, 1684-1691.
- Çömlekoğlu, E., Dündar, M., Güngör, M. A., Aladağ, A., Artunç, A. (2008). *allergy in dentistry: casting alloys, polymers and ceramics*, *Eü Dişhek Fak Derg.*, 29, 81-92.
- Dominguez-Trujillo, C., Peón, E., Chicardi, E., Pérez, H., Rodríguez-Ortiz, J. A., Pavón, ... Torres, Y. (2018). *Sol-Gel deposition of hydroxyapatite coatings on porous titanium for biomedical applications*. *Surface And Coatings Technology*, 333, 158-162.
- Duerig, T. W., Melton, K. N., Stockel, D., Wayman, C. M., (1990). *Engineering aspects of shape memory alloys*, Butterworth-Heinemann, London, Eds.

- Sarsılmaz, F., Sarsılmaz, C. (2003) *Ortopedide kullanılan polimer esaslı kompozit malzemeler. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 3, 2003.
- Geetha, M., Singh, A.K., Asokamani, R. and Gogia, A.K. (2009). *Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants—a review. progress in materials science*, 54, 397-425. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2008.06.004>
- Gómez-Mascaraque, L. G., Palao-Suay, R. (2019). *Smart Polymers and their applications (Second Edition) Woodhead Publishing In Materials* 481-531.
- Guazzato, M., Albakry, M., Quach, L., Swain, M. V. (2004). *Influence of grinding, sandblasting, polishing and heat treatment on the flexural strength of a glassinfiltrated alumina-reinforced dental ceramic. Biomaterials*, 25, 2153-60.
- Guedes, R. M. (2019). *Creep and fatigue in polymer matrix composites. Woodhead Publishing, Second edition.*
- Gümüşderelioğlu, M. (2002). *Biyomalzemeler bilim ve teknik tubitak*, Temmuz.
- Gür, A. K., Taşkın, M. (2004). *Metalik biyomalzemeler ve biyouyum, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları: 4.*
- Güven, Ş. Y. (2010). *Ortopedik malzemelerin biyouyumlulukları ve mekanik özelliklerine göre seçimi, Ulusal Tasarım İmalat Ve Analiz Kongresi 11-12 Kasım, Balıkesir*, 472-484.
- He, G., Eckert, J., Dai, Q. L., Sui, M. L., Löser, W., Hagiwara, M., Ma, E. (2003). *Nanostructured ti-based multicomponent alloys with potential for biomedical applications. Biomaterials*, 24(5), 115–200.
- Hench, L. L. (1991). *Bioceramics: From concept to clinic, J. Am. Ceram. Soc.* 74, 1487-1510.
- Hench, L. L. Wilson J. (1993). *An introduction to bioceramics. 31st ed. Singapore: World Scientific Publishing.*
- Hench, L. L., Wilson, J. (1984). *Surface Active Biomaterial., Science*, 226, 630-636.
- Hrabe, N. W. (2010). *“Characterization Of Cellular Titanium For Biomedical Applications”, Doctor Of Philosophy, University Of Washington.*
- Ivasyshyn, O. M., Aleksandrov, A. V. (2008). *“Status Of The Titanium Production, Research, And Applications In The Cis”, Mater Sci*, 44(3), 311–327.
- Jain, P., Ranjan, M. (2015). *The Rise Of Bioceramics In Endodontics: A Review. Int J Pharma Bio Sci.*, 6(1), 416–22.
- Jian, Z., Minglong, X., Zhichun, Y. (2019). *Aeroelastic stability analysis of curved composite panels with embedded macro fiber composite actuators. Composite Structures*, 208, 725-734.
- Kaya, A. İ. (2016). *Kompozit malzemeler ve özellikleri. Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.
- Leutjering, G., Williams, J. C. (2003). *“Titanium”, Springer, New York.*
- Mantovani, D. (2000). *Sahpe memory alloys: properties and biomedical applications. Metals & Materials Society*, 36-44.
- Maitz, M. F. (2015) *Applications of synthetic polymers in clinical medicine. Biosurface and Biotribology*, 1 (3), 161-176.
- Murr, L. (2017). *Open-cellular metal implant design and fabrication for biomechanical compatibility with bone using electron beam melting. Mech. Behav. Biomed. Mater.* 76,164-177.
- Niinomi, M. (2002) *Recently metallic materials for biomedical applications, Metalurgical And Materials Transactions; Warrendale*, 477-486.

-
- Park, J. B., Kim, Y. K. (2000). Metallic Biomaterials, The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition. Crc Press Llc.*
- Pasinli, A. (2004). Biyomedikal uygulamalarda kullanılan biyomalzemeler. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi (Teknolojik Araştırmalar Teknik Not) 4, 25-34.*
- Quader, I. N., Kok, M., Dagdelen, F., Aydogdu, Y. (2019). A review of smart materials: researches and applications. El-Cezeri Journal of Science and Engineering. 6(3), 755-788.*
- Rahimizadeh, A., Nourmohammadi, Z., Arabnejad, S., Tanzer, M., Pasini, D. (2017). Porous architected biomaterial for a tibialknee implant with minimum bone resorption and boneimplant interface micromotion. Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials, 78, 465-479.*
- Sathyakumar, S., Rajkumar, K., Mahalaxmi, S., Meenakshi Sundaram, K., Ragavi, P. (2011). Brush away demineralization-An in vitro SEM study. Streamdent, 2(3), 186-90.*
- Williams, D. F. (1982). Biocompatibility in clinical practice, Boca Raton, F.L., CRC Press.,8.*
- Williams, D. F. (1987). Definitions İn Biomaterials, Ed. Elsevier, Amsterdam, 72 Pp.*
- Williams, D. F. (1987). İn proceedings of consensus conference of the european society for Biomaterials. Chester, Elsevier, Amsterdam, İn Press.*
- Williams, D. F. (1991). Materials for surgical imlants. Met. Mater., 1, 24-29.*
- Williams, D. F. (2011). The williams dictionary of biomaterials. Liverpool, Liverpool University Press.*
- Yianni, J. P. (1995). "Making PVC More Biocompatible", Medical Devices Technology, 6(7), 20-29.*