



Bilgisayarlı Tomografi Verilerinden Anatomik Ayak Kemik Yapısının Ultraviyole Ledli 3 Boyutlu Yazıcı İle Üretimi

Yılmaz Gür^{1*}

^{1*} Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü, Balıkesir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1709-1298), ygur@balikesir.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi Aralık 2020 ve Kabul Tarihi Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.847767)

ATIF/REFERENCE: Gür, Y. (2021). Bilgisayarlı Tomografi Verilerinden Anatomik Ayak Kemik Yapısının Ultraviyole Ledli 3 Boyutlu Yazıcı İle Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 128-133.

Öz

Burada sunulan çalışmanın amacı, bilgisayarlı tomografi tarama verilerinden faydalanılarak oluşturulan anatomik insan ayak kemiği modelinin, ışıkla kürleşebilen sıvı reçine kullanan ultraviyole (UV) led teknolojili likit kristal ekran (LCD) maskeleyen panelli 3 boyutlu (3B) stereolitografi (SLA) yazıcıyla dijital olarak üretilmesidir. Bu çalışmayla, hem karmaşık bir anatomik modelin UV led ışık teknolojisini kullanan LCD 3B yazıcıyla hassas bir şekilde ve kolaylıkla dijital olarak üretilebilir olup olmadığı hem de sözü edilen yazıcının yeteneği, esnekliği ve de potansiyeli gösterilmiştir. Bilgisayarlı tomografi cihazının ürettiği ve 2 boyutlu dijital görüntüleme ve iletişim (DICOM) verilerinden yola çıkarak öncelikle InVesalius tıbbi görselleştirme yazılımı aracılığıyla anatomik ayak kemiği modeli oluşturulmuştur. Bu model MeshLab yazılımında işleme tabi tutularak gerekli temizleme ve iyileştirme işlemi yapılmış ve ardından da ChiTuBox dilimleme yazılımı ile katmanlara ayırma, katmandaki kürleştirilecek kısımların belirlenmesi ve destek yapılarının oluşturulması işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemlerden sonra anatomik ayak modeli UV led ışık kaynaklı, reçine bazlı düşük maliyetli SLA 3B yazıcıyla üretilmiştir. Üretilen bu model cerrahi müdahale öncesi ameliyat planlaması, sağlık personeli arasında daha iyi iletişim, tıp öğrencilerinin eğitimi ve kişiselleştirilmiş implant tasarımı gibi çok çeşitli konularda kullanılabilir olacaktır.

Anahtar Kelimeler: UV ledli LCD 3B yazıcı, Eklemeli üretim, BT tarama verisi, Anatomik model.

Fabrication of an Anatomical Foot Bone Structure from Computerised Tomography Data by an Ultraviolet Led 3D Printer

Abstract

The aim of the study presented here is to digitally fabricate of a human anatomical bone structure from computerised tomography scan data by using a resin based ultraviolet (UV) Led LCD 3D printer. This study shows that whether a complex anatomical model can be fabricated precisely and easily with a UV led LCD 3D printer or not and the ability, flexibility and potential of the mentioned UV led LCD 3D printer. Based on the 2D digital imaging and communication (DICOM) data constituted by the computerised tomography device, an anatomical foot bone structure model is primarily created by InVesalius medical visualisation software. This model further processed in the MeshLab software in order to do the necessary cleaning and improvements, and then layering, defining the areas will be cured in that layer and generating of support structures with ChiTuBox slicing software. After all these processes are completed, the anatomical foot model structure will be fabricated with a UV led light sourced resin based low-cost SLA 3D printer. This model can be used for wide variety of subjects such as pre-operative surgical planning, better communication among healthcare professionals, training of medical students, and personalised implant design.

Keywords: UV led LCD 3D printing, Additive manufacturing, CT scan data, Anatomical model.

* Sorumlu Yazar: ygur@balikesir.edu.tr

1. Giriş

Eklemeli üretim teknolojilerinden biri olan stereolitografi (SLA) 1980'li yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinde Charles Hull tarafından icat edildi ve 1986 yılında da "Üç boyutlu nesnelerin stereolitografi yöntemiyle üretilmesi için cihaz" başvurusu ile de patenti alındı [1]. Eklemeli üretim teknolojisi, üretim sırasında herhangi bir kalıba ihtiyaç göstermemesi nedeniyle, prototiplerin veya parçaların müşterinin isteğine göre yeniden üretilebilmesi ve tasarım değişikliklerinin ilave bir masrafa gerek kalmadan yapılabilmesine olanak sağlamaktadır [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Son yıllarda gerek ultraviyole led teknolojisindeki gelişmeler, gerek likit kristal ekran (LCD) paneli konusundaki ilerlemeler ve gerekse ışıkla kürleşebilen sıvı bazlı reçineler konusundaki yapılan araştırmalar neticesinde, ultraviyole ışık kaynaklı, dijital maskeleme işlemi için LCD ekran kullanan, sıvı reçine bazlı 3 boyutlu yazıcılar alanında önemli ilerlemeler sağlandı. Üstelik bu ilerlemeler nedeniyle son derece hassas üretim yapabilen, katman kalınlığı neredeyse 20 µm civarlarına kadar inebilen, son derece ucuz, sıvı reçine bazlı, 3 boyutlu SLA yazıcılar, dijital üretim dünyasına yaygın olarak girmeye başladı. Bu tür yazıcılarla üretim esnasında, bir katmandaki katılaştırılacak parça kesiti ultraviyole led ışıkla aynı anda ve tek bir seferde sıvı reçinenin kürleştirilmesi yoluyla sağlandığından, lazer bazlı SLA yazıcılara göre hem üretim zamanı ve hem de enerji tasarrufu yönünden büyük avantaj sağlamaktadır.

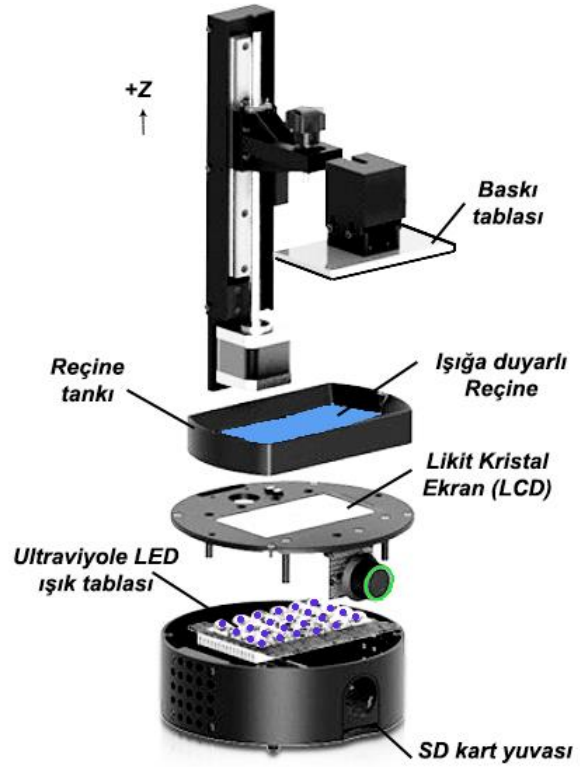
Son yıllarda 3 boyutlu yazıcılardaki gelişmeler sayesinde, insanların kendi kişisel kullanımları için gerekli olan, ürettikleri nesnelerin listesi giderek artış göstermektedir [7, 8]. Yapılan araştırmalara göre masa üstü 3 boyutlu yazıcılarla yapılan kişiselleştirilmiş nesnelerin üretim trendi her geçen gün yükselmektedir [9, 10, 11]. Günümüzde artık çok geniş yelpazedeki ürün çeşidi, çok düşük maliyetli 3 boyutlu yazıcılarla rahatça üretilebilmektedir [7, 8, 12, 13]. Genel olarak 3 boyutlu yazıcılar çok karmaşık geometrik yapıya sahip parçaların kolaylıkla üretilebilmelerini sağlamaları, nesnelerin ihtiyaç duyulan anda tek bir adet bile olsa üretilebilmesine olanak tanınmaları, üstelik de üretim sırasında neredeyse sıfır atık oluşturmaları ve atmosferde daha az karbon salınımına neden olmaları ve karbon ayak izini düşürmeleri gibi birçok nedenden dolayı gelecekte de hayatımızın her alanını etkilemeye devam edecek gibi görünmektedir [14].

2. Materyal ve Metot

2.1. UV Led LCD 3B SLA Yazıcı Teknolojisi

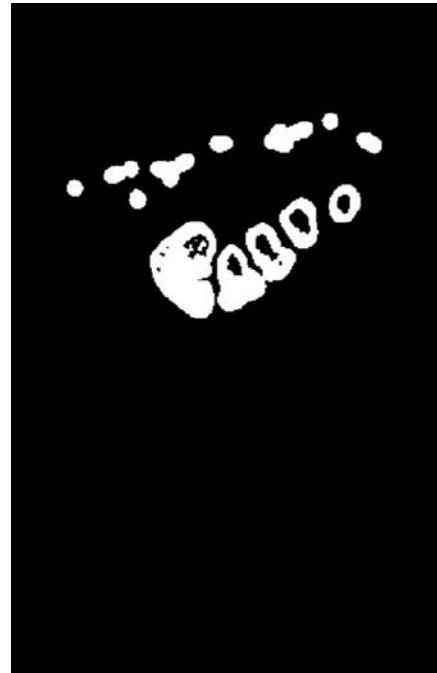
Stereolitografi 3B yazıcı teknolojisi, genel olarak eklemeli üretim teknolojileri ailesinin içerisinde yer alan, ışığın belirli bir dalga boyunda kürleşebilen ışığa duyarlı fotopolimer reçine kullanan ve 1980'li yıllarda icat edilen bir teknolojidir. Reçineyi kürleştirerek katılaştırma işlemi için kullanılan ışık kaynağı önceleri 395 ila 405 nm dalgaboyundaki morötesi lazer iken, LED teknolojinin gelişmesi ile birlikte artık UV LED ışık kaynaklı 3B SLA yazıcılar günümüzde giderek artan bir yoğunlukta kullanılmaya başlamışlardır (Şekil 1). Şekil 1 de görüleceği üzere, ışık kaynağı 405 nm dalgaboyunda gözle görülebilir ultraviyole ışık sağlayabilen ve dizin halinde yerleştirilmiş LED demetinden oluşmaktadır. UV led ışık kaynaklı LCD 3B yazıcı tekniğinde, maskeleyici görüntüyü oluşturma sistemi likit kristal ekran aracılığı ile sağlanmaktadır.

e-ISSN: 2148-2683



Şekil 1. Ultraviyole LED ışık kaynaklı LCD panelli reçine bazlı 3B SLA yazıcı.

Likit kristal ekran üzerine bir elektrik alanı uygulandığında LCD moleküler düzenlemesini değiştirerek ışığın geçmesine izin vermemektedir [15]. Şekil 2'den görüleceği gibi LCD paneldeki beyaz olan yerler UV ışığın geçmesine izin verirken, siyah olan yerler ise UV ışığın geçmesine izin vermemektedir. Işığın geçtiği yerlerdeki sıvı fotopolimer reçine katmanının tamamı bir anda katılaşmakta diğer yerlerdeki fotopolimer reçine ise sıvı olarak kalmaya devam etmektedir. Bu yüzden her katmandaki istenilen şeklin LCD panel üzerinde doğru olarak elde edilmesi kritik önem



Şekil 2. LCD panelde maskeleme görüntüsü oluşumu

arzetmektedir. Her katman tamamlandıktan sonra üretim platformu Z eksenine yönünde katman kalınlığı kadar yukarı çıkmakta ve bu işlem parça tamamlanmaya kadar devam etmektedir. UV ledli LCD 3B yazıcılarla 20 µm katman kalınlığına kadar inilebilmekte ve böylelikle de parçalar çok daha hassas bir şekilde üretilebilmektedir. Örneğin ergiterek biriktirme modellemesi (FDM) teknolojisinde ise katman kalınlığı olarak en fazla 100 µm kalınlığa inilebilmektedir. Bu açıdan UV led ışık kaynaklı LCD panelli reçine bazlı 3B yazıcı teknolojisinin FDM teknolojisine üstünlük sağladığı rahatlıkla söylenebilir.

UV ledli LCD panelli 3 boyutlu yazıcıda üretilen bir parçanın yüzey kalitesi ve hassasiyeti, kullanılan LCD paneldeki piksel sayısına da bağlıdır. LCD paneldeki piksel sayısı ne kadar fazla ise üretilen parçanın baskı kalitesi de o kadar iyi olacaktır.

3. Anatomik Modelin Oluşturulması

"Bilgisayarlı Tomografi" yaygın olarak bilinen adıyla (BT) taraması, iskelet bozuklukları gibi sorunları teşhis etmek ve hatta üç boyutlu görüntüler oluşturmak için insan vücudunun çoklu X-ışını görüntülerinin bir ekranda görselleştirilmesidir [16]. Tomografi kelimesi Yunanca "tomos" yani dilimleme ile "grafein" yani yazma anlamına gelen kelimelerinden gelmektedir [17]. Tıp tabanlı modelleme ve 3 boyutlu baskı teknolojilerindeki gelişmeler ile insan vücudunun anatomik modellerinin üç boyutlu somut örneklerini üretmek mümkündür. Bir insan vücudu organının üç boyutlu anatomik modeli, BT tarama verilerinin düzenlenmesi ile oluşturulabilir. Bu dijital modeller 3D baskı teknolojisi ile üretilebilir ve bu somut modeller ameliyat öncesi planlama, teşhis, tedavi seçeneklerinin belirlenmesi, eğitim amaçlı, cerrahi simülasyon ve tıbbi cihaz prototipleme için kullanılabilir. Bu üretilen modeller, çok karmaşık ameliyatlara planlamak için çok faydalı olabilir. Dahası, bir insan organının 3 boyutlu somut anatomik modeli varsa, kişiye özel bir implant üretmek oldukça kolaydır [18].

Bu çalışmada, BT tarama işlemi sonucunda elde edilen ve tıbbi 2 boyutlu dijital görüntüleme ve iletişim (DICOM) verisi olarak adlandırılan BT tarama verilerinden yola çıkarak, anatomik bir insan ayak kemiği modelinin ultraviyole led ışık kaynağını kullanan LCD panelli, sıvı reçine bazlı, bir stereolitografi (SLA) yazıcı ile üretilebilirliği araştırılmıştır. Karmaşık bir anatomik geometriye sahip olan ayak kemiği yapısının, CNC frezeleme gibi klasik talaş kaldırma yöntemi tekniği ile üretilmesi çok zor ve hatta kemik içi dokusunun ve boşlukların üretilmesi ise olanaksızdır. Bu noktada, yeni gelişmekte olan UV led tabanlı 3B SLA teknolojisi son derece hassas biçimde bu anatomik modelin üretilmesine olanak tanımaktadır. Somut anatomik ayak kemiği yapısının dijital olarak üretilmesi, zaman kısıtlılığı baskısı olmadan ameliyatın planlamasını, işaretleme, delme, kesme vb. gibi işlemlerin provasının yapılmasını ve denenmesini kolaylaştırmaktadır. Elle tutulabilir gerçek bir anatomik modelin var olması sadece sağlık personelleri arasındaki iletişim için değil, aynı zamanda hasta ve yakınları ile operasyon detaylarının paylaşılması için de yararlıdır [19].

3.1. Anatomik Modelin 3B Yazıcı ile Yazdırılması Adımları

UV ledli, reçine bazlı LCD 3 boyutlu yazıcı aracılığıyla bilgisayarlı tomografi tarama verilerinden anatomik modellerin oluşturulması ve üretilmesi sırasında genel olarak altı aşama vardır. Bunlar;

- BT cihazı ile insan vücudunun taranarak DICOM verilerinin elde edilmesi,
- DICOM verilerinden vücudun taranan kısmının 3 boyutlu bilgisayar destekli tasarım (CAD) modelinin oluşturulması,
- CAD model verilerinin ".stl" dosya formatına dönüştürülmesi,
- Modelin ardışık katmanlar halinde dilimlenmesi, gereken yerler için destek yapılarının oluşturulması ve yerleştirilmesi,
- 3 boyutlu yazıcının üretim parametrelerinin belirlenmesi ve anatomik modelin üretilmesi,
- Destek yapılarının üretilen modelden kırılarak çıkarılması ve boya, zımpara gibi ince işçiliklerin uygulanması [20, 21].

3.2. BT Tarama Verilerinin Elde Edilmesi

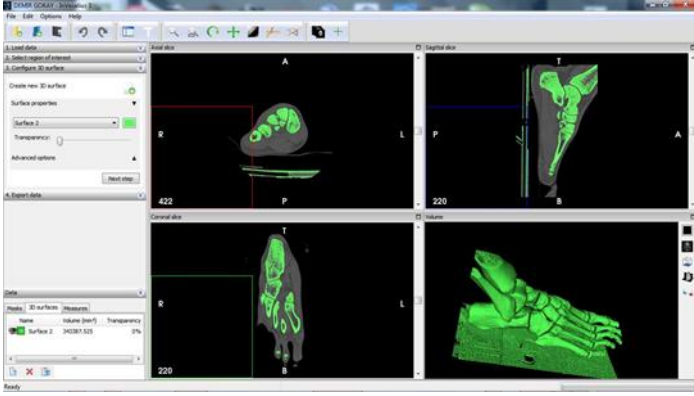
3 boyutlu modelin oluşturulması için gerekli olan girdi verileri, Toshiba Aquilion Helical BT cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen bu DICOM tarama verilerinden faydalanılarak bir yazılım vasıtasıyla anatomik ayak kemiği yapısının 3 boyutlu geometrik modeli oluşturulabilir. Tıbbi görselleştirme amacıyla, BT cihazı anatomik modelin taranması esnasında belirli katman kalınlığı dikkate alınarak taramakta, tarama sırasındaki bu katman kalınlığı daha sonra elde edilecek modelin kalitesini de önemli ölçüde etkilemektedir. Her ne kadar katmanlar halinde elde edilen DICOM tarama verileri bir araya getirilerek bilgisayar ekranı üzerinde 3 boyutlu görselleştirilmiş sanal bir model oluşturulabiliyorsa da bu hiçbir zaman elle tutulan somut bir anatomik model gibi olmamaktadır. Anatomik bir ayak kemiği modeli oluşturmanın ilk adımı, BT tarama verilerinin işlenmesi suretiyle, kemik doku haricinde mevcut bulunan yumuşak dokular, damarlar, sinirler ve benzeri dokuların ayıklanarak sadece kemik dokunun çıkarılması işlemidir. Çalışmada ayak kemiği yapısının BT tarama verileri elde edilmiş ve örnek durum çalışması olarak kullanılmıştır.

3.3. BT Tarama Verilerinden Anatomik Ayak Kemiği Yapısının Oluşturulması

Üç boyutlu görüntüyü oluşturmak için 847 adet BT tarama veri dosyası, anatomik ayak kemiklerinin diğer dokulardan ayrılması işlemi sırasında InVesalius v3.0 yazılımında işlenmiştir (Şekil 3). Her bir DICOM veri dosyasının boyutu 515 kilobayt büyüklüğündedir.

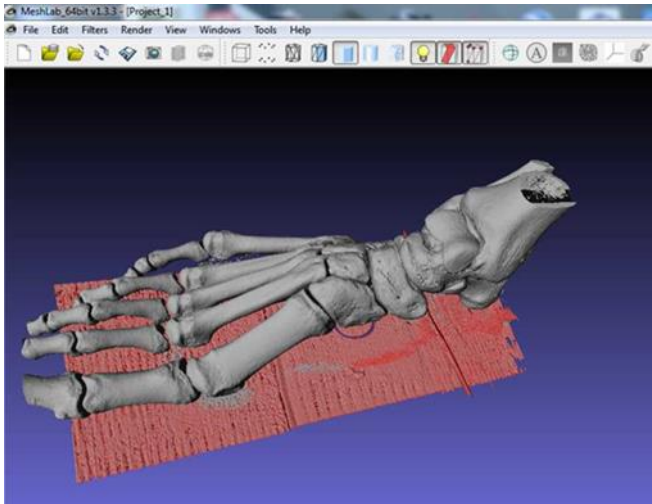
Yumuşak doku, sinir, deri ve damarların ortadan kaldırılması ve sadece anatomik ayak kemik yapısının bırakılması için, görselleştirme ve tıbbi görüntüleme işlemi için kullanılan çok platformlu, ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir yazılım programı olan "InVesalius v3.0" yazılımından faydalanılmıştır [22]. Ayak kemiği yapısını yumuşak dokulardan doğru bir şekilde ayırabilmesi için eşik değeri 226 olarak seçilmiştir. Böylelikle BT verilerindeki kemik yapı haricindeki istenmeyen dokuların temizlenmesi sağlanmıştır. Eşik değerinin yeterince başarılı olmadığı bazı bölgelerde ise elle silme işlemi uygulanarak mümkün olduğunca temiz bir kemik doku elde edilmeye çalışılmıştır.

InVesalius yazılımı, kemik yapısının 3 boyutlu görüntüsü oluşturulduktan sonra, hızlı prototipleme teknolojisi kullanılarak anatomik bir modelin somut fiziksel versiyonunu üretmek için kullanılan, hızlı prototiplemenin standart veri aktarma formatı olan ".stl" dosya formatına dönüştürme olanağına sahiptir.



Şekil 3. InVesalius tıbbi görüntüleme yazılımında anatomik kemik dokusunun çıkarılması

Dolayısıyla oluşturulan 3 boyutlu model InVesalius aracılığı ile ".stl" dosya formatına çevrilmiş ve sonraki işlemler için bu formatta saklanmıştır. Oluşturulan bu ".stl" dosyası, daha sonra, açık kaynak kodlu, taşınabilir ve genişletilebilir bir yazılım olan MeshLab v1.3.3 programına aktarılmış ve bu yazılım içerisinde işlenerek, anatomik modele bağlı olmayan, boşlukta asılıymış gibi duran fazlalık küçük parçacıklar temizlenmiş, 3 boyutlu modelin bazı noktaları iyileştirilmiş ve yumuşatılmıştır [23].



Şekil 4. MeshLab yazılımında anatomik modele bağlı olmayan parçacıkların temizlenmesi işlemi

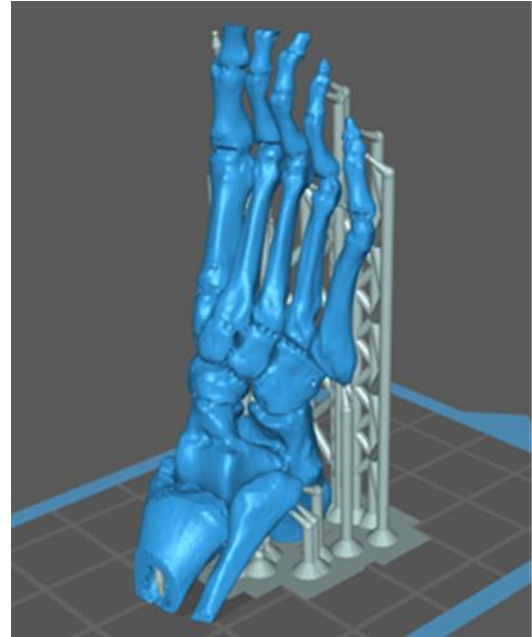
Şekil 4 de görülen ve MeshLab yazılımı vasıtasıyla boşlukta duran küçük parçacıklar temizlendikten sonra alt tarafta görünen ve tomografi sırasında temas eden yüzeyi gösteren kısım da daha sonra silinerek sadece kemik dokunun kalması sağlanmıştır.

4. Anatomik Ayak Modelinin UV Ledli LCD 3B SLA Yazıcıda Üretilmesi

Anatomik ayak kemiği modelinin dijital olarak üretimi SparkMaker UV ledli LCD 3 boyutlu SLA yazıcı ile yapılmış olup sıvı photopolimer reçine olarak da e-Sun LCD için genel amaçlı gri renk photopolimer reçine kullanılmıştır. Sparkmaker 3B yazıcının fiziksel boyutları Ø170x284 mm olup masa üstü kullanıma uygun bir boyutu mevcuttur ve üretim tablasının boyutları ise 98x55 mm, Z eksenine yönünde ulaşabileceği yükseklik ise 125mm dir. Üretebileceği katman kalınlığı ise 20µm a kadar inebilmektedir. Bir reçine katmanını kürleştirebilme

süresi ise 8 ila 15 s arasında değişmektedir. Ancak ilk katmanların kürlenmesi sırasında bu süreyi arttırmak parçanın üretim tablasına yapışmasını sağlamak açısından önemlidir. Kullanılan ultraviyole led ışıklarının toplam gücü 24W olup, ışık kaynağından çıkan ultraviyole ışığın dalga boyu ise 400-410 nm aralığındadır. Görüntü oluşturma ve maskeleme amacıyla kullanılan LCD panelin çözünürlüğü ise 480x854 pikseldir. Full HD versiyonlarında ise bu çözünürlük 1920x1080 piksele kadar çıkmaktadır.

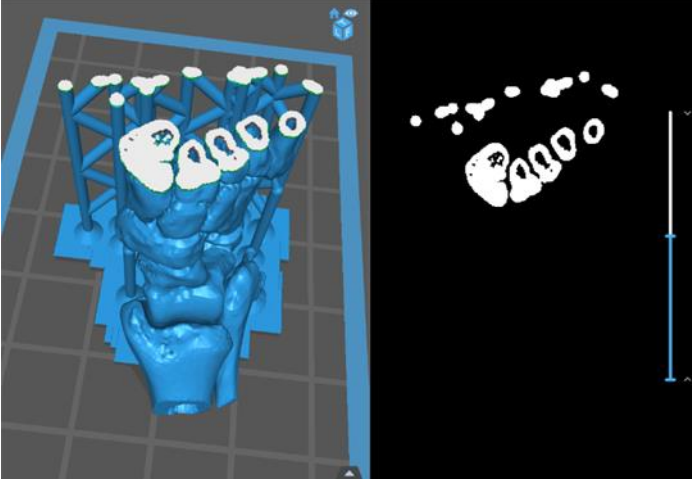
Üretim sırasında dilimleme yazılımı olarak ChiTuBox v1.4.0 lisans gerektirmeyen bir yazılım kullanılmıştır [24]. Katman kalınlığı 50 µm olarak alınmış, tabandaki ilk 8 katmanın üretim sırasında darbe genişlik modülasyonu (PWM) 285 olarak, diğer katmanların üretimi sırasında ise 265 olarak ayarlanmıştır. Taban katmanlarının üretimi sırasında ışıkla pozlama süresi 60 s, normal katmanların ışıkla pozlama süresi ise 15 s olarak ayarlanmıştır. Kürleştirilen katmanın oksijenle temasının sağlanması ve aynı zamanda reçine tankındaki reçinenin karışımını temin etmek amacıyla, üretim tablasının 5 mm yükselmesi sağlanmış ve yükseltme ve geri çekme hızı olarak da 300 mm/min değeri kullanılmıştır. Üretim sırasında anatomik ayak kemik modeli üretim tablasına sığmadığı için %75 oranında uniform olarak küçültülmüş, yüksekliği 58mm ye indirilmiş ve model üretim tablasına dik olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Anatomik ayak kemik modelinin üretim tablasında konumlandırılması

Üretim tablası üzerine konumlandırılan anatomik ayak kemiği modelinin üretimi sırasında desteğe ihtiyaç gösteren yerlerin belirlenmesi ve otomatik olarak destek yapılarının oluşturulması amacıyla ChiTuBox yazılımının destek yerleştirme algoritması işleme konulmuş ve destek yapılarının oluşturulması sağlanmıştır (Şekil 5 ve Şekil 6). Destek yapılarının da oluşturulması aşaması bittikten sonra dilimleme kısmına geçilmiş ve katman kalınlığı 50 µm olarak belirlenerek modelin katmanlara ayrılması sağlanmıştır. Toplamda 1160 katman oluşmuş ve oluşan bu katmanların kesit alanlarının maskeleme sırasında LCD panelde nasıl oluşacağı bir ön izleme penceresi vasıtasıyla kullanıcının izlenimine sunulmuştur. Şekil 6'ya bakıldığında sağ taraftaki siyah pencereci alandan her bir katmanın ön izlemesi yapılabilmektedir. Eğer herhangi bir hatanın olmadığı onaylanırsa

dosya “.wow” formatında kayıt edilip bir dijital hafıza kartına aktarılmak suretiyle 3 boyutlu yazıcıda üretilebilir hale getirilmektedir. ChiTuBox yazılımı dilimleme esnasında kullanılacak olan malzemenin hacmini, ağırlığını ve üretim zamanını da hesaplamaktadır. Bu üretim için hesaplanan kullanılacak reçine miktarı 6.5 gram ve üretim zamanı olarak da 5 saat 42 dakika 23 saniye hesaplanmıştır.



Şekil 6. Anatomik ayak kemik modelinin destek yapılarının oluşturulması, katmanlara ayrılması ve LCD paneldeki görüntü oluşumunun ön izlenmesi.

Şekil 7’de ultraviyole ışık kaynaklı, LCD paneli maskeleme sistemine sahip, reçine bazlı, SparkMaker marka 3 boyutlu yazıcıda üretilmiş ama henüz yazıcının üretim tablasından sökülmemiş anatomik ayak kemiği modeli görülmektedir.



Şekil 7. 3B yazıcının üretim tablasından henüz sökülmemiş anatomik ayak kemik modeli

Şekil 8 de ise 3 boyutlu yazıcıda üretildikten sonra üretim tablasından alınmış, üzerinde kalan sıvı reçine kalıntıları %99.9 luk saf izopropil alkol ile temizlenmiştir. Reçinenin katılaşmasını tamamlaması için, 405 nm dalga boyunda ultraviyole ışık üreten, bir kürleştirme odasında kürleştirme işleminin tamamlanması sağlanmıştır. Şekil 8 de üretilen anatomik ayak kemiği yapısının üzerindeki destek yapılarının henüz kırılıp temizlenmemiş hali görülmektedir. Ancak destek yapılarının



Şekil 8. 3B yazıcıda üretilmiş anatomik ayak kemik modeli

üretile modelde dokunduğu noktadaki kontak çapı 0.30 mm ve kontak derinliği 0,20 mm olduğu için desteklerin parçaya zarar vermeden parçadan kırılarak uzaklaştırılması kolayca mümkün olmaktadır.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada bilgisayarlı tomografi tarama verisi olan 2 boyutlu DICOM verilerinden yola çıkarak anatomik bir ayak kemiği modelinin oluşturulması, oluşturulan modelin 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan iletişim dili olan standart üçgenselleştirme dili (stl) formatına dönüştürülmesi ve modelin ultraviyole ışık kaynaklı likit kristal ekranlı maskeleme sistemine sahip, reçine bazlı bir 3 boyutlu SLA yazıcı ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, soyut 2 boyutlu bilgisayarlı tomografi verilerden yola çıkılarak elle tutulabilir, somut anatomik ayak kemiği modelinin, çok düşük maliyetli bir 3 boyutlu yazıcı ile de üretilebileceği gösterilmiştir.

3 boyutlu yazıcı teknolojisi henüz daha yeni gelişmekte olan bir teknoloji olup tıp alanına uygulanabilirliği konusunda inanılmaz bir potansiyel barındırmaktadır. Üretilen anatomik olarak doğru ve hassas modeller, cerrahi müdahale öncesi planlama, teşhis, yapılacak cerrahi müdahalenin ameliyat öncesi simülasyonu, tıbbi cihazların prototiplerinin üretilmesi, sağlık personelleri arasındaki iletişim, hasta ve yakınları ile ameliyat detaylarının paylaşılması gibi konular için ve eğitim amaçlı olarak kullanılabilir. Ancak bu yazıcılar henüz günlük klinik kullanıma uygun değildir. Çünkü acil müdahale edilmesi gereken durumlar için parçaların modellenmesi ve üretimi zaman istemektedir. Bu örnekte de görüldüğü üzere bir modelin sadece 3 boyutlu yazıcıda üretilmesi bile 6 saate yakın zaman almaktadır ki buna verilerin elde edilmesi, modelin oluşturulması ve 3 boyutlu yazıcıda üretilebilir hale getirilmesi işlemleri dahil değildir. Sadece modelin üretilebilmesi bile bazen günlerce sürebilmektedir. Elbetteki böyle bir durum acil müdahale edilmesi gereken durumlar için kabul edilebilir değildir. Ancak ayak kemik yapısının tamamı yerine sadece ihtiyaç duyulan münferit bir kemik bölümünün çalışılmasının üretim sürecini kısaltacağı, daha hızlı bir üretim ve daha farklı değerlendirmelere olanak

sağlayabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Gelecekte bu yönde yapılacak akademik araştırmaların artması, verilerin elde edilmesinden modelin oluşturulmasına ve 3 boyutlu yazıcıda basılmasına kadar geçen işlemlerin otomatik bir süreç olarak gerçekleştirilmesi ve belki de yazıcıda üretim hızının yüzlerce kat artırılması ile bu teknolojinin tıp alanında da büyük ilerlemelere yol açacağı aşikardır.

Kaynakça

- [1] Hull, C.W. U.S. Patent 4575330 (Publication Date: 3/11/1986). “Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography”, <http://www.google.com/patents/US4575330>
- [2] Lim, C.S., Chua, C.K., Leong, K.F. (2003). Rapid Prototyping: Principles and Applications, World Scientific, Second edition. <https://doi.org/10.1142/5064>
- [3] Cooper, K.G. (2001). Rapid Prototyping Technology, Selection and Application, Assembly Automation, 21(4), 358-359. <https://doi.org/10.1108/aa.2001.21.4.358.1>
- [4] Crawford, S. (2013). <http://computer.howstuffworks.com/3-d-printing1.htm/>
- [5] Rosen, D., Gibson, I., Stucker, B. (2010). Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. SpringerVerlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1120-9>
- [6] Knill, O., Slavkovsky, E. (2013). Cornell University Library, arXiv:1306.5599 [math.HO].
- [7] Pearce, J.M., Blair, C.M., Laciak, K.J., Andrews, R., Nosrat, A., Zelenika Zovko, I. (2010). 3-D printing of open source appropriate Technologies for self-directed sustainable development. Journal of Sustainable Development, 3 (4), 17-29.
- [8] Wittbrodt, B.T., Glover, A.G., Laureto, J., Anzalone, G.C., Oppliger, D., Irwin, J.L., Pearce, J.M. (2013). Life-cycle economic analysis of distributed Manufacturing with open source 3-D printers. Mechatronics, 23, 713-726.
- [9] Blua, A., (2013). A new industrial revolution: The brave new World of 3D printing, Radio Free Europe Radio Library. <https://www.rferl.org/a/printing-3d-new-industrialrevolution/24949765.html>, (Son erişilen tarih: 23/012/2020).
- [10] The Economist (2012). A third industrial revolution. April 2012, <https://www.economist.com/specialreport/2012/04/21/a-third-industrial-revolution>, (Son erişim tarihi: 23.12.2020).
- [11] Make: Ultimate Guide to 3D printing, O'Reilly, November 2013, ISBN: 9781457183027, <https://www.oreilly.com/library/view/make-ultimate-guide/9781457183669/>, (Son erişim tarihi: 23.12.2020).
- [12] Martens, T., Mears, L., Dotson, M., Graham, M., Sanger, P., (2011). Use of fused deposition modeling of polyphenylsulfone for centrifugal casting of polyurethane: material, surface, and process considerations. J. Manuf. Sci. Eng., 133 (5), 051003, <https://doi.org/10.1115/1.4004848>.
- [13] Gür, Y. (2020). Chapter 10 - “Mathematical Modelling and Additive Manufacturing of a Gyroid”. *Mathematical Modelling and Optimization of Engineering Problems*, Editors: J.A. Tenreiro Machado, Necati Özdemir, Dumitru Baleanu, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37062-6>, 187-196.
- [14] Rowan, D. (2011). Retrieved from WIRED Business Future Shock. <http://www.wired.com/2011/05/3d-printing-an-industrial-revolution-in-the-digital-age/>, (Son erişim tarihi: 23.12.2020).
- [15] Quan, H., Zhang, T., Xu, H., Luo S., Nie, J., Zhu, X. (2020). Photo-curing 3D printing technique and its challenges. Bioactive Materials, 5, 110-115.
- [16] Computed Tomography (CT) (2020). “What is CT Scanning of the Body?” <http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?pg=bodyct>, (Son erişim tarihi: 26.12.2020).
- [17] What is a CT scan? (2020). <http://www.medicalnewstoday.com/articles/153201.php> (Son erişim tarihi: 26.12.2020)
- [18] Berce, P., Chezan, H., Balc, N. (2005). ESAFORM 2005 Conference. Cluj-Napoca, Romania, 697-682.
- [19] Giannatsis, J., Dedoussis, V. (2009). Additive fabrication technologies applied to medicine and health care: a review. Int. J. Adv. Manuf. Technol., 40, 116-127.
- [20] Palousek, D., Rosicky, J., Koutny, D., Stoklasek, P., Navrat, T. (2014). Pilot study of the wrist orthosis design process. Rapid Prototyping Journal, 20(1), 27–32.
- [21] Marcincin, J.N., Marcincinova, L.N., Barna, J., Janak, M. (2012). Application of FDM rapid prototyping technology in experimental gearbox development process. Tehnički Vjesnik, 19(3), 689-694.
- [22] InVesalius® v3.0, (2020), <https://www.cti.gov.br/pt-br/invesalius>, (Son erişim tarihi: 26.12.2020).
- [23] MeshLab®, (2020) <http://meshlab.sourceforge.net/>, Visual Computing Lab – ISTI – CNR, 2014.
- [24] ChiTuBox® Dilimleme Yazılımı, (2020), Guangdong, China, 518102, <https://www.chitubox.com/en/index> (Son erişim tarihi: 23.12.2020).