

Biyomedikal Parçaların Eklemeli İmlatla (3d Baskı) Üretimi

Fevzi YILMAZ*, Ebubekir KOÇ**

*Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi (FSMVU), İstanbul/Türkiye
f.yilmaz@fsm.edu.tr

**FSMVU Aluminium Test Eğitim ve Araştırma Merkezi (ALUTEAM), İstanbul/Türkiye
ekoc@fsm.edu.tr

ÖZET

Eklemeli üretim teknolojisi ve tıpta uygulaması 1980'lerin başlarından itibaren gelişmeye başladı. Bugün bu teknoloji kısaca 3D baskı takma bacadan uçak parçalarına kadar her şeyin üretilmesini olanaklı kılan bir teknoloji haline almıştır. Bu çalışmada, metal esaslı malzemelerin eklemeli-kat kat üretim yöntemiyle şekillendirilmesinin avantajlarına değinilmiştir. Eklemeli üretimde kullanılan metal tozlar, özellikleri ve kullanım alanları biyomedikal alan ekseninde tanıtılmıştır. 3D Baskı ürünler, standart üretim metotlarıyla şekillendirilmiş ürünlerle karşılaştırılmış, mekanik ve fiziksel özellikleri de açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Eklemeli Üretim, Direkt Metal Lazer Sinterleme, DMLS, 3D Baskı, Biyomedikal

PRODUCTION OF BIOMEDICAL PARTS BY ADDITIVE MANUFACTURING (3D PRINTING)

ABSTRACT

The additive manufacturing technology and penetration to medicine has been introduced early in 1980s. Since then it became one of the key technologies to manufacture everything from prosthetic limbs to aircraft parts in many industries. This technology is also entitled as 3D Printing. In this paper, the advantages of forming of metal-based materials by additive manufacturing technologies are investigated. Several different metal powders for additive manufacturing and their properties and applications for biomedical field are introduced. 3D Printing technology and manufacturing is compared with standard manufacturing technologies and their mechanical and physical properties of manufactured products are also described.

Keywords: Additive Manufacturing, Direct Metal Laser Sintering, DMLS, 3D printing, Biomedical

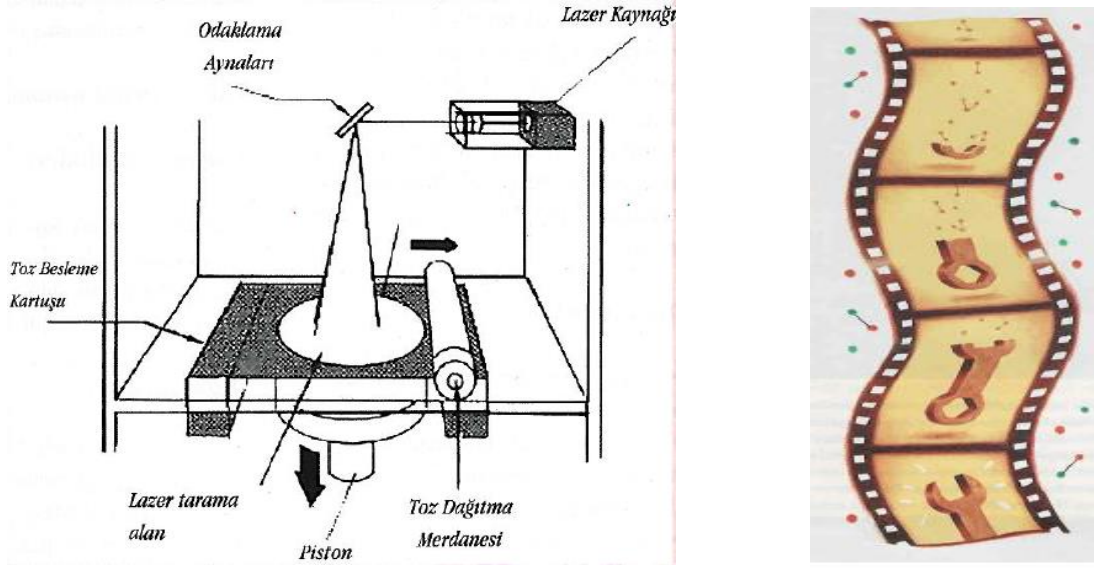
1. GİRİŞ

Eklemeli üretim veya 3D Yazıcı (3D Printer) nedir? Bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları yardımıyla tasarlanmış herhangi bir elektronik datayı kalıp, model ve benzeri araç gereç ihtiyacı duymadan 3D datasının makineye gönderilmesi yoluyla malzemenin kat kat eklenerek fiziksel model veya ürüne dönüşmesini yapan makinelerdir. Bugün, x-y 2 boyutlu 2D yazıcıların fonksiyon ve kabiliyetleri ileri derecede artmıştır. 3D yazıcı olarak anılan ve x-y-z ekseninde çalışan küp şeklindeki yeni nesil yazıcı üç boyutlu obje, parça ve cihaz üretebilmektedir artık. Burada, bildiğimiz klasik bilgisayar, bilgisayar ve bilgisayar (internet) üçlüsüne bilgiyleyapar fonksiyonu da eklenmiştir.

Metal esaslı malzemelerin eklemeli üretiminde (3D Baskı) çok ince tozlar kullanılır. Bu tozlar, ergime ve katılma sürecinden geçirilerek tabaka tabaka (kat kat) istenilen geometrideki şekilli parça üretilir. Bu şekilde üretilen mühendislik parçasının yapı ve özelliği geleneksel yöntemlerle (döküm-plastik şekil verme, talaşlı imalat, kaynak) üretilenlerden farklıdır. Bütün üretim metotlarında olduğu gibi üretilen parçanın özellikleri; ham malzeme (toz), üretim teknolojisi ve proses parametrelerine bağlıdır. Eklemeli üretim tatminkar-güvenli malzeme özelliği verir.

Eklemeli üretimde, üç boyutlu CAD datası ile birkaç saat içinde, kalıp ihtiyacı olmaksızın üstün kaliteli metal (ve plastik) parçalar katlı şekilde üretilir. Üretilen parçalar, prototip (model) yanında son ürün olarak ta kullanılabilir. Buna e-üretim denir, doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS) tanımı da kullanılır. Bu işlem ile ince metal tozlar lazer ışması ile tabaka tabaka eritilir ve hızla katılaştırılır. Şekil 1 3D Baskı sistemi ve sürecini vermektedir. Birçok tüketici eşyaları, makine parçaları, ayakkabılar ve mimari modeller, mühendisler, stilistler ve müşteriler tarafından 3D baskı ile ilk adım olarak üretilmektedir. Herhangi bir değişiklik bir gecede düzeltilmekte ve bu yöntem haftalar süren alternatif üretim ve prototipe göre büyük avantaj sağlamaktadır. Bazı tasarımcılar plastik ve naylondan hemen giyilir ayakkabı ve elbiseyi üretmektedir. Bugün, birçok kişiye özel

protezler, milyonlarca diş ve kaplaması 3D baskı ile üretilmektedir. Bu yolla çok karmaşık geometriler derin delik ve üç boyutlu soğutma kanalları gibi detaylarla, tıpta genel ve kişiye özel amaçlar için (implantlar şeklinde) üretilir.



Şekil 1. Lazer ışınması (DMLS) ile tozlardan tabaka tabaka son şekilli parçanın üretimi [1-2]

Eklemeli üretimde tabakalı yapıdan dolayı özellikler yönlüdür (anizotropiktir). Isıl işlem yapıyı tamamen homojenize edemez. Bu tasarım açısından önemlidir ve en kötü hali esas almayı gerekli kılar. Eklemeli üretimde bir kısım geometride kırılma (çatlama) riski vardır ve bu risk ısı ile azaltılır. Yüzey pürüzlülüğü geometrinin fonksiyonudur. Gerilim noktaları ve çatlak ilerleme iç bölgelerde oluşabilir. Bu durum sipesifikasyonları karmaşık yapar, iyi bir yüzey parlatma gerektirir. Eklemeli üretimde özellikle alt plaka ve destek noktalarında deformasyon riskleri görülebilir. Buna gerilim giderme ısıl işlemi çözüm olur ve bu doğal olarak maliyeti arttırır ve üretim zamanı uzar. Tozlardaki yüzey alanı artışı, oksijen artışı demektir ve olumsuz yapısal etki beklenir. 10 ppm altı oksijenli tozlar tercih edilmelidir ve kontrol atmosferi üretim sırasında da sağlanmaktadır. Yapıda az sayıda düz yüzeyli porozite (5-50 mikro metre) görülebilir.

3D baskı yöntemi ile eklemeli üretim; tıpta, özellikle kişiye özel üretimlerde önemli bir potansiyele sahiptir. Erkekler için düşünelim. Sabahları niye otomatik makinayı yüzümüze oturtup traş olamıyoruz? Yüz standart değil de onun için! Sonuç şudur; insanlar için ürünler standart değil, esnek olmalıdır, kişiye özel olmalıdır. Her birey her şeyiyle diğerinden farklıdır. Bu, spor ekipmanları seçiminde çok görülür. Burada ürün, atlet ve spor adamın biyometrik ve biomekanik özelliklerine uyarlanır. Bu alan, çok büyük ve karlı olup özel ilgi gerektirir. Başka gruplar da vardır, çocuklar, engelliler, yaşlılar gibi. Malzemeler burada önemli rol oynar. Yukarıdaki örneklerde hep, kullanan ve kullanılabilecek özgü ara yüzey, kısaca kişiye özel olma gerçeği önümüze çıkmaktadır.

Bu sistemin en büyük özelliği diğerlerinden farklı olarak toz malzeme kullanmasıdır. Sinterleme olarak adlandırılan bu sistem toz partiküllerinin ısıtılarak yumuşatılması/ergitilmesi ve birbirlerine yapıştırılması prensibini içerir. Tüm proseslerde olduğu gibi bir CAD dosyası DMLS formatında işleme hazırlanır, katmanlar tanımlanır. İlk katman için çalışma alanı olan platformun üzeri bir katman kalınlığı kadar toz malzeme ile kaplanır. Bir lazer yardımıyla ilk katmanı oluşturan kesit bölgesi taranır. Toz parçacıklar lazer etkisiyle yumuşar/ergir ve birbirine yapışır, bu yapışma sonucunda sisteme girilmiş olan ilk katman oluşturulmuş olur.

Katmanlar hareketli bir silindir toz kütlesi içinde oluşturulur ve her katman oluşturulduktan sonra bu silindir kütlesi bir piston vasıtasıyla bir katman aşağıya indirilir. Daha sonra takip eden katman için bir kartuş vasıtasıyla toz malzeme beslemesi yapılır. Bu işlemler yapılacak olan prototip/ürün tamamlanana kadar aynı şekilde devam eder. Prototip/ürüm işlemi tamamlandığında toz malzeme silindir prizması içinde sertleştirilmiş bir şekilde ürüne dönüştürülmüş olur. Prototip/ürün üzerinde kalan sertleşmemiş fazla toz temizlendikten sonra üretim safhası sona erdirilmiş olur (Şekil).

3D Baskı teknolojisinin önem ve pazar payı giderek artmakta ve büyük ümit vadetmektedir. Eklemeli üretim geliştirme süreci içindedir ve yukarıda verilen eksiklikler bir bir giderilmektedir. Bu çalışmada, 3D baskı eklemeli üretimin tıptaki uygulaması kobalt alaşımları ve titanyum alaşımları ekseninde detaylandırılmıştır.

2. KOBALT KROM MOLİBDEN ALAŞIMLARI

Kobalt krom alaşımları prototip ve seri son ürün olarak önemli bir yere sahiptir. Bu alaşımların ana özellikleri yüksek mukavemet, ısı, korozyon direnci ve biyo uyumluluktur. Alaşımlar, ISO 5832-4, ASTM F75 (döküm CoCrMo implant alaşımları), ISO 5832-12 ve ASTM F1537 standartlarının gereklerini yerine getirir. Kobalt esaslı alaşımlarla tıbbi cihaz direktifi 93/42/EEC'ye uyum sağlanmakta ve sertifikalı üretim (dişilik için) yapılmaktadır.

Tablo 1. Kobalt krom molibden alaşımları [4]

| Element | Ağırlıkça İçerik |
|-----------|------------------|
| Kobalt | % 60 – 65 |
| Krom | % 26 – 30 |
| Molibden | % 5 – 7 |
| Silisyum | ≤ %1 |
| Magnezyum | ≤ %1 |
| Demir | ≤ % 0,75 |
| Karbon | ≤ %0,16 |
| Nikel | ≤ %0,1 |

CoCrMo alaşımlarının tipik uygulamaları medikal implantlar şeklindedir. Bu alaşım, yüksek sıcaklık mühendislik uygulamalarında (türbin kanatları) da önemli paya sahiptir. Alaşım yüksek oranda kobalt (%62), krom(%28) ve molibden (%16) içerir (Tablo 1). Alaşımda nikel istenmez ve çok düşük olmalıdır(< % 0.10). CoCrMo alaşımının üstün mekanik ve fiziksel özellikleri vardır (Tablo 2-4).

Tablo 2. Kobalt krom molibden alaşımının 20°C'deki mekanik özellikleri [4]

| Özellikler | Üretim Hali | Isıl İşlem* |
|------------------|----------------|----------------|
| Çekme mukavemeti | | |
| Yatay (XY) | 1350 ± 100 MPa | 1100 ± 100 MPa |
| Dikey (Z) | 1200 ± 150 MPa | 1100 ± 100 MPa |
| Akma mukavemeti | | |
| Yatay (XY) | 1060 ± 100 MPa | 600 ± 50 MPa |
| Dikey (Z) | 800 ± 100 MPa | 600 ± 50 MPa |
| Kırılma uzaması | | |
| Yatay (XY) | % 11 ± 3 | Min. % 20 |
| Dikey (Z) | % 24 ± 4 | Min. % 20 |

*1150°C 6 saat

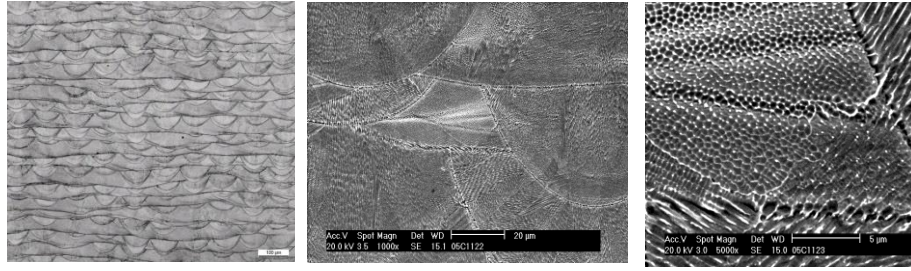
Tablo 3. Kobalt krom molibden alaşımının fiziksel ve termal özellikleri [4]

| Özellik | Değer |
|---------------------------|------------------------------|
| Relatif yoğunluk | %100 |
| Yoğunluk | 8,29 g/cm ³ |
| Isıl iletkenlik | |
| 20°C | 13 W/m°C |
| 300°C | 18 W/m°C |
| 500°C | 22 W/m°C |
| 1000°C | 33 W/m°C |
| Termal genleşme katsayısı | |
| 20 - 500°C | 13,6 x10 ⁻⁶ m/m°C |
| 500 - 1000°C | 15,1 x10 ⁻⁶ m/m°C |

Tablo 4. Dişçilikte kullanılan sertifikalı CoCrMo alaşımı ile ilgili bir örnek (Ticari isim: EOS Kobalt Krom SP2: EOS sistemi EOS INT M 270 kron ve köprüler için sertifikalı malzeme) [5]

| Meteryal kompozisyonu | Meteryal Özellikleri | |
|---|---|-----------------------|
| Co: 63.8 wt % | Bağıl yoğunluk | Approx. 100% |
| Cr: 24.7 wt % | Yoğunluk | 8.5 g/cm ³ |
| Mo: 5.1 wt % | Sünme (Rp 0.2 %) | 850 MPa |
| W: 5.4 wt % | Nihai çekme dayanımı | 1350 MPa |
| Si: 1.0 wt % | Uzama Yüzdesi | 3 % |
| Fe: max. 0.50 wt % | Young Modülü | Approx. 200 GPa |
| Mn: max. 0.10 wt % | Vickers sertliğiHV10 | 420 HV |
| Yasak elementler:Ni, Be and Cd acc. to EN ISO 22674 | Termal genişleme katsayısı(25 - 500 °C) | 14,3 x 10E-6 m/m°C |
| | Termal genişleme katsayısı(20 - 600 °C) | 14,5 x 10E-6 m/m°C |
| | Erime aralığı | 1410–1450 °C |

Yukarıda verilen kobalt-krom-molibden esaslı süper alaşım kron ve köprü üretimi için kullanılır. Bu, diğer metal alaşımları ile karşılaştırıldığında, dişçilik sektörü için biyo uyumlu (CE 0537) , sertifikalı ve çok ucuzdur. Kobalt krom molibden alaşımlarının mikroyapısal özellikleri Şekil 2’de verilmiştir. Bu alaşım katmanlı yapılar, makro ve mikro özellikleri ile dikkat çekicidir.



a) 10X optik

b) 1000X SEM

c) 5000X SEM

Şekil 2. Kobalt krom molibden alaşımı mikroyapısı: a) Tamamen ergitme yöntemiyle elde edilmiş yoğun kat kat yapı gözükmemektedir, b)Tane yapısı, c)Detaylar (Çok ince 0,3 – 0,6 mikrometre büyüklüğünde taneler) [4]

3. TİTANYUM ALAŞIMLARI

Standart titanyum alaşımları implantlarda ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Tablo 5 önemli titanyum alaşımlarını özellikleri ile vermektedir.

Tablo 5. Titanyum alaşımları [4]

| Malzeme adı | Kompozisyon | Tipik uygulamalar | Çekme mukavemeti * (MPa) | Kopma uzaması * (%) |
|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------|
| Ti CP grade 1 | Ti; O <0.18%; N <0.03% | Tıp ve diş | 240 | 24 |
| Ti CP grade 2 | Ti; O <0.25%, N <0.03% | Tıp ve diş, kimya endüstrisi | 345 | 20 |
| Ti CP grade 3 | Ti; O <0.35%, N < 0.05% | Tıp ve diş | 450 | 18 |
| Ti CP grade 4 | Ti; O < 0.40%, N < 0.05% | Tıp ve diş | 550 | 15 |
| Ti6Al4V (grade 5) | Ti; Al 6%; V 4%; O <0.20%, N < 0.05% | Uçak, tıp, diş gibi | 895 | 10 |
| Ti6Al4V ELI | Ti; Al 6%; V 4%; O <0.15%, N < 0.05% | Tıp ve diş | | |

CP = Ticari saf, ELI = çok düşük intermetalik *Kaynak: Euro-Titan Handels AG, Solingen, Germany

Titanyum alaşımları yüksek hafifliğine rağmen yüksek spesifik mukavemete (ağırlık başına mukavemet), yüksek korozyon direncine ve biyo uyumluluğa sahiptir. Tipik kullanım alanları olarak biyomedikal implantlar ve uzay araçları ve muihendislik uygulamaları ne çıkar.

3D Baskı (kat kat üretim) titanyum alaşımları üstün özellikler taşır ve standart alışılagelmiş türlerden daha iyidir. Tablo 6, Ti6Al4V alaşımının mekanik özelliğini, Tablo 7 ise bileşimini vermektedir.

Tablo 6. Ti 64 alaşımının mekanik özellikleri [8]

| zellikler | retim Hali | Isıl İşlem* |
|--------------------|---------------|---------------|
| ekme mukavemeti | | Min. 930 MPa |
| Yatay (XY) | 1230 ± 40 MPa | 1050 ± 20 MPa |
| Dikey (Z) | 1200 ± 40 MPa | 1060 ± 20 MPa |
| Akma mukavemeti | | Min. 860 MPa |
| Yatay (XY) | 1060 ± 40 MPa | 1000 ± 20 MPa |
| Dikey (Z) | 1070 ± 40 MPa | 1000 ± 20 MPa |
| Kırılma mukavemeti | | Min. % 10 |
| Yatay (XY) | % 10 ± 2 | % 14 ± 1 |
| Dikey (Z) | % 11 ± 3 | % 15 ± 1 |
| Sertlik | 320 ± 12 HV5 | |

*800°C 4 saat

Alaşım; kimyasal bileşiminde ISO 5832-3, ASTM F1472 ve ASTM B348 standartlarına uygun olup birleşim olarak ASTM F1472 (Ti6Al4V) ve ASTM F136 (Ti6Al4V ELI) konsantrasyon şartlarını sağlamaktadır.

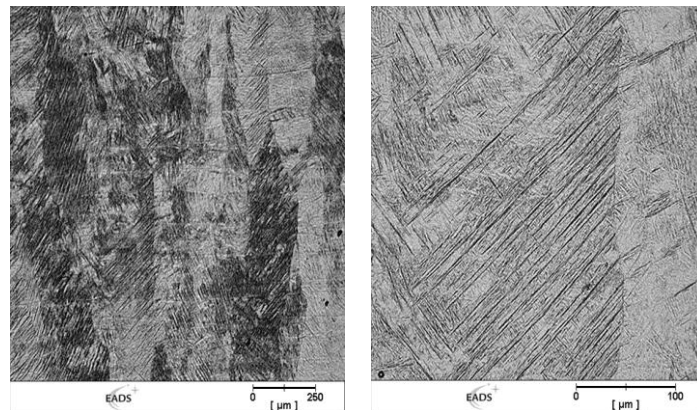
Tablo 7. Ti 64 alaşımının kimyasal özelliği [4]

| Element | Ağırlıkça İçerik |
|-----------|------------------|
| Titanyum | Denge |
| Alüminyum | % 5,5 – 6,75 |
| Vanadyum | % 3,5 – 4,5 |
| Oksijen | < 2000 ppm |
| Nitrojen | < 500 ppm |
| Karbon | < 800 ppm |
| Hidrojen | < 150 ppm |
| Demir | < 3000 ppm |

Ti 64 alaşımının üstün fiziksel ve metalografik özellikleri sırası ile Tablo 8 ve şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 8. Ti 64 alaşımının fiziksel ve termal özellikleri [4]

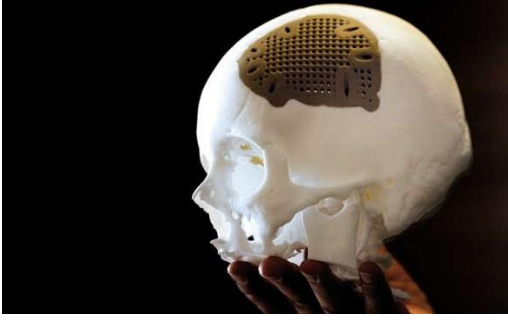
| zellik | |
|--|------------------------|
| Relatif yoğunluk | % 100 |
| Yoğunluk | 4,41 g/cm ³ |
| Yük altındaki maksimum çalışma sıcaklığı | Yak. 350°C |



şekil 3. Ti64 alaşımının tam yoğun iğnesel martenitik yapısını gösteren optik mikroyapısı [4]

4. UYGULAMADAN ÖRNEKLER

3D Baskı kobalt ve titanyum alaşımlarının biyomedikal uygulamalarına örnekler Resim 1-9'da verilmiştir.



Resim 1:Baş hasarlarında eklemeli üretimle çözüm: PEEK malzeme veya titanyum plaka (Genel Kullanım). PEEK kemik iç büyüme için olanaklı kılabilir [4]



Resim 2. Spinal (bel) implantlar ve Parmak implantları Ti64 [4]



Resim 4: Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) CoCrMo alaşımının dişilik uygulaması [5]



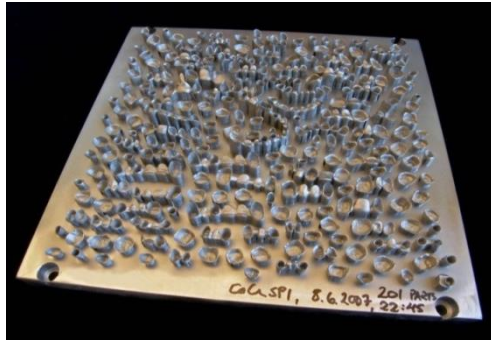
Resim 5. CoCrMo parmak implantları [4]



Resim 6. Ti64 kol protezi ve paslanmaz çelik tıbbi parçaları[4]



Resim 7. CoCrMo diz protezi ve Ti64 bel implantı [4]



Resim 8. Diş hekimliğinde kullanılan parçalar [5]



Resim 9. Diş hekimliğinde kullanılan CoCrMo ve Ti64 parçalar [5]

5. SONUÇ

Kişiye özel ve küçük hacimli üretimde 3D baskı yöntemi büyük bir güce sahiptir. 3D baskı teknolojisini ilk kullanan sağlık endüstrisidir. Örneğin, kulağa takılan milyonlarca işitme aygıtı, her hasta farklı olduğundan bu teknoloji ile üretilmeyi zorunlu kılmaktadır. Yöntemin üstünlüğü; biyo uyumlu polimerik (PA 2200 gibi) ve metalik (Titanyum alaşımları gibi) implantların tam bir hassasiyetle ve kısa zamanda üretilmesidir. Yöntem hız ve ekonomiyi de yanında taşımaktadır. Örneğin baş hasarı geçirmiş bir bireyin önce Cp Scan Tomografisi çekilir. 3 boyutlu medikal program yardımıyla katı model datası elde edilir. Doktor, CAD teknisyeni ile parça tasarımı yapar. Uygunluğu onanmış cihaz ve malzeme ile üretim gerçekleştirilir ve uygulamaya alınır. Tıptaki uygulama 3D baskı ile üretimi 2 nedenle gerekli kılar. Bunlardan ilki ve en önemlisi her bireyin anatomik olarak farklı olmasıdır. İnsan için standart ürün olmaz. İkincisi ise girişim gerektiren tıbbi olay ve vaka da kişiye özeldir ve özel üretim gerektirir. 3D baskı üretim bunları karşılar, hayatı kolaylaştırır ve yaşam kalitesini artırır. CoCrMo alaşımının dişçilikteki uygulaması, kişiye özel olma unsurunun çarpıcı bir örneğidir. Ti alaşımının ortopedik gerçeklerdeki payının artmasında 3D Baskı teknolojisi esnekliği rol oynayacaktır.

Prototip için önerilen eklemeli üretim (3D baskı) sistemi giderek kat kat üretim denen tipiyle son ürüne dönmüştür. Bugün itibarıyla 3D baskı ürünlerinin %28'i son ürüne dönüktür. Bu oran 2016'da %50 ve 2020'de %80'i aşacaktır. %100 asla olmayacaktır ve bu teknik hızlı ve ucuz prototip üretimini hep olanaklı kılacaktır. 3D baskı ile eklemeli üretim tıpta giderek büyüyen bir yaygınlık içinde olacaktır.

Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi bir adım atmıştır ve bu teknolojiyi getirerek önlere yerini almıştır. Üniversitemizde 3D baskı yöntemi ile eklemeli olarak parçalar yoğun şekilde üretilmektedir. İstanbul Kalkınma Ajansı desteği ile laboratuvar yatırımı gerçekleştirilmiş ve başta tıp endüstrisi olmak üzere sanayie örnek parça üretimleri başlamıştır. Gelişmeler önemsenmelidir ve yeni üretim devrimi sürecin başında yakalanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

1. M. Salim, “Hızlı Prototipleme ve Üretim”, Makina Tek Dergisi, 30-34, Kasım 97
2. J. P. Rangaswami, “Manufacturing, Hollywood-Style”, Scientific American, 7, November 2013
3. F. Yılmaz, E. Koç, M. E. Arar “3D Baskı ile Hızlı Prototip ve Son Ürün Üretimi”, Metalurji Dergisi, 168, (35-40), Şubat 2014.
4. C.Brancher, “Materials Solutions 3D Printing/DMLS, Expectation to Enlightenment”, EOS IUM 2013
5. Additive Manufacturing in Dentistry, EOS Katalog,2011
6. J.Goebner, “A Peek into the EOS Lab: Micro Laser Sintering” EOS,International User Meetings 22/04/2013-24/04/2013
7. J. Greses, “EOS innovations for e- manufacturing”, Presentation, EOSIUM 2011
8. “Applications of Direct Metal Laser-Sintering (DMLS) with EOSINT M“, EOS Katalog ,2011
9. E. Ateş, 3D Yazıcılar ve Uygulama Alanları, FSMVÜ ALUTEAM Sunum, İstanbul, 2013