

# 3D BASKI MATERYALİNİN EĞİTİMDE KULLANIMI: QUA VADIS?

## *The Using of 3D Printing Material in Education: QUA VADIS?*

Hale Sezer<sup>1</sup>, Hatice Şahin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi, Hemşirelikte Öğretim Anabilim Dalı, Bornova/İzmir

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Tıp Eğitimi Anabilim Dalı, Bornova/ İzmir

### Anahtar Sözcükler:

3D, 3D Baskı Materyali,  
Eğitim

### Keywords:

3D, 3D Printing Material,  
Education

**ÖZET:** 3D baskı materyalleri ilerleyen tıbbi görselleştirmenin kullanımıyla birlikte sağlık bakım hizmetlerinde, eğitimde ve araştırma alanlarında yaygınlaşmaktadır. 3D baskı materyalleri 1980'lerin ortasında üretilerek 1986 yılından itibaren stereolitografi kavramı yaşama girmiştir. Otomobil endüstrisi ve havacılık gibi endüstriyel uygulamalarda da 3D baskı materyalini üretmek mümkün olmuştur. 1990'lı yıllarda bilgisayarlı tomografiyle tanışılmasıyla birlikte 3D materyalleri anatomik yapıların görselleştirilmesini sağlamıştır. 3D materyallerin üretiminde çeşitli yazılımlardan yararlanılarak materyel üretilmektedir. Üretilen 3D baskı materyalleri klinik öncesi ve uzmanlık eğitiminde gibi eğitimde, cerrahi planlama, implant ve doku tasarlama gibi sağlık hizmetlerinde ve toksik ilaç kullanımı ve biyo baskı organ üretimi gibi araştırmalarda kullanılmaktadır. 3D baskı materyalinin kullanımıyla ilgili farklı görüşler bulunsada özellikle zorlu anatomik ve patolojik koşullarda öğrenmeyi geliştirmesi, uzmanlık eğitiminde yoğun bir eğitime izin vermesi, yükseköğretimde etkin ve proje tabanlı öğrenmede uygulanabilmesi açısından eğitim alanına önemli katkıları vardır. Bu yazıda, 3D baskı üretimi, sağlık ve eğitimdeki kullanım alanları hakkında bilgiler verilecektir.

**ABSTRACT:** 3D printing material with the use of health care services in advancing medical visualization of production, examples of use in educational and research areas is widespread. 3D printing materials produced in the mid 1980s, the concept of stereolithography has entered since 1986. Also in industrial applications such as automotive and aerospace industry it has been able to produce the 3D printing material. With the understanding of 3D materials with computer tomograph in the 1990s led to the visualization of anatomical structures. It is generated by various software in the production of 3D materials. The generated 3D printing materials, such as education and expertise in pre-clinical training, surgical planning, designing implants and tissue such as health care and the use of toxic drugs, such as are used in research and production of bio organs of repression. The generated 3D printing materials, such as education and expertise in pre-clinical training, surgical planning, designing implants and tissue such as health care and the use of toxic drugs, such as are used in research and production of bio-printing organs. In assuming different opinions on the use of 3D printing material, 3D printing materials in education, especially in challenging anatomical and pathological conditions 3D learning development, to allow an intensive training in specialized

*training, can be said to have an important contribution to the field of education in higher education and effective project-based in terms of implementation of learning. In this study, 3D printing production, health and will be given information about areas in education.*

*Not: Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur. Yazının hazırlanmasında kurumsal ve finansal herhangi bir destek alınmamıştır.*

## **Giriş**

3D baskı materyali üretimi endüstri alanında yaygın olarak kullanılmakla birlikte tıp eğitiminde ve sağlık bakım hizmetlerinde kullanımı günümüz koşullarında giderek artmaktadır. Özellikle teknolojik gelişmelerin yarattığı etkiler sonucunda tıbbi görselleştirme geçen son yüzyılda dramatik bir şekilde gelişmiştir (1). Bu yazıda, 3D baskı materyalinin gelişimi, üretimi, sağlık ve eğitimdeki kullanımları hakkında bilgi verilecektir.

### **1. 3D Baskı Materyalinin Gelişimi**

3D baskı örnekleri 1980'lerin ortasında Texas Üniversitesinde üretilmiştir. O vakit bu materyallerin üretimi külfetli ve pahalıydı (2). 1986 yılında stereolitografi ile tanışılmıştır. Stereolitografi, 3D tasarım yazılımlarında oluşturulan sayısal modeli, fiziksel model haline çevirmek için kullanılan hızlı bir yöntemdir. Hızla otomobil endüstrisi ve havacılık gibi endüstriyel uygulamalar da hızlı baskı materyali üretmek mümkün olmuştur. Bilgisayar destekli freze tekniklerinin aksine, stereolitografi tıkanıklığı ya da boşlukların ile çok daha küçük yapıların tasvir sağlamaktadır. 1990'lı yıllarda bilgisayarlı tomografiyle tanışılmasıyla birlikte 3D anatomik yapıların sunumunda kullanılmaya başlanmıştır (3). 1990'lı yıllarda püskürtmeli yazıcılarla maliyetin azalmasıyla birlikte havacılıkta uçuş materyallerinin parçaları,

mimaride bina modelleri, tıpta nakil için vücut parçaları 3D baskı ile üretilmiştir. Geçen son yıllarda farklı alanlarda da kullanım örnekleri görülmüştür (2).

3D materyallerin üretiminde CAD gibi çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Bu yazılımlardan yararlanabilmek için büyük laboratuvar firmaları (örn. Thingiverse ve MeshLab) kullanıcıların istedikleri nesnelere oluşturabilmelerinde ücretsiz dijital tasarım bilgileri indirme gibi online uygulamalar geliştirerek 3D baskı materyali üretimini teşvik etmiştir (2). 2D tasarımlarda dokunsal komponent olmadığı için materyallerin eğitimde ve tıpta kullanımında sınırlılıklar yaşanmaktaydı. tıbbi hızlı prototip 3D tekniklerinin kullanımıyla bu sınırlılıklar aşılmıştır. Bu teknolojiyle doğru anatomik ürünler üretilebilir ve kesitsel karşılaştırmalı görüntüler üzerinde spesifik hasta modelleri üretilmektedir (3).

### **2. 3D Baskı Materyalinin Üretimi**

3D baskı materyalinin üretiminde farklı aşamalar vardır. Herhangi bir görüntüleme modelinden elde edilen kaynak veri, tipik 2D olarak görselleştirilmektedir. Algoritma ve işleme araçları sonrasında anatominin 3D görünüşü elde edilmektedir. 3D baskı materyali görüntü alımı, görüntü işleme sonrası rötüş ve 3D basım üretim zinciri olmak üzere üç adım izlenerek üretilmektedir (1).

#### **a. 3D Baskı Üretim Aşamaları**

**i. Görüntü Alımı:** 3D baskı materyallerinin yaratılmasında en önemli adım görüntü almadır. Verinin kalitesine göre nesnenin kalitesi değişmektedir. Günümüzde klinik görüntü iyi bir çözünürlükte elde edilmektedir. Görüntü almada çok kesitli bilgisayarlı tomografi (MDCT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI), cone beam computed tomografi (CBCT), pozitron emisyon tomografi (PET) ve ultrasonografi gibi invaziv olmayan yöntemlerden

yararlanılmaktadır. Görüntüleme yönteminin ne olduğuna bakılmaksızın elde edilen veriler ortak DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında kaydedilerek işlenir (1,4).

**ii. Görüntü İşleme Sonrası Rötüş:** 3D işleme sonrasında parçalar bölümlenerek rötüş yapılır. Genellikle rötüşta, basit bölge görselleştirmenin yanı sıra büyüklüğüne bağlı olarak multiplanar reformasyon, maksimum ve minimum yoğunluk projeksiyonu, yüzey/hacim rendeleme gibi görselleştirme kullanılmaktadır. Rötüş işlemi cerrahi alanda, vasküler cerrahi, ortopedi, pediyatrik cerrahi alanlarında ameliyatı planlama ve sürdürme için klinik uygulamalarda rutin olarak kullanılmaktadır (5). Rötüşlenen görsel 3D baskı materyali üretimi için STL (SurfaceTesselation Language) dosyası formatında baskıya gönderilir (1,6).

**iii. 3D Baskı:** STL formatındaki dosyanın 3D yazıcıya gönderilmesiyle fizik olarak dokunulabilen materyal üretilmektedir. 3D baskı materyali üretimi, katmanlı üretim olarak da anılmaktadır. 3D baskı materyali üretmenin temel prensibi malzeme tabakalarının eklenmesiyle bir fiziksel bir model elde etmektir (7). Katkı maddeleriyle (filament) birlikte makine CAD çizim verilerini okur ve sıvının, toz ya da tabaka malzemesinin birbirini izleyen katmanlar şeklinde bir dizi kesitli model oluşturmasını sağlar. Bu tabakalar, CAD modelinin sanal kesitinin son şeklini oluşturmak için bir araya gelmektedir. 3D baskı materyali üretimi süresi kullanılan yöntemin yanı sıra modelin boyutuna, karmaşıklığına, filamente ve baskı makinesinin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (1).

### **b. 3D Basım İşlemi Teknikleri**

3D baskı materyali üretiminde her bir tekniğin kendine ait sınırlılıkları ve uygulanabilen baskı materyal modelleri bulunmaktadır (1). Streolitografi de (SLA) fotopolimerler

kullanılır. Termoplastik, metal, seramik, cam ya da tozlu küçük parçacıklar, naylon, cam doldurulmuş naylon ya da polistiren gibi polimer içeren materyaller ya da titanyum, bronz alaşımları, paslanmaz çelik alaşımlar 3D baskı materyallerinin üretimde kullanılabilir. Seçici lazer Sinterleme, Fused Deposition Modelling, Laminated object manufacturing teknikleri farklı 3D baskı materyallerinin üretiminde kullanılır. Kullanılan diğer bir teknik püskürtmeli baskı tekniğidir. Bunda alçı veya nişasta gibi ince tozlar 3D modelinin tabakalarının oluşturulmasında kullanılmaktadır. Püskürtmeli baskı tekniğinde tabakalamada canlı hücreler ve biyolojik malzemeler de kullanılmaktadır. Seri üretim gerektiren durumlarda kalıp oluşturmada 3D baskı materyali iki materyal kullanılarak üretilir. İlk materyale ana materyal, ikinci materyale destekleyici materyal denir. Destekleyici materyal ısıtılarak veya su-çözücü madde ile eritilerek ortadan kaldırılır. Böylece seri üretim için bir kalıp oluşturulur (1,8,9).

### **3. 3D Baskı Materyalinde Üretim Hatası**

3D baskı materyali üretimi aşamasında, üretimi yapacak kişinin alan bilgisi, kullanılan baskı cihazları, yazılım programları ve seçilen filament tipleri üretimde önemli bir yere sahiptir. Bu bileşenlerin herhangi birinden kaynaklanan üretim hataları olabilir (10).

- 3D baskı materyelinin tasarlanması ve üretilmesinin aynı ekibin yapmadığı durumlarda tasarımcıyla üretimi gerçekleştirecek ekip arasındaki zayıf iletişim/koordinasyon: Tasarımcının materyalin tüm gereksinimlerini açıklaması üretim hatasını azaltır.
- Baskı üretiminde kullanıcının bilgisinin fazla olması: Baskıyı yapacak firmaların basım teknikleri hakkında kullanıcıya ilk baştan yoğun bilgi vermesi yerine sorunlar oldukça destek hizmeti vermesi üretim hatasının azaltılmasında önemlidir.
- Her şeyin üretilebileceği inancı: Kullanıcıların baskılama teknikleri ve baskı cihazının

özelliklerinin çok üstünde materyal üretme çabalarının olması üretim hatasına neden olmaktadır.

- İlk seferde baskı materyalinin mükemmel olmasını bekleme: Tasarımcının ilk deneyiminde üretilecek olan materyal ile ilgili yüksek beklentiye sahip olması üretim hatasına neden olmaktadır.

- Yanlış malzeme ve süreçleri kullanma: SLA ya da PoliJetfoto polimerler zamanla UV ışımına maruz kaldıkların da baskı materyalinde bozulmaya neden olur, SLS pürüzlü yüzeyler üretmeyi sağlarken, Z printerlarla üretilen materyaller kırılındır. Amaca uygun malzeme ve baskı tekniklerinin kullanılmaması önemli bir üretim hatasının ortaya çıkmasına neden olur.

- Tasarımcının kendi baskısını yapacağı durumlarda: Gereksinimleri karşılayamayan bir baskı cihazı seçme üretim hatalarına neden olmaktadır.

- Üretimin yapılacağı zamanın doğru planlanması üretim hatalarını azaltmaktadır.

#### 4. 3D Baskı Materyalinin Üretim Ekibi

3D görüntüleme yöntemleri radyolojinin diğer disiplinlerle çalışmasına yardım etmektedir (1,11)

3D baskı materyali tıbbi uygulamada hala erken dönemde olmasına rağmen çeşitli çalışmalarda potansiyelini ortaya koymaktadır. 3D baskı materyallerinin üretiminin her aşamasında yer alan kişiler üretim ekibi olarak adlandırılmaktadır. Üretim ekibinin içinde radyologların sağlık hizmetleriyle mühendisliği bağlayan bu süreç zincirinde çok önemli bir rolü vardır. Ekipte ayrıca, klinisyenler, bilgisayar mühendisleri, bilim adamları ve malzeme bilim adamları da yer almaktadır (1,12).

#### 5. 3D Baskı Materyallerinin Kullanım Alanları

Uzun sürelerden beri üretim endüstrisinde kullanılan 3D baskı materyalleri son yıllarda bireysel hasta bakımında, araştırma ve eğitimde

kullanılmaktadır (1).

#### a. Sağlık Eğitiminde Kullanımı

##### i. Klinik Öncesi Evrede

3D baskı materyalleri klinik öncesi eğitimde özellikle anatominin daha iyi anlaşılmasını sağlamada kullanılır (1). Örneğin anatomi laboratuvarında 3D yazıcıdan üretilen kemikler (normal ve kırıkları bulunan) kullanılabilir (13). Tıp eğitiminde de doğru anatomik modeller ile çalışılmasına olanak sağlamaktadır. Kadavra malzemeleriyle 3D baskı materyalleri karşılaştırıldığında daha ucuzdur ve biyomekanik testlerdeki insan dokusunun yerine 3D baskı materyalinin kullanılmasına olanak sağlamıştır (3).

##### ii. Uzmanlık eğitiminde

Cerrahi işlemler insan anatomisi ve çeşitli anatomik yapıların topografik ilişkilerinin ayrıntılı bilgisiyle gerçekleştirilebilmektedir. Bu kapsamlı bilgi tıp eğitiminin klinik öncesi evresinde insan kadvraları üzerinden öğrenilmektedir. Cerrahi deneyimin kazandırılması ve bu konuda uzmanlaşma hastayı ameliyat etmeden önce kazandırılmalıdır. Bir bilgisayar ekranındaki 2D ve 3D görselleştirmelerden karmaşık anatomik detaylar yeterli kadar anlaşılabilir. 3D baskı materyalleri özellikle zorlu anatomik ve patolojik koşullarda öğrenmeyi geliştirerek cerrahi uzmanlık eğitiminde kullanılabilir. Örneğin, 3D baskı materyalleri kullanılarak endovasküler stent implantasyonunun simülasyonu hastanın komplikasyon riski olmadan gerçek dokularda in vivo koşullarda gerçekleştirilebilir (1).

Ameliyat öncesi planlamada geleneksel olarak, cerrahlar, canlı hayvanlar üzerinde öğrenmelerinin yerine 3D biyobaskı ile üretilmiş organ ve dokuların üzerinde eğitim alabilmektedir. 3D biyobaskı alınmış nöroanatomik modeller beyin cerrahlarına lezyon ve normal beyin yapıları ile kraniyal sinirler, damarlar, beyin yapıları ve kafatası

arasındaki ilişkiyi yansıtmada yararlı olabilmektedir. Bu 3D biyobaskı modeller, beyin cerrahide güvenli cerrahi koridor belirlemeye yardımcı olabilmektedir (11).

3D baskı materyalleri yükseköğretimde etkin ve proje tabanlı öğrenmede uygulandığında, özellikle göze çarpan bir teknoloji haline dönüşmüştür. Eğitim için 3D baskının en önemli yönlerinden biri de üniversitelerde bulunmayan nesnelere daha otantik keşiflere olanak tanınmasıdır. Miami Üniversitesinde Antropoloji öğrencileri antik Mısır vazosu gibi, kırılabilir eserleri 3D baskıyla kopyalarını üretip inceleyebilmektedir. Jeoloji öğrencileri nadir fosilleri, kristalleri ve mineralleri herhangi bir zarar vermeden inceleyebilmektedir. 3D yazıcılarla yeni materyaller üretilir ki Harvard Üniversitesinde kum tanesi büyüklüğünde ve tıbbi implantlar ve minyatür kameralar gibi çok küçük cihazlara güç kaynağı olabilen lityum-iyon mikro piller üretilmiştir. Liverpool Üniversitesi bilim adamları bireyin yaşı, cinsiyeti ve etnik kökenine benzeyecek 3D yazdırılabilir sentetik cilt geliştirmişlerdir (2).

## **b. Sağlık Hizmeti Sunumunda Kullanımı**

3D baskı materyali üretimi sağlık hizmetinde cerrahi planlama, implant ve doku tasarlamada kullanılmaktadır (1)

**i. Cerrahi planlama:** 3D baskı materyali üretimi cerrahi alanında karmaşık anomalinin daha iyi anlaşılmasında bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu da tanının kalitesini artırarak, ameliyat öncesi planlamaya yardım etmektedir. Kraniofasial ve maksillofasial cerrahide uygulanması bu tekniğin yararlarını kanıtlamıştır (14). Pelvik, beyin, omurga, kardiyovasküler ve viseral cerrahinin tanı ve tedavisinde patolojik yapının 3D baskı materyalinin elde edilmesi, ameliyatları önceden planlama imkanı sağlayarak ameliyatların doğruluğunu arttırmaktadır (15–19). Tüm

cerrahi komplikasyonların simülasyonunda 3D baskı materyali kullanımı, intraoperatif komplikasyonların önceden görülmesine yardım etmektedir (20). Bu da ameliyat süresini kısaltabilir ve ameliyathanelerin daha maliyet etkin kullanımını sağlayabilir (21). 3D baskı materyaliyle radyoterapinin planlanması ve uygulanması bireysel radyasyon kalkanlarının üretilmesinde yararlıdır (1). BT anjiyografi verilerine dayanarak yapılan modeller, hastanın anatomisini tasvir ederek tehlikeli ve karmaşık nörovasküler ve kardiyovasküler müdahalelerin planlanmasına yardımcı olabilmektedir. Hastaların tümör rezeksiyonlarında ve rekonstrüktif ameliyat durumlarında bu teknik ile ameliyat süresince daha iyi planlamaya daha kısa çalışma ve anestezi süreleri, daha az kan kaybı ve daha düşük ölüm oranları sağlanmaktadır (3).

## **ii. İmplant ve Doku Tasarlama:**

İsmarlama protez ve implant kullanımı Hollandada yaygınlaşmaktadır (11). 3D baskı materyali üretim tekniği medikal protez ve implant tasarlamada da hizmet vermektedir. Standart ölçülerde kemik implantlar birçok hasta ve cerrahi prosedür için hazır ticari bir çözüm olsa da bireysel anatomik ve hastalığa özgü gereksinimler nedeniyle tüm vakalarda kullanılamaz (22,23). 3D baskı materyali tekniğiyle çeşitli anatomik yapılar özellikle yüz cerrahisinde çene kemiği, diş restorasyonları, kalça, femoral ve diz eklem rekonstrüksiyonunun da başarılı bir şekilde metal, seramik, polimer olan biyouyumlu materyaller kullanılarak gerçekleştirilmektedir (24–28). Polimer polikaprolakton kemik onarımında titanyum gibi metaller kalça kemiği gibi yük taşıyan alanlarda tercih edilmektedir. Sadece kemik için değil yumuşak dokunun yerini alması içinde kullanılmaktadır. Bireysel kulak kepçesiyle ilgili protezler bu tekniğin kullanımının en canlı etkisidir. Gelecekteki uygulamaların, yapay tüm organ üretme ve bireysel hasta anatomisine ve

gereksinimlerine özgül baskı materyalini adapte etme olacağı düşünülmektedir (1,7,29,30).

Genel olarak doku mühendisliği, bir hastanın biyopsisinden gelen hücrelerin izole edilmesi, hücrelerin çoğaltılması ve doğal ya da sentetik bir platform üzerinde bunları tohumlamasından oluşmaktadır. Bu yaklaşım doku mühendisliğinde deri, kıkırdak, mesane, trakea ve vajina geliştirilmesi de dahil olmak üzere, klinikte ve araştırmalarda başarıyla kullanılmaktadır (31).

### **c. Araştırmalarda Kullanımı**

3D baskı materyallerinin araştırmalarda kullanılması fizyolojik ve patolojik süreçlerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Karmaşık morfolojiler iki boyutlu ve 3D görselleştirme araçlarındansa 3D baskı materyali ile daha iyi görselleşmektedir. Hemodinamikler araştırılmaktadır. Damarların elastik özelliklerini taklit etmede silikon veya poliüretan gibi malzemeler kullanılarak yumuşak modeller imal edilmektedir (1,17,19,32). 3D biyobaskılı doku modellerinden karaciğer ve diğer organlar ilaç kullanımı ve toksikoloji testlerinin yapımı için kullanılmaktadır (11). 3D baskı materyali üretimi kapsamında yeni üretim teknolojileri, biyolojik doku yapılarının üretimini etkinleştirmek amacıyla kullanmaya başlamıştır. Cihaz arızaları, donör organların sınırlı arz ve immünsüpresifler ihtiyacı konularında süregelen sorunlar bu alana kaymaya neden olmuştur. Doku mühendisliği ve rejeneratif tıp konakçıda bir immün tepkisi neden olmayan olog doku greftleri üretiminde ya da iyileşme sürecinde artış gibi bu sorunların bazılarını önlemeye çalışmaktadırlar. Bu sıfırdan organ oluşturma ve organ basımı popülerleşmeye başlamıştır (31). 3D baskı teknolojisi kullanılarak yapay organların ve dokuların gelişimi üzerinde çabalar gösterilmekle birlikte, yapay dokularının uygulanması sınırlıdır. Konuyla ilgili araştırmalar erken bir aşamada bulunmaktadır (1,7,33).

### **6. 3D Kullanımıyla İlgili Farklı Görüşler**

Eğitimde anatomik modeller ile 3D görselleştirmelerin karşılaştırılmasında hangi teknolojinin daha etkili olduğu konusu tartışmalıdır. Anatomik modellerin genellikle insan dokusu ve çevresindeki yapıları yeterli derecede temsil edemedikleri düşünülmektedir. Ayrıca, tıp eğitiminde kadvralar kullanılarak öğretilen normal anatomi klinik senaryolardaki çeşitliliği yansıtmamaktadır. 3D baskı materyallerinin anatomi derslerine dahil edilmesi normal anatomik ve patolojik çeşitlilikleri vermesi açısından olumlu olduğu belirtilmektedir (1,34). 3D baskı materyalleri hasta hekim iletişiminde kullanılmaktadır. Özellikle klinisyenlerin hastalardan tedavi veya prosedürler için onam almada görsel olarak açıklama yapmalarına olanak tanır. Öte yandan, ticari olarak temin edilebilir implantlar çoğu hasta için uygun olduğu vurgulanmaktadır. Özelleştirilmiş implant ve protezler için 3D baskı materyal üretim teknolojinin uygulanması üzerinde yoğun olarak çalışılan alanlardandır (1,25,26,29,30). 3D baskı materyallerinin üniversite veya hastanelerde maliyetleri nedeniyle az sayıda olması ve ortaya çıkan ürünün kırılabilirliğinin fazla olması nedeniyle büyük öğrenci eğitiminde kullanımı tavsiye edilmemektedir. Buna karşın teknolojik gelişmelerle bu sınırlılıklarının üstesinden gelineceği düşünülmektedir. Diğer bir görüş ise 3D baskı materyali ile tüm bir insan vücudu ya da model üretilmemektedir. Aslında minyatürünü üretme ya da tüm vücudu küçük parçalarda üretme sonra birleştirme gibi çözümler bulunarak bu sınırlılığın üstesinden gelinmiştir. 3D baskı materyalinin en büyük sınırlılığı üretim aşamasında harcanan zaman ve maliyettir. Komplike vakalarda, 3D baskı materyali çalışma süreleri ve ek maliyetleri azaltabilmekte ve cerrahi işlemlerde daha yüksek başarı oranı ile telafi edilebilmektedir. 3D baskı materyali üretmek için gereken süre elektif vakaların ameliyatta kullanımını sınırlamakta ve acil durumlar için bunu uygunsuz hale

getirmektedir (1,33,34).

3D baskı materyalleri plastinasyon tekniği ile de karşılaştırılmaktadır. Ancak plastinasyon ve 3D baskı materyalleri farklı amaç için üretilmekte ve kullanılmaktadır. (35).

### 7. 3D Basımlarının Etik Boyutu

Organ biyobaskı üretimi son birkaç yıl içinde ortaya çıkmıştır. Kök hücre teknolojisi, hücre ve teknolojik gelişmelerin üzerinde moleküler biyoloji, biyomekanik mühendisliği, baskı ve yazılım teknolojileri bu alanın gelişmesine yardımcı olmaktadır (11). Günümüzde 3D biyobaskı sadece mikro dokuları yazdırmak için kullanılmaktadır. Organ nakli ve organların birbirine uyumunu geliştirerek ticari anlamda biyo-baskı yapılması için uzun yıllar çalışmalara ihtiyaç vardır. İlk laboratuvar baskılı böbrek, karaciğer, kalp ya da implantların piyasada mevcut hale gelmeden önce bir dizi düzenleyici ve yasal gerekliliklerin açıkça ortaya konması gereklidir. Halen biyobaskının uygulanabilirliği açısından kamu politikalarında eksiklikler bulunmaktadır. Hücre kaynağı, maliyet ve geri ödeme, biyobaskı organ kalitesi ve aynı türden hücrelerin kullanımı, hazırlık pre-klinik ve klinik çalışmalar, hastalık modelleme ve ilaç keşfi, ömrü uzatma ve insan yeteneğinin ilerlemesi, uzmanların çıkar çatışmaları, sosyal adalet, fikri mülkiyet konularının netleştirilmesi gerekmektedir (11).

### 8. Sonuç ve Öneriler

3D baskı materyallerinin eğitimde kullanılması ile öğrencilerin görme ve dokunma duyularının öğrenmeye aktif katılımı sağlanmaktadır. Öğrencilerin organ yapılarını bir bütünün parçası halinde göreberek etkin öğrenmeleri sağlanmaktadır. Eğitim kurumlarında, 3D baskı materyallerinin maliyet etkin biçimde üretilmesi ve yaygın kullanılması için öğrenci sayısı kurumun mali kaynakları eğitim programında uygulamalı eğitimlerin ağırlığı gibi değişkenler yanında 3D baskı materyallerinin üretim ekibi

ve üretimin sürekliliği de önemlidir. Bunun için 3D baskı materyali birimi ve ekibi eğitim yönetimi içinde yer almalıdır.

### KAYNAKLAR

1. Rengier F, Mehndiratta A, von Tengg-Kobligh H, Zechmann CM, Unterhinninghofen R, Kauczor H-U, et al. 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *Int J Comput Assist Radiol Surg* [Internet]. 2010;5(4):335–41. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11548-010-0476-x>
2. Johnson L, Becker S, Estrada V, Freeman A. *Horizon Report: 2014 Higher Education* [Internet]. 2014. 1-52 p. Available from: [http://www.editlib.org/p/130341/nhttp://www.editlib.org/p/130341/report\\_130341.pdf](http://www.editlib.org/p/130341/nhttp://www.editlib.org/p/130341/report_130341.pdf)
3. Ebert LC, Thali MJ, Ross S. Getting in touch—3D printing in Forensic Imaging. *Forensic Sci Int* [Internet]. 2011;211(1-3):e1–6. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037907381100209X>
4. Mahadevappa M. Search for Isotropic Resolution in CT from Conventional through Multiple-Row Detector1. *Radiographics*. 2002;22:949–62.
5. von Tengg-Kobligh H, Weber T, Rengier F, Kotelis D, Geisbusch P, Bockler D, Schumacher H LS. Imaging modalities for the thoracic aorta. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 2008;49:429–47.
6. Giesel FL, Hart AR, Hahn HK, Wignall E, Rengier F, Talanow R, et al. 3D reconstructions of the cerebral ventricles and volume quantification in children with brain malformations. *Acad Radiol* [Internet]. 2009

- May [cited 2016 Mar 2];16(5):610–7. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1076633208006958>
7. Peltola SM, Melchels FPW, Grijpma DW KM. A review of rapid prototyping techniques for tissue engineering purposes. *A Rev rapid Prototyp Tech tissue Eng Purp*. 2008;40:268–80.
8. Boland T, Xu T, Damon B CX. Application of inkjet printing to tissue engineering. *Biotechnol J*. 2006;1:910–7.
9. Campbell PG W LE. Tissue engineering with the aid of inkjet printers. *Expert Opin Biol Ther*. 2007;7:1123–7.
10. Chaban Micah. Eight Common Rapid Prototyping Mistakes. *Rapid made*. 2013.
11. Varkey M, Atala A. Organ Bioprinting: A Closer Look at Ethics and Policies. *Wake For J Law Policy*. 2015;691(2013):275–98.
12. Berman PM, Sosna J. Advent of 3D printing based on MDCT data. *European Society Of Radiology-2009*. 2009. p. 5–17.
13. AbouHashem Y, Dayal M, Savanah S, Strkalj G. Medical Education Online. *Med Educ Online* [Internet]. 2015;(20):1–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26198434>
14. Wagner JD, Baack B, Brown GA, Kelly J. Rapid 3-dimensional prototyping for surgical repair of maxillofacial fractures: a technical note. *J Oral Maxillofac Surg* [Internet]. 2004 Jul [cited 2016 Mar 2];62(7):898–901. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278239104003076>
15. Guarino J, Tennyson S, McCain G, Bond L, Shea K, King H. Rapid prototyping technology for surgeries of the pediatric spine and pelvis: benefits analysis. *J Pediatr Orthop* [Internet]. 2007;27(8):955–60. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18209623>
16. Hurson C, Tansey A, O’Donnchadha B, Nicholson P, Rice J, McElwain J. Rapid prototyping in the assessment, classification and preoperative planning of acetabular fractures. *Injury*. 2007;38(10):1158–62.
17. Giesel FL, Mehndiratta A, von Tengg-Kobligk H, Schaeffer A, Teh K, Hoffman EA, et al. Rapid prototyping raw models on the basis of high resolution computed tomography lung data for respiratory flow dynamics. *Acad Radiol* [Internet]. 2009 Apr [cited 2016 Mar 2];16(4):495–8. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1076633208006296>
18. Armillotta a, Bonhoeffer P, Dubini G, Ferragina S, Migliavacca F, Sala G, et al. Use of rapid prototyping models in the planning of percutaneous pulmonary valved stent implantation. *Proc Inst Mech Eng H*. 2007;221:407–16.
19. Kim MS, Hansgen AR, Wink O, Quaife RA, Carroll JD. Rapid prototyping: A new tool in understanding and treating structural heart disease. *Circulation*. 2008;117(18):2388–94.
20. Mavili M, Canter H, Saglam-Aydinatay B, Kamaci S KI. Use of three-dimensional medical modeling methods for precise planning of orthognathic surgery. *JCraniofac Surg*. 2007;18:740–7.



21. D'Urso P, Barker T, Earwaker W, Bruce L, Atkinson R, Lanigan M, Arvier J ED. Stereolithographic biomodelling in craniomaxillofacial surgery: a prospective trial. *J Craniomaxillofac Surg.* 1999;27:30–7.
22. Kido T, Kurata A, Higashino H, Sugawara Y, Okayama H, Higaki J, et al. Cardiac imaging using 256-detector row four-dimensional CT: Preliminary clinical report. *Radiat Med - Med Imaging Radiat Oncol.* 2007;25(1):38–44.
23. Meaney J GM. Recent advances in contrast-enhanced magnetic resonance angiography. *Eur Radiol.* 2007;17(Suppl 2):B2–6.
24. D'Urso PS, Barker TM, Earwaker WJ, Bruce LJ, Atkinson RL, Lanigan MW, et al. Stereolithographic biomodelling in craniomaxillofacial surgery: a prospective trial. *J Craniomaxillofac Surg.* 1999;27(1):30–7.
25. Singare S, Liu Y, Li D, Lu B, Wang J, He S. Individually prefabricated prosthesis for maxilla reconstruction. *J Prosthodont.* 2008;17(2):135–40.
26. Li Z, Xu SF, Li DC, Sun Z, Zhang T, Lu JX, et al. Composite artificial semi-knee joint system. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2014;18(8):1229–40.
27. Dai K, Yan M, Zhu Z SY. Computer-aided custom-made hemipelvic prosthesis used in extensive pelvic lesions. *J Arthroplasty.* 2007;22:981–6.
28. Harrysson O, Hosni Y NJ. Custom-designed orthopedic implants evaluated using finite element analysis of patient-specific computed tomography data: femoral-component case study. *BMC Musculoskelet Disord.* 8:91.
29. Subburaj K, Nair C, Rajesh S, Meshram SM, Ravi B. Rapid development of auricular prosthesis using CAD and rapid prototyping technologies. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007;36(10):938–43.
30. Ciocca L, Mingucci R, Gassino G, Scotti R. CAD/CAM ear model and virtual construction of the mold. *J Prosthet Dent.* 2007;98(5):339–43.
31. Derby B. Printing and Prototyping of Tissues and Scaffolds. *Science (80- ).* 2012;338(November):921–7.
32. Canstein C, Cachot P, Faust A, Stalder AF, Bock J, Frydrychowicz A, et al. 3D MR flow analysis in realistic rapid-prototyping model systems of the thoracic aorta: Comparison with in vivo data and computational fluid dynamics in identical vessel geometries. *Magn Reson Med.* 2008;59(3):535–46.
33. Taga I, Funakubo A, Fukui Y. Design and development of an artificial implantable lung using multiobjective genetic algorithm: evaluation of gas exchange performance. *ASAIO J.* 2005;51(1):92–102.
34. Lambrecht JT, Berndt DC, Schumacher R, Zehnder M. Generation of three-dimensional prototype models based on cone beam computed tomography. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2009;4(2):175–80.
35. Üstün Ç. Plastinasyon. bir bilim mi yoksa garip bir gösteri mi? *ADÜ Tıp Fakültesi Derg.* 2002;3(1):37–42.