



ULUBORLU MESLEKİ BİLİMLER DERGİSİ (UMBD)

Uluborlu Journal of Vocational Sciences

<http://dergipark.gov.tr/umbd>

ERGİYİK BİRİKTİRME YÖNTEMİYLE HAFİFLETİLMİŞ KİŞİYE ÖZEL KAFATASI İMPLANTIN HIZLI PROTOTİPLENMESİ

Koray ÖZSOY^{1*}, M. Cengiz KAYACAN²

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Senirkent Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölüm, Isparta, Türkiye.

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye.

Sorumlu Yazar: korayozsoy@isparta.edu.tr

(Geliş/Received: 10.11.2018; Düzeltme/Revised: 14.11.2018; Kabul/Accepted: 14.11.2018)

ÖZET: İnsanların vücudunda meydana gelen hasarlardan dolayı görevini yitiren doku veya organların ihtiyaçlarını karşılamak, amaliyat sürecinde zarar gören kemik yerine gerçeğe yakın bu doku veya organın benzerleri imal edilerek çare aranmaktadır. İmplant; insan vücudu içerisine yerleştirilen, bir doku veya organın işlevini yerine getiren yapay cisimlere denir. Doğuştan gelen hastalıklar, kanser, travma, kaza v.b. sebeplerle hastalarda meydana gelen kemik yapısı bozukluklarını tedavi etmek ve implant ile kemiği sabitlemek (fiksasyon) için bu bölgelere implant takılmaktadır. Genel olarak implantlar geleneksel imalat yöntemleri ile standart şekil ve boyutlarda imal edilmekle beraber yeni teknolojiler sayesinde artık kişiye özel olarak imal edilip hastalara uygulanabilmektedir.

Bu çalışmada; hasar görmüş kafatasının bilgisayarlı tomografi (BT) verilerinin modellenmesi ve amaçlara uygun özellikleri sağlayacak kişiye özel hafifletilmiş implant tasarımı yapılmıştır. Toz sinterleme, sıvı kürleştirme, katı ergiyik biriktirme gibi birçok çeşidi olan eklemeli imalat türleri arasında en yaygın kullanıma sahip olan Ergiyik Biriktirme Modelleme (EBM) yöntemi ile kişiye özel hafifletilmiş kafatası implantın prototipi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, Ergiyik Biriktirme Modelleme, Kişiyeye Özel, Hafifletilmiş.

RAPID PROTOTYPING LIGHTWEIGHT CUSTOM-MADE SKULL IMPLANT BY FUSED DEPOSITION MODELLING

ABSTRACT: In order to meet the needs of tissues or organs that have lost their function due to the damage caused by the injuries in the body, find a way to manufacture similar tissues or organs instead of the damaged bone in the surgical process. Implants are artificial objects which are placed into the body and have the function of an organ and tissue. Implant is placed on these areas to cure the defects of bone structure that stem from illnesses from birth, cancer, trauma, accidents etc. Implants are generally manufactured in the standard shapes and sizes with the traditional manufacturing methods, but they can now be the customized manufactured and applied to patients with the new technologies.

In this study, it was carried out the modeling of the computed tomography (CT) data of the damaged skull and the customized lightweight implant design to provide the proper features for the purpose. Fused Deposition Modelling (FDM) was performed customized lightweight implant which has the most widespread use of additive manufacturing method among such types powder sintering, vat photopolymerization, fused deposition

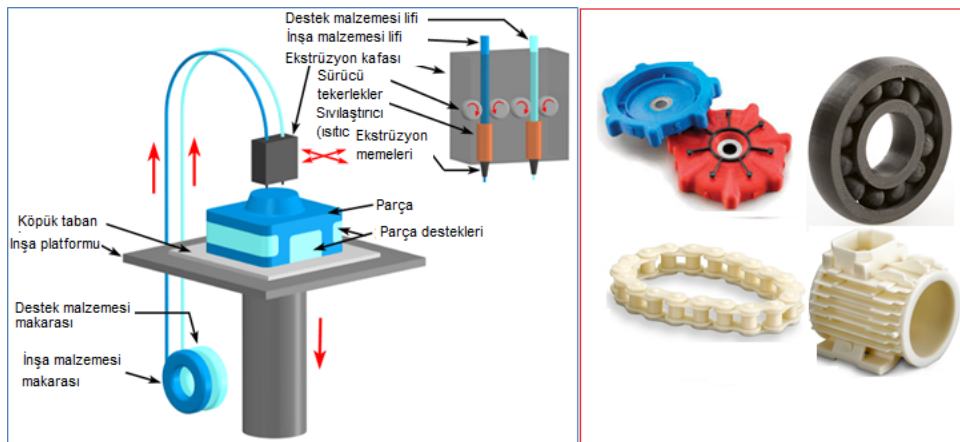
Keywords: Additive Manufacturing, Fused Deposition Modelling, Customized, Lightweight.

1. GİRİŞ

Günümüzde insanoğlu için doğa ve içinde bulundurduğu yapılar en büyük kaynaklar olmuştur. Ancak insanoğlunun ihtiyaçları arttıkça bu kaynaklar yetersiz olmuş, bu yüzden insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılayabilmek için üretim ve imalata yönelmiştir. Her geçen gün artan ihtiyaçlar karmaşık bir yapıya bürünmüş ve geleneksel olarak tabir edilmekte olan imalat yöntemleri bu karmaşıklık karşısında çözümler üretmekte zorlanmıştır. Bu problemin çözümünde geleneksel imalat yöntemlerinin aksine, gelişen teknolojiye paralel olarak ortaya çıkan geleneksel olmayan imalat yöntemleri olarak adlandırılan teknikler kullanılmaktadır [1-5].

Eklemeli imalat bu çözüm arayışı sonucunda ortaya çıkan bir yöntemdir. Eklemeli imalat, modern (alışılmamış) imalat yöntemlerinden birisidir. Yöntemin temeli, birbiri üzerine kat kat malzeme eklemeye dayanmaktadır. Bu yöntemdeki amaç; geometrik karışıklığı sebebiyle geleneksel imalat yöntemleri ile imalatı mümkün olmayan parçaları imal ederek, imal edilebilirlik kısıdını ortadan kaldırmaktır. Son zamanlardaki literatür kaynaklarında da bu konu ile ilgili çalışmalara önem verildiği görülmektedir[6-8]. Eklemeli imalat yöntemleri, kullanılan ham malzeme ve katmanları birleştirme prensibine göre kendi içerisinde farklılıklar göstermekle beraber temel imalat teknikleri aynıdır. Bu konuda farklı imalat teknolojisi kullanarak imalat yapan birçok eklemeli imalat yöntemi bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak; Üç Boyutlu Yazıcı (3BY), Eriyik Biriktirme Modelleme (EBM), Lazer Işığı ile Kürleme (LIK), Kat-kat Nesne İmalat (KNİ), Seçici Lazer Sinterleme (SLS)/Seçici Lazer Ergitme (SLE) verilebilir.

Eriyik biriktirme modelleme sistemi Scott Crump tarafından keşfedilmiştir. 1988 'de ortaya çıkan yılında bu tekniğin esas ismi "Fused Deposition Modeling (FDM)'dir. Lif halinde termoplastik malzemeler eritilerek oluşturulan tabakanın aniden soğutulup bir önceki tabakaya ile yapıştırılması esasına dayanan bir sistemdir[9]. Bir ruloya sarılmış plastik lif halindeki tabaka malzemesi, ısıtılmış EBM kafasına doğru beslenmektedir. Ekstrüzyon nozulları, Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) dosyasından edindiği parça ile ilgili bilgilere göre tabakaları üst üste oluşturmaya başlar. İşlem parça bitinceye kadar devam eder. Bu teknolojiye ABS (acrylonitrile butadiene styrene) ve PC (polycarbonate) malzemeler kullanılarak prototip inşa edilmektedir. Eriyik biriktirme modelleme ile üretilen parçaların fiziksel ve kimyasal özellikleri ürünlerde kullanılan malzemelerle aynıdır [10]. Şekil 1'de EBM sisteminin şematigi verilmiştir.

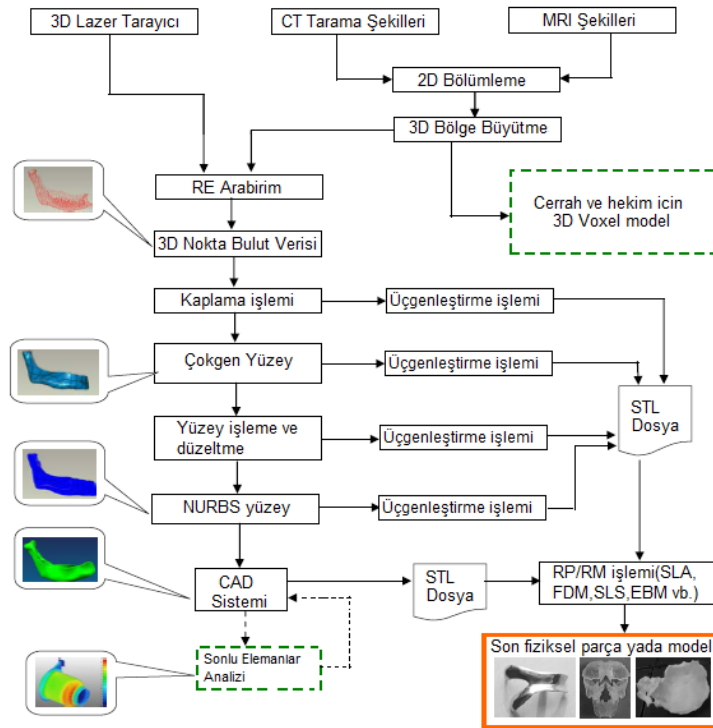


Şekil 1. EBM sistem şematigi ve imal edilmiş parçalar [11-14].

EBM ile el ile sökülebilen (BASS) ve su ile çözülebilen (WaterWorks) iki ayrı destek yapısı sunmaktadır. WaterWorks, su-kimyasal karışımında çözülebilen bir malzeme kullanır. Böylece diğer teknolojiler için gerekli olan manuel işlemlere gerek kalmaz ve destek yapılarının parçanın ulaşılması zor, gizli yerlerinde oluşması bir problem teşkil etmez. Prototip, önemli detayları kaybolmadan, pürüzsüz ve temiz bir şekilde elde edilir. Ayrıca WaterWorks destek yapıları sayesinde, çok parçalı bir montaj parçasının tek bir üretimde, tek parça olarak üretilmesi mümkündür. EBM teknolojisi havacılık, otomotiv, dayanıklı tüketim malları, elektronik, oyuncak gibi çeşitli sektörlerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şimdilerde ise medikal modelleme, biyomedikal araştırmalar, plastik cerrahi, ortodonti ve mimari modellerde de bu teknoloji kullanılmaya başlanmıştır.

Biyomedikal araştırmalarda kişiye özel hafifletilmiş implantın tasarımı sırasıyla cerrahi tetkikin yapılması, hastanın bilgisayarlı tomografisi ile elde edilen verilerin programa aktarımı ve yapılacak kişiye özel implantın tasarımı bilgisayar analizlerinin yapılması, implant modelinin imalatı ve mekanik testlerinin yapılması olarak gerçekleşmektedir. Medikal implant ve biyolojik model üç ana karakteristiğe sahiptir. Bunlar; düşük hacim, karmaşık şekil ve kişiseldir. Bu karakteristik özellikler eklemeli imalat yöntemlerinden biridir. Üretim işleminde genel olarak kullanılan biyoyumlu malzemeler Titanyum ve Titanyum alaşımları, Zirkonyum, Co-Cr, PEEK vb.'dir.

Eklemeli imalat teknolojileri Tersine Mühendislik (TM) teknolojisi ile yüksek derecede ilişkilidir. TM teknolojisi tanımlanmış olan modelin şeklini kullanabilir. TM teknolojisi medikal uygulamalarda hastanın kişiye özel kemik modelinin oluşturulmasında çok önemli rol oynamaktadır. BT taramaları, MRI ve 3D lazer tarayıcılar modelin dijital şeklinin yakalanmasında çoğunlukla yaygın olarak TM teknolojisi kullanılmaktadır. Şekil 2' de medikal uygulamalarda model inşasından model üretimine kadar olan adımlar gösterilmiştir.



Şekil 2. Herhangi bir implantın tasarımdan imalata işlem basamakları [15].

Günümüzde hızlı ilerleyen teknolojiyle birlikte insanoğlunun da ihtiyaçları artmaktadır. İnsanların vücudunda meydana gelen hasarlardan dolayı görevini yitiren doku veya organların ihtiyaçlarını karşılamak üzere, gerçeğe yakın bir oranda bu doku veya organın benzerleri imal edilerek çare aranmaktadır. Kişiyeye özel implant üretimin hastanın tanısında ilerleme hızı ve iyi bir cerrahi operasyon planlanması, ölçüm doğruluğu, hastanın anatomisine uygun implant üretimi, azalan cerrahi ameliyat süresi, hastayı memnun edici estetik sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle gerek sağlık sektörü ve mühendislik uygulamaları ve imalat süreçleri gerekse endüstriyel tasarım ve ürün geliştirme faaliyetleri hızlı, hassas ve kullanıcı dostu ölçme sistemlerine ve uygulamalara ihtiyaç duymaktadır. Özellikle sayısal görüntüleme teknikleri sayesinde insanın kemik yapısına ait nokta verilerinin tek tek toplanması ile imalat toleranslarını doğrulayarak, tasarım yapılması yeniden imal edilecek parçalar için geometri belirleme ve deformasyon problemleri görüntüleme gibi pek çok tersine mühendislik ve muayene işlemleri mümkün olmaktadır.

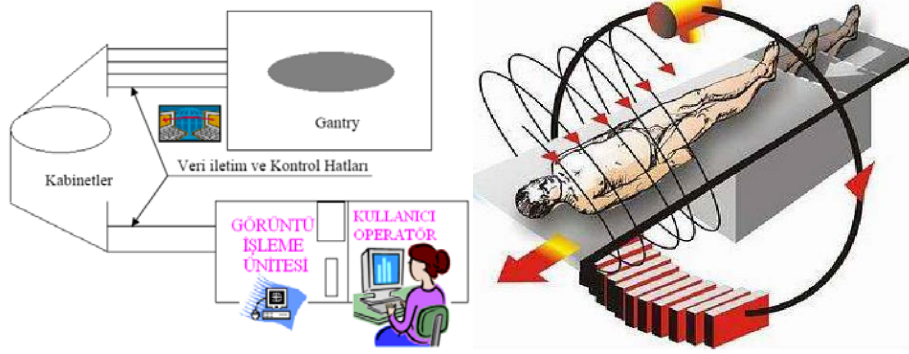
Bu çalışmada; hasar görmüş kafatasının bilgisayarlı tomografi verilerinin modellenmesi ve amaçlara uygun özellikleri sağlayacak kişiyeye özel hafifletilmiş implant tasarımı yapılmıştır. Toz sinterleme, sıvı kürleştirme, katı ergiyik biriktirme gibi birçok çeşidi olan eklemeli imalat türleri arasında en yaygın kullanıma sahip olan Ergiyik Biriktirme Modelleme yöntemi ile kişiyeye özel hafifletilmiş kafatası implantın prototiplenmesi gerçekleştirilmiştir.

2. BİYOMEDİKAL GÖRÜNTÜLERİN ELDE EDİLMESİ VE ÜÇ BOYUTLU BİYOMEKANİK MODELİN TASARIMI

Biyomedikal alanda kullanılan görüntülerin elde edilmesi yöntemi kullanılan cihazlara göre farklılık göstermektedir. Bu farklılıktan dolayı elde edilen görüntüler de değişmektedir. Çünkü tüm görüntüleme cihazları aynı hedef doğrultusunda görüntüleme yapmaz. Mimics yazılımı aracılığıyla biyomekanik modelin tasarımında, kemik model oluşumu için BT verilerinden, menüsküs ve çapraz ve yan bağlar gibi yumuşak dokuların oluşturulması için ise MRI verilerinden faydalanılır.

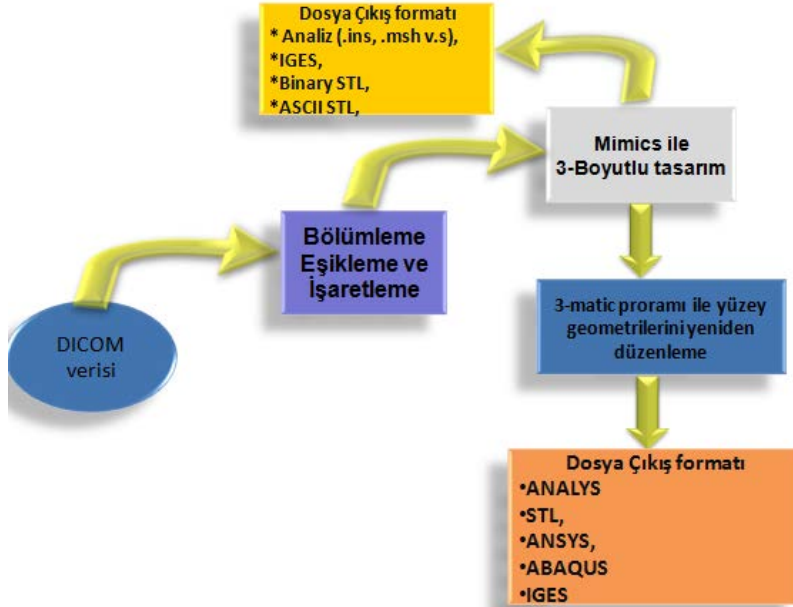
Tomografi vücuttan kesit şeklinde görüntü alma işlemini tanımlar. Kelime anlamı olarak TOMOS (kesit) ve GRAPHY (görüntü) Yunanca kelimenin birleşiminden oluşur. Bilgisayarlı tomografide kesitsel görüntü bilgisayarlar yardımı ile elde edilir. Bilgisayarların görüntü oluşturmak için gereksindiği bilgiler, BT'de X ışınları ile elde edilir. BT 1972 yılında İngiliz mühendis 'Sir' Godfrey Hounsfield tarafından icat edildi. Çalışmada aynı bölgenin çok çeşitli açılardan röntgen görüntülerini almıştır. Bu görüntüler ile kendi ürettikleri bilgisayarın kapasitesini denemek üzerine kurulmuş bir çalışma yaparken BT'yi icat etmiştir [16].

BT cihazı üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler, görüntü işleme ve kullanıcı bilgisayarı, gantry, kabinetlerdir. Şekil 3'de BT cihazı bileşenlerini ve ana üniteleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Bilgisayar Tomografi ile görüntüleme [17].

Gantri dönen bir halka olup yüksek kapasiteli bir X-ışını tüpü ve tüpün diğer tarafında bulunan bu X-ışınları algılayabilecek bir algılayıcıdan oluşmaktadır. Kabinetler, gantri sürekliliğini sağlayan elektronik ve mekanik yapıları bulundurlar. Bu durum sistemler arasında kullanılan iletişim ara yüzü olarak ifade edilebilir. Kabinetlerde gantrinin çalışması için kontrol kartları, BT cihazına elektrik sağlayan güç kaynakları ve kontrol kartları ve geri beslemeler bulunur. BT cihazın üçüncü ve son bileşeni ise görüntü işlem ve kullanıcı bilgisayarlarıdır. Bu bilgisayardan görüntüler üzerinde ayarlamalar yapılabilir, bu görüntülerin çıktıları alınabilir ya da işlemler tekrarlanabilir. Sonuçta BT verileri ile dokuların birbiri ardı sıra kesitsel görüntüleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu görüntüler cihaza bütünleşik yazılımlar sayesinde bilgisayar ekranından izlenebilir ya da bu görüntüler filme aktarılabileceği gibi gerektiğinde tekrar bilgisayar ekranına getirmek üzere optik diskte de depolanabilir. Üç boyutlu (3B) biyomekanik modelin tasarımında Şekil 4’de gösterildiği gibi işlem basamaklarını takip etmek gerekir.



Şekil 4. Üç boyutlu biyomekanik modelin oluşturulması ve işlem basamakları.

Bu çalışma Süleyman Demirel üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurul’undan 11.08.2011 tarih ve 01-03 sayılı karar onayı alınarak BT cihazından alınan DICOM formatındaki kafatası kemiği verilerinin 3B modelinin oluşturulması için, önce program içerisindeki Kemik (Bone,CT) ve HU (Hounsfield) değerinden faydalanmak suretiyle kafatası içindeki kemiğin sınır çizgileri belirlenmiştir. HU değeri program içerisinde tanımlı bir değer olup, en düşük 226, en büyük ise 3071’dir[18]. Bu bölümde kullanılacak malzeme olarak kafatası kemiğinin, belirli adımlarla

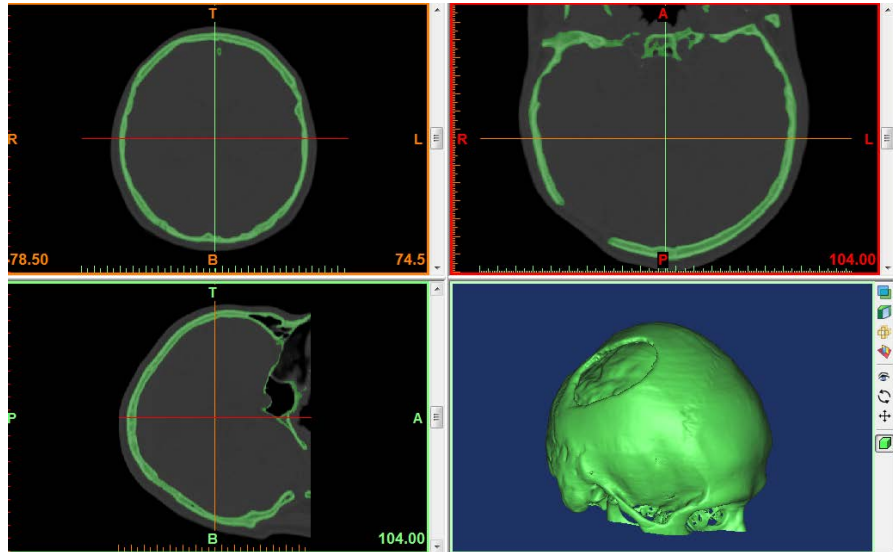
görüntüleri alınıp hassas 3D modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Materyal kafatası kemiğinin BT DICOM verisi özellikleri; 299 kesitten, Piksel büyüklüğü 0.4063, Masa Pozisyonu -153/-4, Merkez0.2/-181.30, çözünürlük 512x512, FOV 20.8, Yönelme RAX şeklindedir. BT cihazından alınan verilerin sayısı ve adım değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. BT Cihazından alınan verilerin değerleri.

	Adım (Pitch)	DICOM Veri Sayısı
Kafatası	1 mm	299

Elde edilen 2B resimler üzerinde kemik dokusunun ayırımını sağlamak için eşikleme (thresholding) işlemi uygulanmıştır. Bu işlemde resimlerdeki kemiklerin HU değerleri seçilerek diğer dokulardan ayrışması sağlanır. Farklı HU değerlerinin modellemedeki değişimler sonucunda kemik için en uygun HU değerinin 226 olduğu anlaşılmıştır. HU değerlerinin artımları sonucunda kemik dokusunun değişimi kırmızı okla gösterilmektedir. HU değerlerinin yükseltilmesi ile kemik dokusunun ortaya çıktığı ve daha fazla yükseltme işlemi ile model üzerinde yumuşak dokulara doğru gidildiği belirlenmiştir.

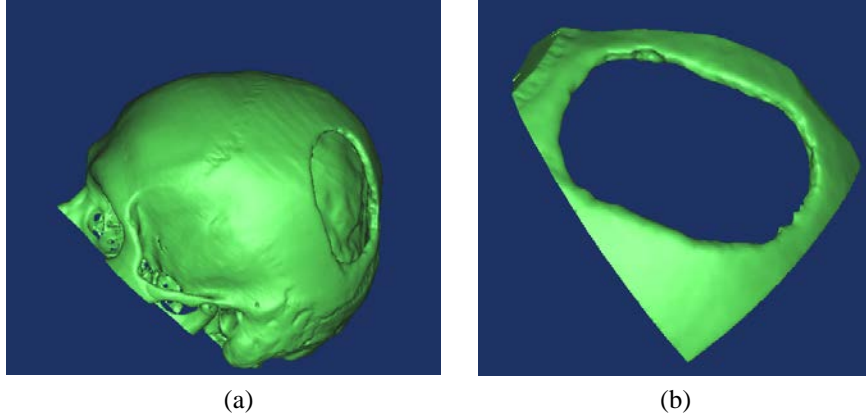
BT’de oluşturulmuş resim kayıtları taranmış insan bölgelerinin 2B kesitlerini göstermektedir. Üst üste bindirilerek oluşturulan kesit resimler uygun yazılımlar vasıtasıyla 3B model haline getirilirler. Çalışmada, Mimics® programında düzenlenerek elde edilen 3B modeller, yüzey geometrilerin yeniden düzenlenmesi için SOLIDWORKS® programına aktarılmıştır. Şekil 5’te gösterilen resimde bu işlem Mimics programında kısaca özetlenmiştir.



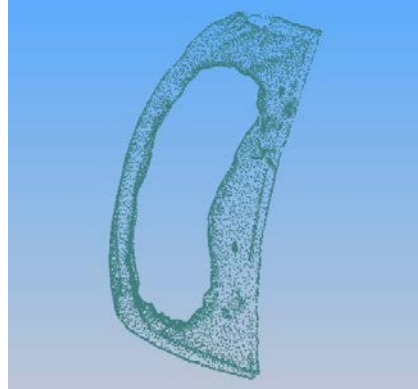
Şekil 5. Sol üst: Koronal düzlem, sol alt: Sagittal düzlem, sağ üst: Eksenel düzlem, sağ alt: 3B model.

3. HAFİFLETİLMİŞ KİŞİYE ÖZEL KAFATASI İMPLANTIN TASARIMI VE İMALATI

Çalışmada, Şekil 6’de gösterildiği gibi Mimics® paket programında düzenlenerek elde edilen 3B modeller, yüzey geometrilerin yeniden düzenlenmesi için Solidworks® programına nokta bulutu şeklinde Şekil 7’de gösterildiği gibi aktarılmıştır.

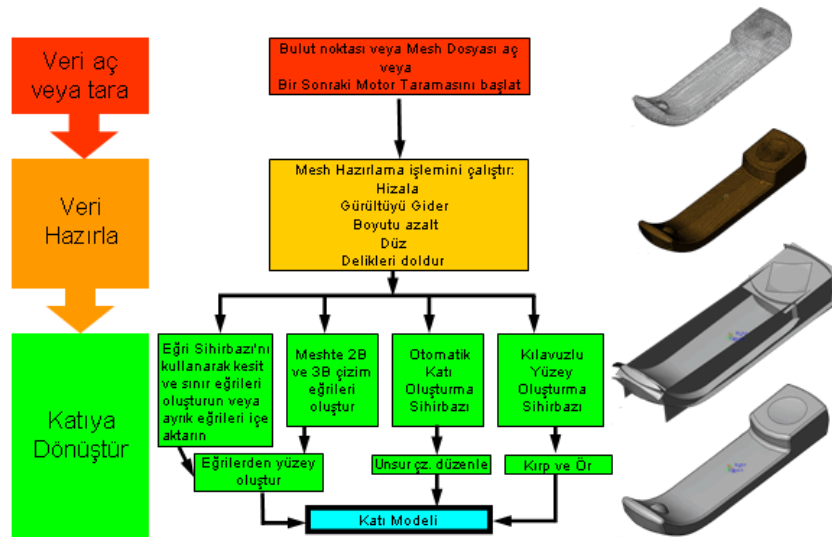


Şekil 6. (a) Mimics'deki kusurlu kafatası 3B Modeli (b) Kusurlu bölgenin kesilmiş hali.

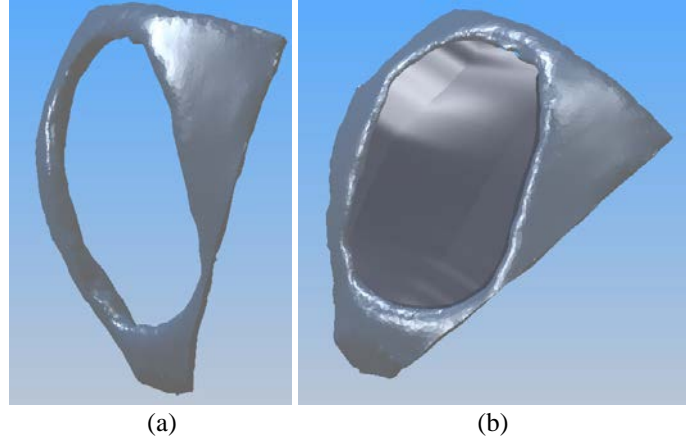


Şekil 7. Nokta bulutunun SolidWorks programı ile açılması.

Bu aşamadan sonra nokta bulutundan model elde etmek için Solidworks® ScanTo3D eklentisi ile araç çubuğu kullanılmıştır. Nokta bulutundan model elde etme işlemini bir süreç olarak düşünebilir. Şematik olarak nokta bulutundan modelin elde edilmesi süreci Şekil 8'de verilmiştir.

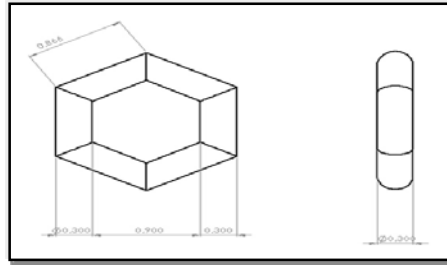


Şekil 8. Şematik olarak nokta bulutundan modelin elde edilmesi [19].



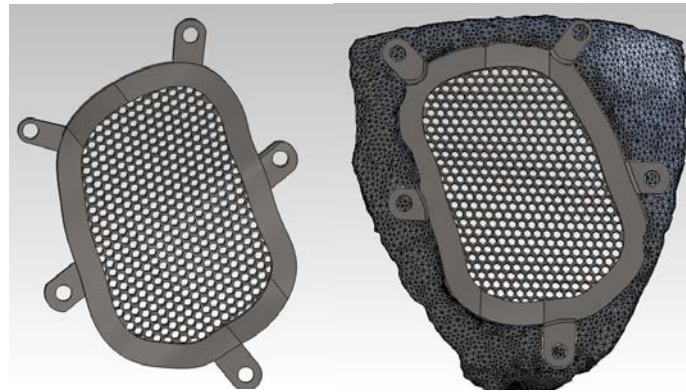
Şekil 9. (a) Nokta bulutundan kusurlu bölgenin katı modelin elde edilmesi (b) Kusurlu bölgeye uygun kişiye özel implant görünüşü.

Katı modelin hafifletme işleminde arı peteği mimarisi kullanarak hafifletme tasarımı yapılmıştır. Şekil 10’da gösterildiği gibi arı peteği mimarisinin tek altıgendeki bağların kalınlığı 300 μm , gözeneklerin boyutu 0.9 mm, z yönünde bağlar arasındaki mesafe 1.6 mm’dir. Altıgenler birbirine düz olarak bağlanmıştır.



Şekil 10. Hafifletme işlemi için altıgenin boyutsal gösterimi.

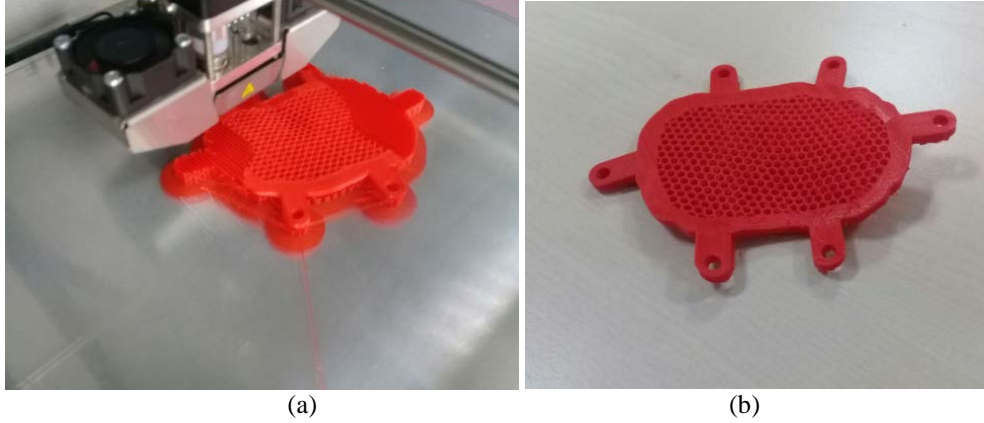
Arı peteği mimarisi kullanarak hafifletilmiş kişiye özel kafatası implantın katı model görüntüsü Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Parça üzerinde kusurlu bölgenin hafifletilmiş implant görüntüsü.

Çalışmada, EBM yönteminde parçalar için yaygın olarak kullanılan bir hammadde olan PLA (Poli Laktik Asit) malzemesi kullanılarak kişiye özel hafifletilmiş implantın prototiplemesi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan PLA filamentleri Ultimaker® markasına ait 2,85 mm çapa sahip, baskı sıcaklığı 195-240°C aralığında olan filamenttir. EBM ile imal edilen implant prototip

görüntüsü Şekil 12’de verilmiştir. Ayrıca kafatası implant prototipleri için işleme parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 12. EBM ile kişiye özel hafifletilmiş implant prototip görüntüsü (a,b).

Tablo 2. EBM ile kafatası implant prototip imalatı için işleme parametreleri.

Parametre Adı	Parametrenin Değeri
Katman Kalınlığı (mm)	0,06
Duvar Kalınlığı (mm)	0,88
Üst /alt katman kalınlığı (mm)	0,72
İç doldurma yoğunluğu (%)	22
Kademeli iç doldurma adımı	0
Lüle imalat hızı (mm/sn)	30
Lüle boşta ilerleme hızı (mm/sn)	120
Filement geri çekme durumu	Var
İmalat soğutma durumu	Var
Destek yapı imalatı	Var
İmalat tablasına yapışma tipi	Skirt
İmalat sırası	Hepsi aynı anda

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Günümüzde hızlı ilerleyen teknolojiyle birlikte insanoğlunun da ihtiyaçları artmaktadır. İnsanların vücudunda meydana gelen hasarlardan dolayı görevini yitiren doku veya organların ihtiyaçlarını karşılamak üzere, gerçeğe yakın bir oranda bu doku veya organın benzerleri imal edilerek çare aranmaktadır. Kişiye özel implant üretimin hastanın tanısında ilerleme hızı ve iyi bir cerrahi operasyon planlanması, ölçüm doğruluğu, hastanın anatomisine uygun implant üretimi, azalan cerrahi ameliyat süresi, hastayı memnun edici estetik sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle gerek sağlık sektörü ve mühendislik uygulamaları ve imalat süreçleri gerekse endüstriyel tasarım ve ürün geliştirme faaliyetleri hızlı, hassas ve kullanıcı dostu ölçme sistemlerine ve uygulamalara ihtiyaç duymaktadır. Özellikle sayısal görüntüleme teknikleri sayesinde insanın kemik yapısına ait nokta verilerinin tek tek toplanması ile imalat toleranslarını doğrulayarak, tasarım yapılması yeniden imal edilecek parçalar için geometri belirleme ve deformasyon problemleri görüntüleme gibi pek çok tersine mühendislik ve muayene işlemleri mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, hastanın cerrahi tetkikine göre bilgisayarlı tomografi (BT) veya MR ile elde edilen veriler Mimics®[20] programı kullanarak hastanın hasarlı bölgesindeki kemik yapının üç boyutlu modeli tasarlanmıştır. Daha sonra Solidworks programı ile implantın katı modeli oluşturulmuştur. Çapı 2,85 mm, baskı sıcaklığı 195-240°C aralığında olan PLA filamentine

sahip Ultimaker® cihazı ile kişiye özel hafifletilmiş ve ihtiyaç sahibinin anatomik yapısına en uygun geometride implant prototip imalatı gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizdeki daha önce yapılan çalışmalarda bazı basit geometrili(kalça protezi) implant parçalarının üretiminin döküm yoluyla yapıldığına rastlanmıştır. TÜBİTAK destekli 106M437 nolu çalışmada ise hızlı protipleme ile polyemit malzemesinden derecelendirilmiş gözenekli prototip üretimi yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise EBM ile karmaşık geometrili hafifletilmiş kişiye özel gerçek kafatası parçası implant üretimi gerçekleştirilmiştir. Kişiye özel hafifletilmiş olduğu için hem malzemeden tasarruf hem de ağırlığı daha az olacağından kullanılabilirliği/tercih edilebilirliği çok olacağı beklenmektedir. Çalışma ile ülkemizde karmaşık geometrili implantların imal edilmesi ile ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır.

Hızlı protipleme ile yapılan çalışmalar anatomi, cerrahi planlama veya pratisyenlik süreçleri ve tıbbi müdahalelerde kullanılmaktadır. Bu konuda literatürde kafatası modeli çalışmaları görülmektedir[21,22]. Kişiye özel 3B baskı modelleri ile tıbbi uzmanlık alanı ne olursa olsun öğrencilerin ve stajyerlerin bilgi, yönetim ve özgüvenini önemli ölçüde iyileştiren, performansını arttırabilen ve hızlı öğrenme sağladığı gösterilmiştir[23,24]. Bu çalışmaya literature benzer olarak insan anatomisine ait tıbbi modellerin prototiplenebileceği gösterilmiştir.

Eklemeli imalat pazarı son 5 yılda büyük genişleme göstermiştir. Özellikle sağlık, havacılık ve savunma sanayi sektöründe imalat ve hızlı prototip geliştirebilme avantajları, uygulamaları artırmıştır. 2015 yılında sektörün büyüklüğünün 4 milyar dolar olduğu göz önüne alındığında, 2020 yılı itibariyle eklemeli imalat sektörünün büyüklüğünün 8 milyar doları geçeceği tahmin edilmektedir[25]. Sonuç olarak ülkemizin dünya ekonomisindeki payı dikkate alındığında eklemeli imalat uygulamalarının artan AR-GE, inovasyon ve ürün geliştirme çalışmalarına paralel olarak özellikle sağlık ve havacılık alanında daha da yaygınlaşması gerekmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından 3214-D2-12 nolu proje ile desteklenmiştir. İmplant imalatı sırasında desteklerinden dolayı SDÜ Makine Mühendisliği Eklemeli İmalat Laboratuvarındaki çalışma grubuna teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] CustomPartNet Inc.(2010), Additive fabrication, Erişim Tarihi: 04 Mart 2018. Link: <http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication>
- [2] Society of Manufacturing Engineers (SME), (2018) , Additive Manufacturing Introduction, Erişim Tarihi: 04 Mart 2018. Link: <http://www.sme.org/Tertiary.aspx?id=17485#sthash.gkpsIRmg.dpuf>
- [3] Stratasys Ltd. (2013), Erişim Tarihi: 04 Mart 2018. Link: <http://www.stratasys.com>
- [4] Giannatsis, J., Dedoussis, V., (2009), Additive Fabrication Technologies Applied To Medicine And Health Care: A Review, Int. J. Adv. Manuf. Technol., , 40, 116-127.

- [5] Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C., Duysak, A. (2013), Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31, 53-69.
- [6] Giannatsis, J., Dedoussis, V., (2009), Additive fabrication technologies applied to medicine and health care: a review, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 40, 116-127.
- [7] Custompartnet (2010), Fused Deposition Modeling (FDM), Erişim Tarihi: 24 Şubat 2018. Link: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>
- [8] Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C., Duysak, A. (2013), Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31,53-69.
- [9] Burns, M. (1991), Rapid Prototyping : System Selection & Implementation Guide, Managent Rountable, Massachusetts,
- [10] Neğiş, E., Turkcadcam (2014), Oto inşaa yöntemleri, Erişim Tarihi: 09 Eylül 2014. Link: <http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/>
- [11] Custompart.net (2010), Erişim Tarihi: 31 Aralık 2010. Link: <http://www.custompartnet.com>
- [12] Stratasys Ltd. (2013) , ABS Malzemeler, Erişim Tarihi: 04 Mart 2018. Link: <http://www.stratasys.com/materials/fdm/absplus>
- [13] Stratasys Ltd. (2013), 3Dprinting, Erişim Tarihi: 04 Mart 2018. Link: <http://proto3000.com/news/2013/12/06/3dprinting/nylon-12-3d-printing-material-fdm-stratasys-canada>
- [14] Stratasys Ltd. (2013), 3D-Printer, Erişim Tarihi: 04 Mart 2018. Link: <http://www.stratasys.com/3d-printers/idea-series/mojo#content-slider-1>
- [15] Syam W. P., Mannan M.A., Al-Ahmari A.M., (2011), Rapid Prototyping and rapid manufacturing in medicine and dentistry, Virtual and Physical Prototyping, 6(2), 79-109.
- [16] Ünal D.(2008), Tıpta Kullanılan Görüntüleme Teknikleri ,Lisans Bitirme Tezi, Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Orta Öğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Bölümü, Ankara.
- [17] Özkan A.(2010), İnsan Diz Mekanizmasının Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Modellenmesi Ve Kinematik Analizi, (Doktora Tezi), Kocaeli Üniversitesi,
- [18] Groesel, M.(2009), Gfoehler, M., Peham C.,Alternative solution of virtual biomodeling based on CT-scans. Journal of biomechanics, 42,12.
- [19] Solidworks(2017), Help Topics and What's New, Solidworks Corporation.
- [20] Mimics (2016), Materialise N.V., Leuven, Belgium
- [21] Chan HH, Siewerdsen JH, Vescan A, et al. (2015), 3D rapid prototyping for otolaryngologyhead and neck surgery: applications in image-guidance, surgical simulation and patient-specific modeling. PLoS One.
- [22] Waran V, Narayanan V, Karuppiyah R, et al.(2014), Utility of multimaterial 3D printers in creating models with pathological entities to enhance the training experience of neurosurgeons. J Neurosurg. 120:489–92.
- [23] Rosen KR. (2008), The history of medical simulation. J Crit Care,23,157–66.
- [24] Chakravarthy B, Ter Haar E, Bhat SS, et al. (2011), Simulation in medical school education: review for emergency medicine. West J Emerg Med,12, 461–466.
- [25] Wohler's Report (2016), 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry.

Makaleye Atıf Yapmak için : Özsoy, K., Kayacan, M.C., (2018). Ergiyik Biriktirme Yöntemiyle Hafifletilmiş Kişiyi Özel Kafatası İmplantın Hızlı Prototiplenmesi. *Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi*. vol.1, no.1 p.1-11.