

# TEKNOFEST

## HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

### BİYOTEKNOLOJİ İNOVASYON YARIŞMASI

#### PROJE DETAY RAPORU

#### PROJE KATEGORİSİ

**PROJE ADI: Kemik Çimentosunun Filament Haline Getirilerek  
Kişiyeye Özel İmplantların Üç Boyutlu Yazıcılarda Üretilmesi**

**TAKIM ADI: 3D İMPLANT**

**TAKIM ID: T3-19724-155**

**DANIŞMAN ADI: Dr. Öğr. Üyesi Ömer AYDIN**

**İÇİNDEKİLER**

<b>1.Proje Özeti (ProjeTanımı).....</b>	<b>3</b>
<b>2.Problem/Sorun.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 KemikFlep.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2Titanyum İmplant.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Polimetilmekrilat (PMMA) serbest el tekniği.....</b>	<b>4</b>
<b>3.Çözüm.....</b>	<b>5</b>
<b>4.Yöntem.....</b>	<b>6</b>
<b>5.Yenilikçi (İnovatif) Yön.....</b>	<b>7</b>
<b>6.Uygulanabilirlik.....</b>	<b>8</b>
<b>7.Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması.....</b>	<b>8</b>
<b>8.Proje Fikrini Hedef Kitlesi (Kullanıcılar).....</b>	<b>10</b>
<b>9. Riskler.....</b>	<b>11</b>
<b>10.Proje Ekibi.....</b>	<b>11</b>
<b>11.Kaynakça.....</b>	<b>11</b>
<b>12. EK.....</b>	<b>13</b>

**TEKNOFEST**  
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

## 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Kraniyel rekonstrüksiyon; travma sonrasında kafatasında oluşan kırıkların veya kafatası boşluklarının tedavi edilmesinde kullanılan prosedürdür. Kraniyel rekonstrüksiyon için yüksek biyouyumlu, gerekli mekanik özellikleri taşıyan ve ekonomik bir malzeme olan kemik çimentosu (polimetilmetakrilat) sıklıkla kullanılır. Polimetilmetakrilat (PMMA) ameliyat esnasında serbest el tekniği ile uygulandığı için çoğu zaman tatmin edici kozmetik sonuçlar vermez. Toz halindeki PMMA aktive edici maddesi ile karıştırıldığında girdiği ekzotermik (ısı veren) tepkime sonucu 67 °C ye kadar ısınır. Oluşan bu ısı PMMA nın kullanıldığı bölgelerde doku ölümüne sebep olur. Bu çalışmanın amacı PMMA ın üç boyutlu yazıcıda kullanıma uygun şekilde filament haline getirilerek kişiye özel implantların ameliyat öncesinde tasarlanıp üretilmesidir. Kişiyeye özel implantların tasarlanması sürecinde hasta defektinin BT (Bilgisarlı Tomografi) görüntülerinden elde edilen veriler RadiAnt, Meshmixer gibi CAD (Bilgisayar destekli tasarım) programlarıyla işlenerek üç boyutlu implant modeli elde edilecektir. PMMA nın filament haline getirilmesinde Ekstruder makinesi kullanılacaktır. Üretilen filament üç boyutlu yazıcıya takılarak PMMA dan kişiye özel implantlar üretilmiş olacaktır. Katmanlı imalat teknolojisinde seri üretimle aynı parçaları üretmekle, kişiye özel tasarlanmış parçaları üretmek arasında maliyet açısından fark yoktur. Böylelikle üç boyutlu yazıcı teknolojisinin bize sunduğu kişiselleşme olanağı, sağlık alanında aktif bir şekilde kullanılmış olacaktır.

## 2. Problem/Sorun

Estetik; yaş ve cinsiyet fark etmeksizin insanların önem verdiği bir olgudur. Özellikle bu estetik problem, kafatası defektifi (bozukluk) gibi beyni savunmasız hale getirdiği durumlarda daha büyük sorun oluşturur. Trafik kazası, kanser gibi çeşitli travmalar sonrasında kafatasında parçalı kırıkların oluşması veya kafatasında oluşan boşluğa kranial defekt denir. Bu boşluk beyni darbelere karşı hasar almaya açık hale getirir. Bu kusurun onarılması için kullanılan yöntemlere rekonstrüksiyon denir. Kafatası rekonstrüksiyonu için kullanılan çeşitli yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

### 2.1. Kemik flep

Vücuttaki eksik olan dokunun kişinin kendi vücudundan alınan doku ile giderilmesine flep denir. Kemik flep de kişinin kendi vücudundan alınan kemik dokusunun kullanılmasıdır. Kafatası defekti (bozukluk) onarımı için ideal protez orijinal kemik fleptir ancak çeşitli nedenlerden dolayı her zaman mevcut değildir. [1] Orijinal kemik flep kullanmaya çalışılırken beyin cerrahı, ilk travmatik olay nedeniyle ( karmaşık kafatası kırıkları, ateşli silah yaralanmaları, vb.) her zaman tam flep olmamasının zorluğu ile karşı karşıyadır. Flep gerçekte mevcut olsa bile nasıl canlı tutulacağı büyük bir sorundur.

Günümüzde hala kullanılan bir yöntem kranyektomi flepinin karın yağ dokusunda depolanmasıdır. Bu yöntem kemiğin canlılığını tehlikeye sokan potansiyel enfeksiyon, ek bir cerrahi yara ve karın izi gibi sorunları beraberinde getirir.[2]

## 2.2. Titanyum implant

Estetik kaygının toplumda giderek artması ve ekzotermik reaksiyon nedeniyle implantın ameliyat öncesi tasarlanıp üretilmesi yoluna gidilmiş ve biyouyumluluk ve dayanıklılık avantajları nedeniyle titanyum tercih edilmiştir. Düşük enfeksiyon oranı, biyouyumluluk ve postoperatif(ameliyat sonrası) görüntüleme teknikleri için uygunluklarına bağlı olarak kullanılmaktadır. [3][4] Ancak titanyumun ham madde olarak kullanıldığı implantların maliyeti çok yüksektir. Titanyum implantlar ham maddesi dolayısıyla metal üç boyutlu yazıcılarda üretilmektedir. Metal üç boyutlu yazıcılara da baskı maliyetleri normal üç boyutlu yazıcılara göre oldukça yüksektir. Titanyum implantların maliyeti 2500 ile 5050 Euro arasındadır. (Ortalama 3733 Euro)[5] Titanyum implantlar sıcak ve soğuktan kolay etkilendiği için hastalardan sıklıkla ağrı şikayeti duyulmaktadır. Ayrıca titanyum implantın kullanılması durumunda hastaya radyoterapi uygulanamayacağı için olası kanser durumlarında tedavisi zorlaşacaktır. Bu sebeplerden dolayı titanyum implantlar sıklıkla tercih edilmez. Hekimler bu soruna çözüm olarak titanyuma göre çok daha ucuz olan kemik çimentosu olarak da bilinen polimetilmetakrilat (PMMA) kullanmaktadır.

## 2.3. Polimetilmetakrilat (PMMA) serbest el tekniği

PMMA 1940'lardan beri kullanılan, uygun maliyetli, en uygun mekanik özelliklere sahip ve şu anda mevcut olan en biyouyumlu alloplastik malzemelerden biridir.[6] PMMA aynı zamanda dental implantlar da kaybedilen kemiğin veya implantların yapılandırılmasında yaygın olarak kullanılan FDA onaylı bir malzemedir. Açılımı Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi olan FDA, dünya genelinde kabul gören bir kuruluştur. İyi biyouyumluluk ve düşük maliyetleri nedeniyle polimetilmetakrilat (PMMA) en sık kullanılan malzemelerdendir.[7][8] PMMA serbest el tekniği ile kullanılmaktadır. PMMA'nın serbest el tekniğinde kullanılması için ameliyat sırasında karıştırılması gerekir.

EK ŞEKİL 1 de görüldüğü gibi karıştırıldıktan 3 dakika sonra kullanıma uygun hale gelir. Kullanıma uygun hale geldikten sonra 7 dakika içerisinde şekil verme işleminin tamamlanmış olması gerekir çünkü malzeme katılaşmaya başlayacaktır. Sürenin kısıtlı olması ve işlemin ameliyat sırasında olması cerrahta strese neden olacağı için bu teknikte çoğu zaman tatmin edici kozmetik sonuçlar elde edilemez. Üstelik PMMA reaksiyonu yerinde yüksek derecede ekzotermiktir, bu nedenle sertleşirken çevresindeki kemik dokusuna zarar verir.[9]

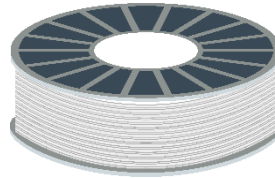
### 3. Çözüm

Problem/Sorun bölümünde belirtmiş olduğumuz sorun için getirdiğimiz çözüm önerimiz; 1970 lerden beri kullanılmakta olan PMMA nın, filament haline getirilerek katmanlı imalat teknolojisinde aktif bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır.

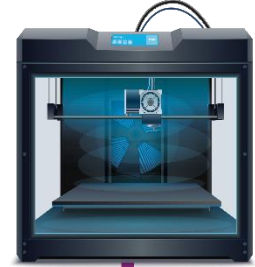
#### ÇÖZÜM ALGORİTMASI:



Toz halde ki PMMA nın satın alınması



Ekstruder makinası ile PMMA nın filament haline getirilmesi



Üretilen PMMA filament aktif bir şekilde 3B yazıcılarda kullanılabilir

PMMA nın serbest el tekniği ile kullanımı egzotermik reaksiyonun neden olduğu yüksek sıcaklık beyin dokusunda hasara neden olmakla birlikte her zaman istenilen estetik sonuca ulaşmak mümkün değildir. Grossbart ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada hastaların cerrahi işlem yaptırmak isteğinin gerisinde yer alan en yaygın motivasyonların Beden Biçimsizlik Bozukluğu (BBB), beden imgesi, benlik saygısı ve alay konusu olma gibi psikolojik ve duygusal faktörler olduğu görülmektedir.[10] Hele ki bu estetik problem beyini savunmasız hale getiriyor ya da trafik kazası, kanser gibi kötü anıları anımsatıyorsa hasta için daha büyük sorun oluşturur.

Getirdiğimiz çözüm yöntemi sayesinde estetik problemin ortadan kalmasının yanı sıra;

- Hastanın beyin dokusunun güvenliği sağlanacaktır,
- Cerrahi planlamanın daha iyi yapılması sağlanacaktır,
- Ameliyat süresi kısılacak,
- Cerrahin üzerindeki stres azalacaktır,
- PMMA kişiselleştirilmiş sağlık teknolojilerinde aktif bir şekilde kullanılmaya başlayacaktır.

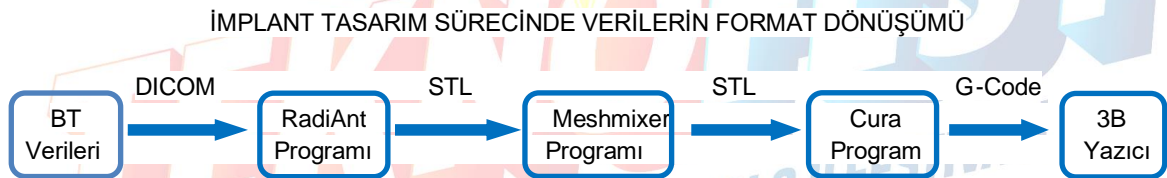
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

#### 4. Yöntem

PMMA ile üç boyutlu yazıcı tabanlı implant üretimi sürecinde öncelikle hasta defektinin BT (Bilgisayarlı Tomografi) taramalarında veri görüntüsü (DICOM formatında) elde edilir. Kişiye özel implant tasarlamak için elde edilen kesit görüntüleri RadiAnt programı kullanılarak üç boyutlu model haline getirilir ve STL(Stereolithography) formatında dışa aktarılır. [6] Bu işlemler için RadiAnt programının tercih edilmesinin sebebi tıbbi görüntü bilişimi, görüntü işleme ve üç boyutlu görselleştirme için açık kaynak kodlu, ücretsiz bir yazılım olmasıdır. EK ŞEKİL 2 de RadiAnt programı ile STL formatına dönüştürülmüş kafatası modeli görülmektedir.

Sonrasında defektin rekonstrüksiyonu için implant tasarımı Meshmixer programı kullanılarak yapılır. Tasarım aşamasında ücretsiz, anlaşılır ve kullanımı kolay olduğu için Meshmixer programı tercih edilir. Ayrıca, Meshmixer programı yakın tarihli bir yazılım güncellemesinde, kişiye özel protez ve ortez cihazlarının oluşturulmasını destekleyici özellikler de içerir. ( Meshmixer, 2016 ). [11] Meshmixer programı ile STL dosyaları üzerinde değişiklik yapılabilir, boyutlandırılabilir, modelin şekli düzenlenebilir. Yani eğer baskı alacağımız nesnenin yüzeyi karmaşık bir yapıdan oluşuyorsa Meshmixer programı sayesinde yüzey pürüzsüz hale getirilebilir. Bunun yanında kafatası defektinin etrafındaki dokuya müdahaleyi önlemek için oluşturulan implant ile kranyal kemik konturu arasına 0.8 ile 1 mm arasında bir iç denge oturtmak gerekir. [6] EK ŞEKİL 3 de Meshmixer programı ile kişiye özel implant tasarım sürecinden bir görüntü görülmektedir.

Kişiye özel tasarlanan implant üç boyutlu baskısını alabilmek için STL formatından G-Code formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. İmplant model Cura programı ile dilimlenmiş dosya formatına (G-Code formatına) dönüştürülerek yazıcıya aktarılır. Cura programı ile model baskıya verilmeden önce kolayca boyutlandırılabilir, yönü değiştirilebilir, et kalınlığı ve doluluk oranı ayarlanabilir. Baskıya başlamadan önce baskının ön izlemesi yapılabilir. Ayrıca Cura programı ile ne kadar sürede basılacağı ve ne kadar ham madde harcanacağını öğrenebiliriz.



Ekstruder makinesi ile PMMA dan filament üretilecektir. Toz veya granül halindeki PMMA nın erimesi için ekstruder makinesinin sıcaklığı 200 °C olarak belirlenecek olup soğutma kanal sıcaklığı 100 °C ye ayarlanacaktır. Ekstruder makinesi makaralarının çıkışında bulunan sensör vasıtasıyla soğutma kanalı ve ardından makaralardan geçen PMMA filament, üç boyutlu yazıcıda kullanılmak üzere düzenli bir şekilde makaraya sarılacaktır. Ekstruder makinesi kullanılarak 1.75 mm çapında PMMA filament üretimi sağlanmış olur.

Üretilen PMMA filamentler üç boyutlu yazıcıya takılır. Filamentin düzgün bir şekilde yayılabilmesi için de nozzle olarak adlandırılan uç bölgesinden çıkarken yüksek sıcaklıkta erimesi gerekir. Bu yüzden baskı işlemine başlamadan önce yazıcının nozzle kısmının PMMA nın erime sıcaklığı olan 200 °C gelmesi sağlanır. Üç boyutlu baskı işlemi eriyen filamentin katman katman ve üst üste tablaya serilmesiyle gerçekleşir. Nozzle noktasından eriyerek çıkan filament yüzeyde yayılır yayılmaz donar ve katı formuna geçer. Tüm katmanlar tamamlandıktan sonra implant tamamen katı formda hazır hale gelir. EK ŞEKİL 4 de 3 boyutlu yazıcıda basılmış kafatası örneği görülmektedir.

## 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

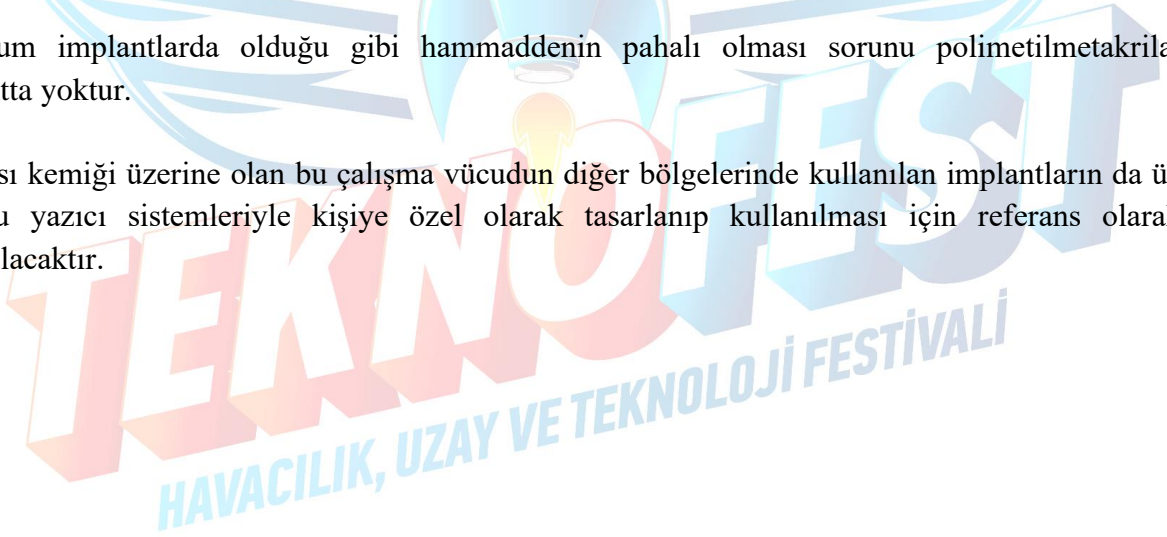
3B yazıcılar, lazer ya da mürekkep püskürtmeli bir yazıcı mantığıyla çalışan ve “katmanlı üretim” (additive manufacturing) olarak tanımlanan katman temelli bir yapıda, ürünleri dijital ortamdan üç boyutlu katı bir nesneye dönüştüren yeniçağın üretim araçlarıdır.[12] Günlük kullanıma yönelik basit ürünler ya da geleneksel bir fabrikada üretilmesi oldukça zahmetli olan karmaşık yapıdaki herhangi bir ürün dijital ortamda tasarlanmakta ve dünyanın herhangi bir yerinde 3B yazıcılar sayesinde kolaylıkla üretilebilmektedir.[13]

3B baskının tıbbi uygulamaları hızla gelişmektedir. Özellikle tıbbi veya sağlıkla ilgili amaçlar için kullanıldığında, 3B baskı teknolojileri dijital sağlık teknolojilerine katkıda bulunan en yeni cihazlardan biri olarak görülebilir.[14] Organik olmayan malzemeler kişiselleştirilmiş 3B baskılı protezler ve üretimi ucuz olan implantlar üretmek için kullanılmıştır. Hastalarda protez uzuvlar, dental kronlar, kraniyal, kemik, eklem ve kalp kapak implantları başarıyla kullanılmaktadır. [15]

Kemik çimentosunun filament haline getirilerek kişiye özel implantların oluşturulması 3B yazıcısının sağlık alanında kişiselleştirilmiş medikal cihaz uygulama olasılığını ortaya koymaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile kolaylıkla kişiye özel implant üretilebilecektir. Hastayı implanta uydurmak yerine implantlar hastaya uygun olacaktır. Üstelik üç boyutlu yazıcı teknolojisinde seri üretimle aynı parçayı üretmekle, birbirinden farklı parçaları üretmek açısından maliyet farkı yoktur. Kafatası defekti onarımında en sık kullanılan serbest el tekniği günümüzde gelişmekte olan 3B baskı teknolojisinin yanında ilkel kalmaktadır. Özellikle maliyet açısından serbest el tekniğinden farkı olmaması 3 boyutlu baskı teknolojisinin önemli avantajlarından biridir.

Titanyum implantlarda olduğu gibi hammaddenin pahalı olması sorunu polimetilmetakrilat implantta yoktur.

Kafatası kemiği üzerine olan bu çalışma vücudun diğer bölgelerinde kullanılan implantların da üç boyutlu yazıcı sistemleriyle kişiye özel olarak tasarlanıp kullanılması için referans olarak kullanılacaktır.



## 6. Uygulanabilirlik

Katmanlı üretim veya bir diğer ifadeyle 3B baskı, hızlı prototipleme teknolojisinin gelişmesiyle son yirmi yılda her sektör için yaygın kullanım alanına sahip olmuştur. Katmanlı üretim teknolojisi sağlık alanına; kişiye özel implant yapımı, cerrahi müdahale öncesi anatomik model çalışmaları ve doku mühendisliği gibi konularda önemli ölçüde fayda getirmiştir. Geleneksel eksiltmeli ve biçimlendirmeli üretim yöntemlerinden farklı olarak, sunmuş olduğu tasarım özgürlüğü açısından 3B baskının, sağlık alanında önümüzdeki yüzyılda çığır açan yenilikler getirmesi beklenmektedir. [16] 3B yazıcılarının sağlık alanındaki uygulamaları arasında canlı hücreler ile organ ya da doku oluşturulması, biyo-uyumlu metallere ya da materyallerden implant geliştirilmesi gibi örnekler 3B yazıcının bu alandaki kullanımına verilebilecek en popüler örnekleri arasında gösterilebilir.[17][18]

Ayrıca Amerikan Plastik Cerrahlar Cemiyeti göre, 2008 yılında ABD’de, toplam 12.093.621 estetik cerrahi, 4.949.191 rekonstrüktif cerrahi işlemi yapılmıştır. 2000 yılı verileri ile karşılaştırıldığında estetik cerrahi işlemlerinde, % 63 oranında artış olduğu saptanmıştır. [19] ABD’de 2006 yılında estetik cerrahi için 13.2 milyar dolar harcadığını ifade etmektedirler. [20] [21] Türkiye, en çok estetik operasyon yapılan ülkeler arasında 50 bin operasyonla 9. sırada yer almaktadır. [22] Uluslararası Estetik Plastik Cerrahlar Birliği'nin yayınladığı bir rapora göre 2011-2016 yılları arasında Türkiye’de yapılan estetik operasyon sayısı %200 artmış. 2011 yılında 266 bin 146 olan operasyon sayısı 2016’da 789 bin 564’e ulaşmış (Rakama toksin, botoks gibi cerrahi olmayan operasyonlar da dahil). Estetik cerrahi sektörünün Türkiye’de 2 milyar doları aşan bir büyüklüğü olduğu ifade ediliyor. [23]

Estetik uygulamalarına artan bu talep kişiselleştirilmiş implant teknolojisinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Halen gelişmekte olan 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kişiye özel tasarlanmış implantların temelini oluşturmaktadır. Bu durum projemizin ticari bir ürüne dönüştürülebilir olduğunu göstermektedir.

## 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Prototip oluşturma sürecinde öncelikle PMMA dan filament elde edilecektir. ORMEDGROUP firmasından satın alınacak olan PMMA proje kapsamında hizmet alımı olarak kullanılacak olan WELİZOOM marka 3B filament ekstruder makinesi ile PMMA 3 boyutlu yazıcılarda kullanılmak üzere filament elde edilecektir.

Elde edilen filamentin malzeme ve dayanıklılık testleri yapılacaktır. Yapılacak olan testler; Sonlu elemanlar analizi testi, çekme testi, basma testi, ani darbe testi ve yorulma testidir. Sonlu elemanlar analizi testi sayesinde implantın 3 boyutlu yazıcılarda basılmasından önce mekanik davranışı öngörülebilecektir. Çekme testi, basma testi, ani darbe testi ve yorulma testleri sayesinde malzemenin dayanabileceği maksimum kuvvet belirlenebilecektir.





**TABLO 2: TAHMİNİ MALİYET TABLOSU**

NO	ÜRÜN	ADET	FİYAT (TL)
1	3B filament ekstruder makinesi	1	3590 TL
2	3B yazıcı	1	2000 TL
3	PMMA (kemik çimentosu)	5 (40 gr lık)	1000 TL
4	Fliment (PLA)	4 (1 kg lık)	400 TL
5	Hizmet Alımı		1000 TL
			<b>11590 TL TOPLAM</b>

**TABLO 3: KARŞILAŞTIRMA TABLOSU**

	TİTANYUM implant	PMMA nın serbest el tekniği ile kullanımı	3D İMPLANT
<b>MALİYET</b>	<b>15.000-37.000 TL</b>	<b>150-300 TL</b>	<b>1.000-1.500 TL</b>
<b>BİYOUYUMLU</b>	✓	✓	✓
<b>EKZOTERMİK REAKSİYON VERMİYOR</b>	✓	✗	✓
<b>KİŞİYE ÖZEL TASARIM</b>	✓	✗	✓
<b>SICAK/SOĞUK ETKİLENMEZ</b>	✗	✓	✓
<b>RADYOTERAPİ ALABİLİR</b>	✗	✓	✓
<b>ESTETİK SONUÇ İYİ</b>	✓	✗	✓
<b>AMELİYAT SÜRESİ HIZLI</b>	✓	✗	✓

### 8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)

Polimetilmetakrilat ile yapılacak olan kişiselleştirilmiş kafatası implantının kullanıcıları; doğuştan kafatası anomalisi olanlar, kafatası travması geçirenler ve kafatası basıncı artması nedeniyle dekompresif cerrahi olanlardır. Her ne kadar kullanıcı hastalar olsa da implantı hastaya uygulayacak kişiler beyin cerrahları ve estetik, plastik ve rekonstrüktif cerrahları olduğu için mevcut kullanılan yöntemlerin sıkıntılarının çoğunu onlar çekmektedir. Cerrahlar implantın ameliyat öncesi yapılması sonucu ameliyat süresinin kısalması ve implantın kişiselleştirilmiş olması nedeniyle ameliyat sonrası yaşanan problemlerin azalması gibi avantajları yaşayacaklardır.

## 9. Riskler

En Büyük Riskler	Risk Yönetimi (B Planı)
Polimetilmetakrilat filament ile üretilen implantın mukavemet açısından yetersiz olması	Üç boyutlu yazıcının parametreleri değiştirilerek mukavemetin sağlanmaya çalışılması
Tasarlanacak olan implantın kompleks olması nedeni ile tasarım zorluğu	Başlangıç olarak daha basit olgulardan başlayıp birikimli öğrenme ile kompleks tasarımların da yapılması

## 10. Proje Ekibi

### Takım Lideri: Fatma BAL

Adı Soyadı	Projedeki Görevi	Okul	Projeyle veya problemle ilgili tecrübesi
<b>FATMA BAL</b>	İmplantın tasarlanması İmplantın üretilmesi	Erciyes Üniversitesi Biyomedikal Müh.	TÜBİTAK 2209-B proje desteği
<b>HÜMEYRA PINAR</b>	İmplantın tasarlanması İmplantın üretilmesi	Erciyes Üniversitesi Biyomedikal Müh.	TÜBİTAK 2209-B proje desteği

## 11. Kaynaklar

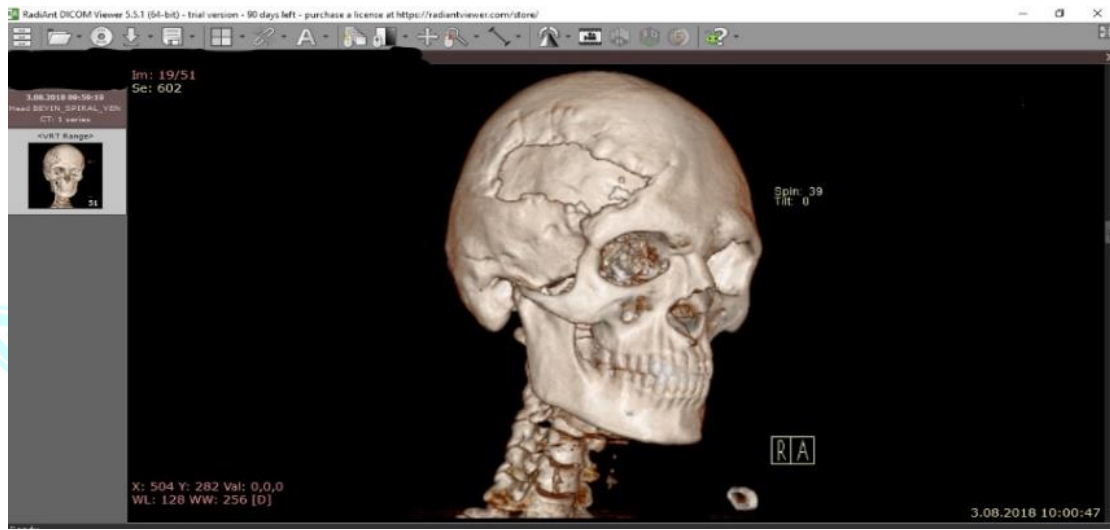
- [1] M. A. Stoodley, J. R. Abbott, and D. A. Simpson, "Titanium cranioplasty using 3-D computer modelling of skull defects," *J. Clin. Neurosci.*, vol. 3, no. 2, pp. 149–155, 1996, doi: 10.1016/S0967-5868(96)90009-0.
- [2] E. Caro-Osorio, R. De la Garza-Ramos, S. Martínez-Sánchez, and F. Olazarán-Salinas, "Cranioplasty with polymethylmethacrylate prostheses fabricated by hand using original bone flaps: Technical note and surgical outcomes," *Surg. Neurol. Int.*, vol. 4, no. 1, p. 136, 2013, doi: 10.4103/2152-7806.119535.
- [3] J. Joffe, M. Harris, F. Kahugu, S. Nicoll, A. Linney, and R. Richards, "A prospective study of computer-aided design and manufacture of titanium plate for cranioplasty and its clinical outcome," *Br. J. Neurosurg.*, vol. 13, no. 6, pp. 576–580, 1999, doi: 10.1080/02688699943088.
- [4] T. Kamyszek, S. Weihe, M. Scholz, M. Wehmöller, and H. Eufinger, "Management of craniofacial bone defects with individually prefabricated titanium implants. Follow-up and evaluation of 78 patients with 78 titanium implants 1994-1998," *Mund. Kiefer. Gesichtschir.*, vol. 5, no. 4, pp. 233–238, 2001, doi: 10.1007/s100060100317.
- [5] M. Cabraja, M. Klein, and T. N. Lehmann, "Long-term results following titanium cranioplasty of large skull defects," *Neurosurg. Focus*, vol. 26, no. 6, pp. 1–7, 2009, doi: 10.3171/2009.3.FOCUS091.
- [6] F. R. Loayza, J. Sola-Mora, L. Castro-Valladares, J. Litardo, L. Nunez-Idrovo, and H. Mora, "Pre-operative patient-specific alloplastic implant design and manufacturing: Cranioplasty application," *2018 IEEE 3rd Ecuador Tech. Chapters Meet. ETCM 2018*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/ETCM.2018.8580310.
- [7] D. Marchac and A. Greensmith, "Long-term experience with methylmethacrylate cranioplasty in craniofacial surgery," *J. Plast. Reconstr. Aesthetic Surg.*, vol. 61, no. 7, pp.

- 744–752, 2008, doi: 10.1016/j.bjps.2007.10.055.
- [8] A. Moreira-Gonzalez, I. T. Jackson, T. Miyawaki, K. Barakat, and V. DiNick, “Clinical Outcome in Cranioplasty: Critical Review in Long-Term Follow-Up,” *J. Craniofac. Surg.*, vol. 14, no. 2, pp. 144–153, 2003, doi: 10.1097/00001665-200303000-00003.
- [9] A. Ricker, P. Liu-Snyder, and T. J. Webster, “The influence of nano MgO and BaSO<sub>4</sub> particle size additives on properties of PMMA bone cement,” *Int. J. Nanomedicine*, vol. 3, no. 1, pp. 125–132, 2008, doi: 10.2147/ijn.s2322.
- [10] T. A. Grossbart and D. B. Sarwer, “Psychosocial issues and their relevance to the cosmetic surgery patient,” *Semin. Cutan. Med. Surg.*, vol. 22, no. 2, p. 136–147, 2003, doi: 10.1053/sder.2003.50013.
- [11] M. Fernandez-Vicente, A. E. Chust, and A. Conejero, “Low cost digital fabrication approach for thumb orthoses,” *Rapid Prototyp. J.*, vol. 23, no. 6, pp. 1020–1031, 2017, doi: 10.1108/RPJ-12-2015-0187.
- [12] B. Berman, F. G. Zarb, and W. Hall, “3-D printing: The new industrial revolution,” *Bus. Horiz.*, vol. 55, no. 2, pp. 155–162, 2012, doi: 10.1016/j.bushor.2011.11.003.
- [13] K. Taskin, “ICEB 2015 Uluslararası Vizyon Üniversitesi , Gostivar , Makedonya,” no. June, 2015.
- [14] D. Lupton, “Critical Perspectives on Digital Health Technologies,” vol. 12, no. 2014, pp. 1344–1359, 2015.
- [15] D. Lupton, “Fabricated data bodies : Re fl ections on 3D printed digital body objects in medical and health domains,” vol. 13, pp. 99–115, doi: 10.1057/sth.2015.3.
- [16] A. Kelimeler, “BİYOMEDİKAL UYGULAMALARDA 4B BASKI İŞLEMİ: ŞEKİL HAFIZALI MALZEMELERİN KATMANLI İMALAT YÖNTEMİYLE 4D PRINTING FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS: ADDITIVE MANUFACTURING OF SHAPE MEMORY MATERIALS,” vol. 1, pp. 86–93, 2019.
- [17] M. Ashraf, I. Gibson, M. G. Rashed, and M. G. Rashed, “Challenges and Prospects of 3D Printing in Structural Engineering,” *13th Int. Conf. Steel, Sp. Compos. Struct.*, vol. 13, no. November 2017, pp. 1–9, 2018.
- [18] C. Schubert, M. C. Van Langeveld, and L. A. Donoso, “Innovations in 3D printing: A 3D overview from optics to organs,” *Br. J. Ophthalmol.*, vol. 98, no. 2, pp. 159–161, 2014, doi: 10.1136/bjophthalmol-2013-304446.
- [19] A. Society, “of Plastic Surgery Statistics,” 2009.
- [20] P. Güner Küçükkaya, “Estetik Cerrahinin Psikososyal Etkileri ve Hemşirelik Girişimi,” *Hemşirelikte Araştırma Geliştirme Derg.*, vol. 13, no. 3, pp. 71–77, 2011.
- [21] P. Statistics, “American Society of Plastic Surgeons. 2018 Plastic Surgery Statistics Report. Available at: <https://www.plasticsurgery.org/documents/News/Statistics/2018/plastic-surgery-statistics-full-report-2018.pdf>. Accessed Sept 27, 2019.,” *Plast. Surg.*, p. 25, 2017.
- [22] G. D. Türk, A. M. Üniversitesi, and İ. Fakültesi, “Sosyal Medya ve Toplumda Değişen Estetik İşlem Yaptırma Algısı Social Media and Perception of Changing Aesthetic Operation in Society,” 2020, doi: 10.5824/1309.
- [23] M. Gültekin, “Son Ütopya : Posthümanizm,” pp. 1–5, 2020.

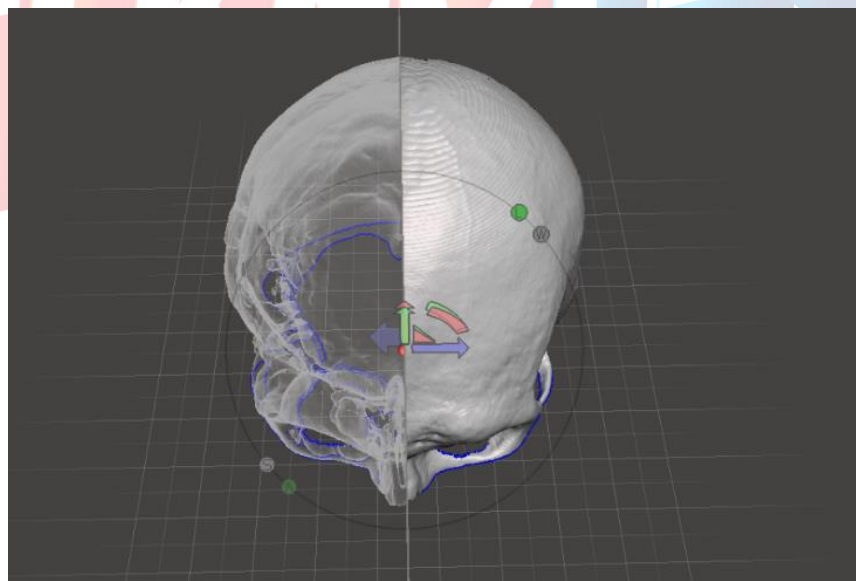
## 12. EK



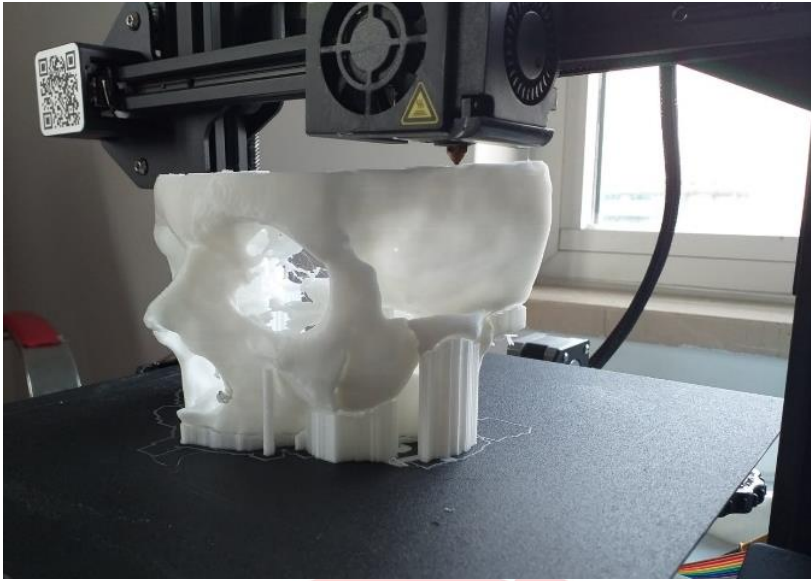
**ŞEKİL 1**  
**PMMA'nın İŞLENME SÜRESİ GRAFİĞİ**



**ŞEKİL 2**  
**STL FORMATINA ÇEVİRİLMİŞ KAFATASI GÖRÜNTÜSÜ**



**ŞEKİL 3**  
**MESMİXER PROGRAMINDAN KİŞİYE ÖZEL TASARIM SÜRECİNDEN BİR GÖRÜNTÜ**



**ŞEKİL 4**  
**3 BOYUTLU YAZICIDA BASILAN KAFATASI MODELİMİZ**

