



# Kranioplasti Uygulamasında 3B Baskı ve PMMA Kalıplama Çalışması

## 3D Printing and PMMA Molding Study for a Cranioplasty Application

Andaç Hamamcı<sup>1</sup>, Gizem Çekigil<sup>1</sup>, Büşra Duyar<sup>1</sup>, Zeynep Fırat<sup>2</sup>, Uğur Türe<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Yeditepe Üniversitesi

<sup>2</sup> Radyoloji Anabilim Dalı, Yeditepe Üniversitesi Hastanesi

<sup>3</sup> Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Yeditepe Üniversitesi Hastanesi  
andac.hamamci@yeditepe.edu.tr

**Özetçe**— Kranioplasti, kafatası kusurlarının kozmetik ve işlevsel açılardan düzeltilmesi amacıyla uygulanan cerrahi işlemdir. Bu çalışmada sayısal ortamda elde edilen bir kranyal parçanın geometrisinin, 3 boyutlu yazıcı ve döküm tekniği kullanılarak uygun bir malzemeye aktarılması için bir yöntem sunulmuştur. Önerilen çok adımlı yöntemin her bir aşamasında ortaya çıkan geometriler karşılaştırılarak hataya etki eden faktörler değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — Kranioplasti, PMMA, 3B Yazıcı, Kalıplama.

**Abstract**—Cranioplasty is the surgical operation to repair the cranial defects both in cosmetic and functional ways. In this study, a method to copy the geometry of the cranial bone model constructed in digital environment to a suitable material by using 3d printing and molding technique, is presented. The factors, affecting the error, are evaluated by comparing the geometries arise at each step of the multi-stage technique.

**Keywords** — Cranioplasty, PMMA, 3D Printing, Molding.

### I. GİRİŞ

Kranioplasti, kafatası kusurlarının kozmetik ve işlevsel açılardan düzeltilmesi amacıyla uygulanan cerrahi işlemdir. Kranioplasti işleminde hastanın saklanmış olan kendi kemiği veya sentetik malzemelerden üretilen parçalar kullanılabilir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan teknik; akrilik bir malzeme olan polymethyl methacrylate (PMMA)'ın cerrah tarafından şekillendirilerek mini plakalar ile çevre kemiklere tutturulmasıdır. Bu teknikte her zaman istenilen kozmetik sonuca ulaşmak mümkün olmadığı gibi, egzotermik reaksiyonun neden

olduğu yüksek sıcaklık beyin dokusunda hasara neden olabilmektedir [1, 2].

Literatürde hastanın kendi kemiğinden çeşitli yollarla elde edilen kalıplara sentetik malzemenin dökümü ile üretilen parçaların kranioplasti işleminde başarıyla kullanılabilirliği raporlanmıştır. Bu çalışmalarda kalıp için silikon, hazır alçı, PMMA gibi farklı malzemeler kullanılabilir [3, 4, 5].

Diğer taraftan tomografik görüntüleme, 3 boyutlu modelleme ve 3 boyutlu yazıcı teknolojilerindeki gelişim kranioplasti işleminde kullanılacak olan sentetik parçanın bilgisayar ortamında tasarım ve üretimine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemlerde malzeme olarak bilgisayar destekli üretime uygun olan poly-ether-ether ketone (PEEK) veya titanium kullanılmaktadır [6]. Titaniumla kıyaslandığında PEEK implantları mekanik özellikleriyle tercih edilebilir olmakla beraber, üretimleri maliyetlidir ve uyumluluk problemleri yaşanabilmektedir [7, 2].

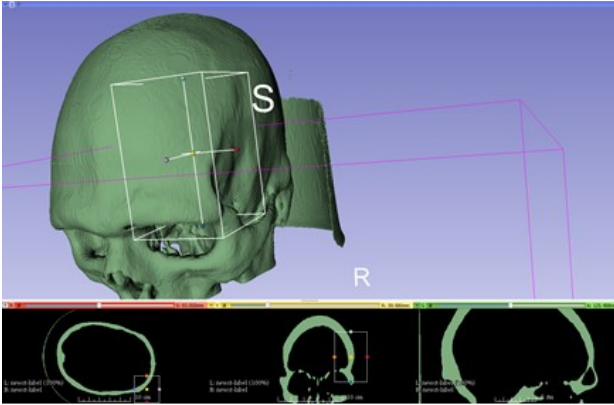
Bu çalışmada sayısal ortamda elde edilen bir kemik parçasının geometrisinin, 3 boyutlu yazıcı ve döküm tekniği kullanılarak uygun bir malzemeye aktarılması için bir yöntem sunulmuştur. Üretilen parçadaki hatanın, sürecin farklı aşamalarında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

### II. YÖNTEM

Bilgisayarlı tomografi görüntülerinden frontal kemik parçası modelinin oluşturulması için açık kaynak kodlu 3D Slicer v4.0 (<http://www.slicer.org>) yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle bilinen herhangi bir kafatası hasarı bulunmayan bir hastanın önceden alınmış BT görüntüsünden, uygun üst ve alt eşik değerleri manuel olarak seçilerek kafatası bölütlenmiştir. Elde edilen bu bölütlemeye frontal kemik parçası Şekil 1'de görüldüğü gibi kırılmış ve yüzey modeli STL formatında kaydedilmiştir.

## Biyomalzeme 1

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma



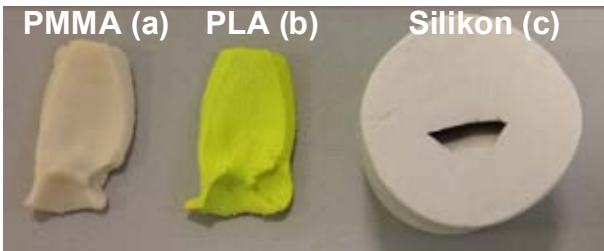
Şekil 1. BT verisinden bölütlenmiş kafatasından seçilen frontal kemik parçası

Dijital ortamda oluşturulan kemik parçası, katmanlı üretim teknolojisine dayalı 3 boyutlu yazıcıda Polylactic acid (PLA) filaman kullanılarak üretilmiştir.

Piyasadan ucuz ve kolay bir şekilde temin edilebilen kalıp silikonu kullanılarak, üretilen parçanın ters kalıbı elde edilmiştir. Silikon kalıp kiti olarak 'Renk Boya' RTV2 kullanılmıştır. 360 gram toz 10.8 gram sıvı ile 10 dakika boyunca karıştırılmış, parça bir kap içinde dikey vaziyette sabitlenmiş ve hazırlanan akışkan silikon kabın içerisine dökülerek sertleşmesi için yaklaşık bir gün beklenmiştir. Silikon lastik, bir kenarından bıçak kullanılarak dikkatlice kesilmiş ve orjinal parça kalıptan çıkarılmıştır.

Döküm işlemi için Yeditepe Üniversitesi Hastanesi beyin cerrahisi bölümü tarafından sağlanan ve cerrahide kullanılan 'Zimmer' marka PMMA kiti kullanılmıştır. PMMA kiti 40 gram polimer toz ve 20cc monomer sıvıdan oluşmaktadır. İki malzemenin karıştırılmasıyla elde edilen karışım, oda koşullarında silikon kalıba dökülmüş ve katılaşması için 3 dakika kadar beklenilmiştir. Kalıbın deformasyonunu azaltmak amacıyla, silikon kalıp dışarıdan lastik bandlar ile desteklenmiştir.

Şekil 2'de görülen 3 boyutlu yazıcı çıktısı PLA parça, silikon kalıp ve dökülen PMMA parça Yeditepe Üniversitesi Hastanesi Radyoloji Anabilimdalı bünyesinde yer alan bilgisayarlı tomografi cihazında taranarak kesitsel görüntüler elde edilmiştir.



Şekil 2. (a) PMMA döküm sonucu elde edilen son parça. (b) 3B yazıcı ile basılan frontal kemik parçası. (c) Döküm için kullanılan silikon kalıp.

3D Slicer programı kullanılarak PLA parça, PMMA parça ve silikon kalıp içerisindeki boşluk bölütlenmiş ve her biri için yüzey modeli oluşturularak STL formatında kaydedilmiştir.

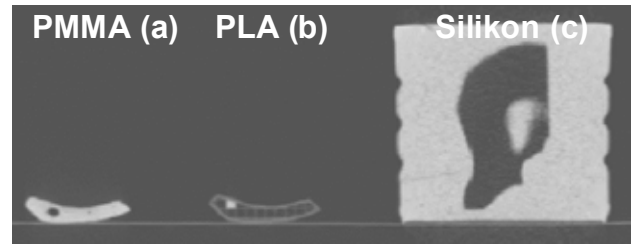
Parçanın üretimi sürecinde sırasıyla aşağıdaki geometrik modeller oluşturulmuştur:

1. Frontal kemikten kesilen yüzey modeli
2. 3 boyutlu baskı ile elde edilen PLA model
3. Silikon kalıp içindeki boşluk
4. Döküm yoluyla elde edilen PMMA parça

Sürecin her bir aşamasında elde edilen geometrinin bir önceki adımdan sağlanan geometriyle karşılaştırılması MeshLab v1.3.3 programında yapılmıştır. Modeller önce manuel landmarklar kullanılarak kabaca hizalanmış ve sonrasında otomatik yöntem kullanılarak rijit olarak çakıştırılmıştır. Çakıştırılmış yüzeyler arasındaki uzaklık "Hausdorff Distance" filtresi kullanılarak hesaplanmış ve yüzey modelleri üzerinde haritalanmıştır.

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

3 boyutlu yazıcı çıktısı PLA parça, silikon kalıp ve dökülen PMMA parçanın bilgisayarlı tomografide taranmasıyla elde edilen örnek bir kesit Şekil 3'de verilmiştir.



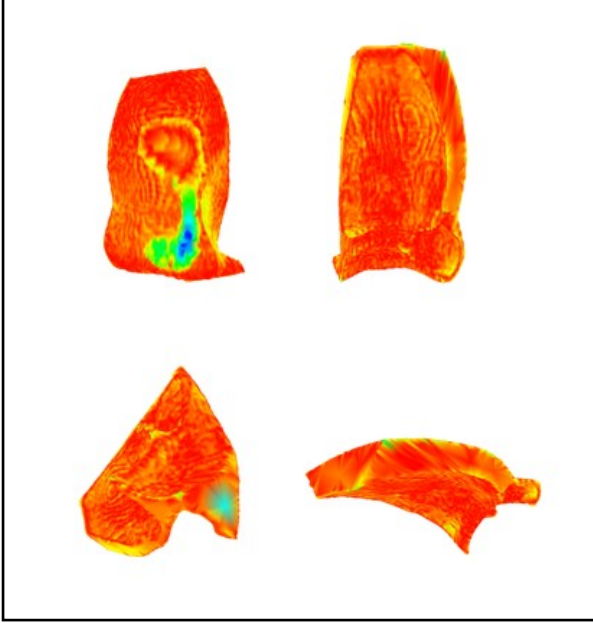
Şekil 3. Örnek BT kesiti. (a) PMMA döküm sonucu elde edilen son parça. (b) 3B yazıcı ile basılan frontal kemik parçası. (c) Döküm için kullanılan silikon kalıp.

Şekil 3'te verilen BT kesiti incelendiğinde, her 3 parça için konturlar düzgün olarak gözlenebilmektedir. Şekil 3a'da verilen PMMA parçanın içerisinde oluşan hava boşluklarının döküm yönteminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Malzemenin hızlı sertleşmesi karıştırma işleminde oluşan hava kabarcıklarının malzeme içerisinde hapsolmesine neden olmuştur. Bu kusurun üretilen parçanın mekanik dayanımı üzerine yapacağı etki göz önüne alınarak döküm işleminin daha kontrollü bir şekilde ve vakum altında gerçekleştirilmesi değerlendirilmelidir.

Sayısal yüzey modeli ile 3 boyutlu baskıyla elde edilen parçanın karşılaştırması şekil 4'de, basılan parçayla oluşturulan silikon kalıp içerisindeki boşluğun karşılaştırılması şekil 5'de ve silikon kalıp ile döküm sonucu elde edilen PMMA parçanın karşılaştırılması şekil 5'de verilmiştir.

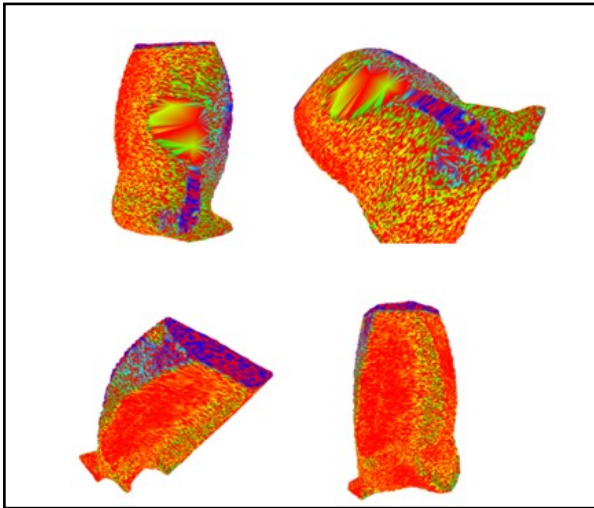
## Biyomalzeme 1

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma



Şekil 4. 3B yazıcı çıktısı ile bölütlenen BT parçasının karşılaştırılması (kırmızı: 0mm / mavi: 1.5mm).

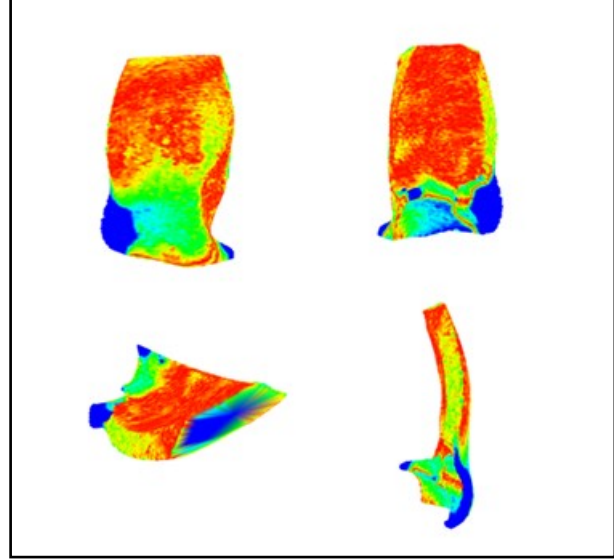
Şekil 4'de verilen sayısal model ile 3b yazıcı çıktısı karşılaştırıldığında 1.5mm'ye ulaşan farklılık gözlenmektedir. Ancak, bu farklılık parçanın üretiminden değil, 3b yazıcı çıktısının BT görüntülerinden bölütlenmesi işleminde parça ile sehpa yüzeyinin örtüşmesinin neden olduğu hatadan kaynaklanmaktadır. Hedeflenen kemik geometrisi 3b yazma teknolojisiyle PLA malzemeye hatasız yakın aktarılabilmiştir.



Şekil 5. Silikon kalıp ile 3B yazıcı çıktısının karşılaştırılması (kırmızı: 0mm / mavi: 1.5mm).

Şekil 5'de silikon kalıplama işlemi değerlendirildiğinde, PLA parça geometrisinin silikon kalıba büyük ölçüde aktarılabilindiği gözlenmiştir. Yine 1.5 mm'ye ulaşan hatalar, BT görüntülerinden modelin eldesi sırasında

uygulanılan bölütleme ve kırma işlemlerinden kaynaklanmıştır.



Şekil 6. PMMA döküm ile elde edilen parça ile Silikon kalıbın karşılaştırılması (kırmızı: 0mm / mavi: 1.5mm).

Şekil 6'da, silikon kalıba PMMA dökümü işleminin özellikle köşelerde 1mm'den büyük hatalara yol açtığı gözlenmektedir. Bu hatanın büyük ölçüde sıvı halde dökülen PMMA malzemenin düşük akışkanlığından ve hızlı sertleşmesi nedeniyle silikon kalıp içerisine düzgün bir şekilde yayılmamasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bu probleme çözüm olarak farklı bir sentetik çimento kullanılması veya kalıplama işleminin geliştirilmesi önerilebilir.

## IV. SONUÇ

Bu çalışmada, bilgisayar ortamında oluşturulan sayısal kemik modelinin, cerrahi pratiğinde yaygın olarak kullanılan PMMA malzemeden üretilmesi için bir yöntem sunulmuştur. Önerilen çok adımlı yöntemin her bir aşamasında ortaya çıkan geometri ler karşılaştırılarak hataya etki eden faktörler değerlendirilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde üretilen sentetik kemik parçasındaki hataların büyük ölçüde PMMA döküm işleminden kaynaklandığı belirlendi. Kullanılan akrilik çimentonun düşük akışkanlığı ve hızlı katılaşması nedeniyle dökülen malzemenin kalıba tam olarak nüfuz edememesinden kaynaklanan kayıplar ve parça içerisinde mekanik özellikleri etkileyebilecek miktarlarda hava boşlukları meydana geldiği gözlenmiştir. Bu problemlerin döküm işleminin geliştirilmesi ve kullanılan malzemenin uygun şekilde seçilmesiyle giderilebileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmada kemik modelini sağlıklı bir kafatasından kırarak oluşturduk. Pratikte, bunun mümkün olmadığı bir çok durumda kafatasındaki boşluğa uygun sayısal model,



## Biyomalzeme 1

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

sağlam olan karşı kısmı kopyalama veya manuel olarak kestirilmektedir. Bu amaçla kullanılabilir bilgisayar yöntemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada negatif kalıbı 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş parçanın silikon dökümüyle elde ettik. Alternatif olarak, negatif kalıp modelinin bilgisayar ortamında hazırlanarak 3 boyutlu yazıcı ile üretilmesi önerilebilir. Böylece hem süreç sadeleştirilecek ve hem de silikonun deformasyonundan kaynaklanabilecek hatalar engellenebilecektir. CAD/CAM programları üretilen parçaya uygun enjeksiyon kalıbı oluşturmak için seçenekler sunuyor olmakla beraber, bu yöntemler parça modelinin tasarımında kısıtlamalar gerektirmektedir. Rastgele geometri bir parça için katı döküm kalıbı oluşturma, literatürde açık bir çalışma alanıdır [8].

Son olarak tüm sürecin intraoperatif olarak uygulanabilecek şekilde geliştirilmesinin uygulama alanlarını genişleteceği düşünülmektedir [5].

### KAYNAKÇA

[1] Aydın S, Kucukyuruk B, Abuzayed B, Aydın S, Sanus GZ, "Cranioplasty: Review of materials and techniques", *J Neurosci Rural Pract*, 2:162-7, 2011.

- [2] Shah AM, Jung H, Skirboll S, "Materials used in cranioplasty: a history and analysis", *Neurosurgical focus*, 36(4), 2014.
- [3] Alesch F, Bauer R, "Polyacryl prosthesis for cranioplasty—their production in silicon rubber casts", *Acta neurochirurgica*, 77(1-2), 68-71, 1985.
- [4] Cagavi V, et.al., "Akrilik ile Kranioplastide Yeni Bir Metod: Teknik Not", *Türk Nöroşirürji Dergisi*, Cilt: 16, Sayı: 1, 48-51, 2006.
- [5] Marbacher S, Anderegg L, Erhardt S, Fathi AR, Fandino J, Raabe A, Beck J, "Intraoperative template-molded bone flap reconstruction for patient-specific cranioplasty", *Neurosurgical review*, 35(4), 527-535, 2012.
- [6] Alaca İ, Karaaslan T, "3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİSİ İLE KRANİOPLASTİ", *Türk Nöroşirürji Derneği*, 29. Bilimsel Kongresi, SS-002, 2015.
- [7] Lethaus, B., et.al., "Cranioplasty with customized titanium and PEEK implants in a mechanical stress model", *Journal of neurotrauma*, 29(6), 1077-1083, 2012.
- [8] Herholz P, Matusik W, Alexa M, "Approximating Free-form Geometry with Height Fields for Manufacturing", *In Computer Graphics Forum*, Vol. 34, No. 2, pp. 239-251, 2015.