

### 3 Boyutlu Baskı Teknolojisi Kullanılarak Anatomik Akciğer Araştırma ve Eğitim Fantomu Tasarım ve Üretimi\*

Fahrettin Fatih KESMEZACAR\*\*, Duygu TUNÇMAN\*\*\*, Nami YEYİN\*\*\*\*

#### Öz

**Amaç:** 3 boyutlu (3B) baskı teknolojisi sağlık çalışmalarında organ baskısı olarak araştırma ve eğitim materyallerinde sıkça kullanılmaktadır. 3B fantomlar, görüntüleme tekniklerinin test edilip değerlendirilmesi ile cihazda yapılan ölçümlerin gözden geçirilmesinde pratik yaklaşımlar sunmaktadır. Çalışmada, fantomun akciğer yüzey anatomisinin tasarımıyla beraber, çalışmamıza özgünlük kazandıran, organ modeline radyonüklidi güvenli ve kolayca transfer edip, görüntü almayı sağlayan özel bir iç tasarım düşünülmüştür.

**Yöntem:** Akciğer iç tasarımının bu formda yapılmasının sebebi organa radyonüklid temasının olduğu durumları fantom aracılığıyla canlandırılıp gerekli ölçümlerin yapılabilmesidir. 3B anatomik akciğer fantomu, tasarlanan şekilde ve ölçülerde uygun Hounsfield Unit (HU) değerlerinde basılmıştır ve fantomun iç yapısının tıbbi görüntüleme cihazları ile görüntülenmiştir.

**Bulgular:** Fantomda, Bilgisayarlı Tomografi (BT) görüntülerinde akciğer iç boşlukları ve dış parankim doku yapısı doğal akciğer yapısına benzer özellikte görüntülenmiştir.

**Sonuç:** Araştırma ve eğitimde kullanılmak üzere, insan anatomisine benzer, Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi (SPECT), Pozitron Emisyon Tomografi (PET), Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) ve BT uyumlu anatomik akciğer fantomu tasarlanarak, 3B basımı yapılmış ve gerekli radyolojik görüntüleri alınmıştır. Bunun neticesinde üretilen 3B akciğer fantomu eğitim ve araştırma materyali olarak sürekli kullanılacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** 3B baskı, akciğer fantomu, anatomi, nükleer tıp.

#### Özgün Araştırma Makalesi (Original Research Article)

**Geliş / Received:** 10.01.2023 & **Kabul / Accepted:** 10.07.2023

**DOI:** <https://doi.org/10.38079/igusabder.1231903>

\* “3 Boyutlu (3B) Anatomik Akciğer Araştırma ve Eğitim Fantomu” başlıklı makale 10. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım kongresinde sözlü bildiri olarak sunulmuştur (24-26 Aralık 2022, İstanbul).

\*\* Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, İstanbul, Türkiye. E-posta: [okesmezacar@hotmail.com](mailto:okesmezacar@hotmail.com) [ORCID http://orcid.org/0000-0001-5110-1184](http://orcid.org/0000-0001-5110-1184)

\*\*\* Öğr. Gör., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Radyoterapi Programı, İstanbul, Türkiye. E-posta: [duygutuncman@gmail.com](mailto:duygutuncman@gmail.com) [ORCID http://orcid.org/0000-0002-0929-0441](http://orcid.org/0000-0002-0929-0441)

\*\*\*\* Öğr. Gör., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye. E-posta: [nami.yeyin@iuc.edu.tr](mailto:nami.yeyin@iuc.edu.tr) [ORCID http://orcid.org/0000-0003-0262-4020](http://orcid.org/0000-0003-0262-4020)

## Design and Production of an Anatomical Lung Research and Education Phantom Using 3 Dimensional (3D) Printing Technology

### Abstract

**Aim:** 3 Dimensional (3D) printing technology is frequently used in research and educational materials as organ printing in health studies. 3D phantoms offer practical approaches to testing and evaluating imaging techniques and reviewing measurements made on the device. In the study, a special interior design was considered, which adds uniqueness to our study, together with the design of the lung surface anatomy of the phantom, and enables the radionuclide to be transferred to the organ model safely and easily and to obtain images.

**Method:** The reason why the lung interior design is made in this form is that the situations where there is radionuclide contact with the organ can be visualized by means of a phantom and necessary measurements can be made. The 3D anatomical lung phantom was printed in the designed shape and dimensions at appropriate Hounsfield Unit (HU) values, and the internal structure of the Phantom was imaged with medical imaging devices.

**Results:** In the phantom, the lung's inner cavities and outer parenchyma tissue structure were visualized similarly to the natural lung structure in Computed Tomography (CT) images.

**Conclusion:** For use in research and education, a single Photon Emission Computed Tomography (SPECT), Positron Emission Tomography (PET), Magnetic Resonance Imaging (MRI) and CT compatible anatomical lung phantom was designed, 3D printed and necessary radiological images were performed. As a result, the 3D lung phantom produced will be used continuously as educational and research material.

**Keywords:** 3D printing, lung phantom, anatomy, nuclear medicine.

### Giriş

Zaman, maliyet tasarrufu ve istenilen şeklin verilebilmesi sebebiyle 3 Boyutlu (3B) baskı teknolojisi, tıp ve mühendislik çalışmaları başta olmak üzere, birçok disiplinde yoğun olarak kullanılmaktadır<sup>1</sup>. Sağlık çalışmalarında kullanımında; organ baskısı, ameliyat öncesi operasyon alanının baskısı ve araştırmalar için anatomik baskılar ön plandadır. Özellikle tıp bilimlerinden; radyasyon onkolojisi, radyoloji, nükleer tıp ve anatomi, fizyoloji gibi temel bilimlerde fantomların eğitim ve araştırmalarda kullanıldığı görülmektedir<sup>2</sup>. Nükleer tıp görüntüleme sistemleri genel olarak fiziksel fantomlar kullanılarak doğrulanır. Geleneksel olarak, bu fantomlar, kalıplama teknikleriyle üretilen ve daha sonra radyoaktif sıvılarla doldurulan içi boş küreler içeren boş silindirlere. Standart kalıplama yöntemleriyle üretilen fantomların geometrik karmaşıklığı sınırlı olmasına rağmen, 3B baskı teknikleri ile basılan fantomlar, farklı organlar ve düzensiz tümör lezyonları gibi ince yapılara sahip antropomorfik yapıların hazırlanmasına olanak sağlamaktadır<sup>3</sup>. 3B baskılı fantomların kullanımına önce bilgisayarlı tomografi (BT), ardından manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve ultrason (US)la başlanmıştır. Radyoaktif maddelerin kullanıldığı, Nükleer Tıp görüntüleme teknikleri Pozitron Emisyon Tomografi (PET) ve Tek Foton

Emisyon Bilgisayarlı Tomografi (SPECT) de 3B fantom kullanımı ise bunları takip etmiştir. Fantomlar, görüntüleme tekniklerinin test edilmesi ve değerlendirilmesi; cihaz tarafından yapılan ölçümlerin değerlendirilmesinde pratik yaklaşımlar sunmaktadır<sup>4</sup>. Ayrıca fantomlar sağlık fizikçilerinin akreditasyon sınavlarında bir muayene aracı olarak da geliştirilmiştir<sup>5</sup>. SPECT görüntüleme ve PET görüntülemenin cihaz karakterizasyonu ve yöntem testleri de fantom kullanılarak yapılmaktadır<sup>6</sup>. Daha sık olarak, fantomlar tıbbi görüntülemede kalite güvencesi, kalibrasyon, araştırma, eğitim ve öğretim için de kullanılmaktadır<sup>7-9</sup>. Eğitim fantomları tıp öğrencileri, sağlık fizikçileri, nükleer tıp teknikerleri, nükleer tıp asistanları ve radyoloji asistanları için kullanılabilir<sup>10</sup>. Fantomlar ayrıca simüle edilmiş verilerin doğrulanmasında, radyonüklid tedavilerin planlamasında ve görüntüleme cihazlarının kalitesinin gösterilmesi içinde tasarlanırlar<sup>11</sup>.

Belirli bir prosedür veya deney için insan vücudunun belli bölgelerinin cansız benzerlerinin yapılmasıyla anatomik fantomlar elde edilir. 3B baskı materyalleri eğitimde özellikle bölge anatomisinin gerçeğe yakın modellerle çalışılarak daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Kadavra ve benzeri eğitici malzemelerle 3B baskı materyalleri karşılaştırıldığında, 3B modeller daha ucuzdur. Biyomekanik testlerdeki insan dokusunun yerine 3B baskı materyalinin kullanılması tercih edilmektedir<sup>12</sup>. Özellikle radyasyon içeren tedavi ve görüntülemelerde, kaliteyi ve uygulanabilirliği izlemek, araştırmayı gerçekleştirmek ve gerekli olan bilgiyi alabilmek için bu modellerin kullanımı her zaman ön planda olmuştur. Bu tür anatomik fantomlar, canlıda gerçekleştirilmesi imkansız olan radyasyon araştırmalarını uygulanabilir kılmakta ayrıca yeni terapötik teknikleri doğrulamak için ve anatomik özelliklerin de önemli olduğu araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır<sup>13</sup>.

Bu çalışmanın amacı, insan anatomisine benzer, SPECT, PET, MRG ve BT uyumlu anatomik akciğer fantomu tasarlamak, 3B basımını yapıp, araştırma ve eğitimde kullanmaktır.

Çalışmada, anatomik akciğer fantomu hem bir kalite güvence cihazı hem de eğitim öğretim aracı olarak tasarlanmıştır. Akciğer fantomunun kendine özel olan iç formu ve dışı açılan vana ve tıparları sayesinde anatomik akciğer modellerine istenildiği kadar radyonüklid verilip, güvenli olarak görüntüleri alınabilmektedir. Bu görüntüler asistan ve tekniker eğitiminde kullanılabilir. Ayrıca fantom Nükleer Tıp doktorları için bir öğretim aracı ve referans kaynağı olarak da tasarlanmıştır.

## **Gereç ve Yöntem**

Çalışmada, fantomun yüzey anatomisinin tasarımıyla beraber, çalışmamıza özgünlük kazandıran, organ modeline radyonüklidi güvenli ve kolayca transfer edip, görüntü almayı sağlayan özel bir iç tasarım düşünülmüştür. Modelin iç düzeneğinin oldukça karmaşık olmasından ötürü ve kullanılan malzemede sızma ihtimalinin olmaması için modelin en uygun olarak 3B yapılabileceğine karar verilmiştir. Organın iç yüzeyinin dışarıyla istenildiği zaman açılıp,

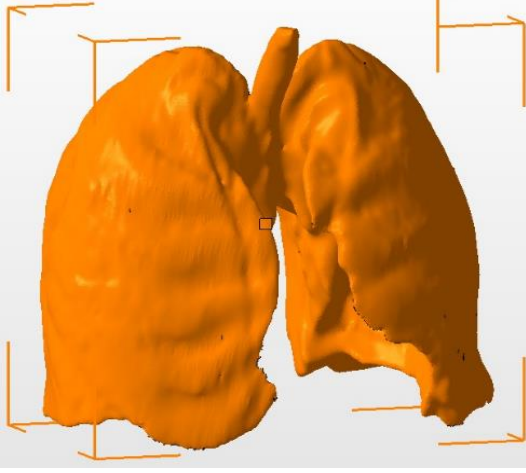
istenildiğinde contalı vidalar aracılığıyla dış ortamla ilişkisinin tamamen kesilmesi fantomun temel özelliklerinden birini oluşturmuştur. Akciğer iç tasarımının bu formda yapılmasının sebebi organa radyonüklid temasının olduğu durumları fantom aracılığıyla canlandırılıp gerekli ölçümlerin yapılabilmesidir.

Anatomik akciğer fantomunun tasarlanması sırasında bazı önemli noktalar göz önünde bulundurulmuştur. Bunlar; fantomun tam anlamıyla anatomik ve vücuttaki yerine uygun olması; fantomun iç bölgesine radyonüklidin rahatça doldurulup boşaltılabilen sızdırmaz bir aralığın olması, dolu iken malzemenin düşük su emme özelliğine sahip olup ve vida-contaların güvenli olması, kullanılan materyallerin oluşturulması istenen dokuya benzer olmasıdır.

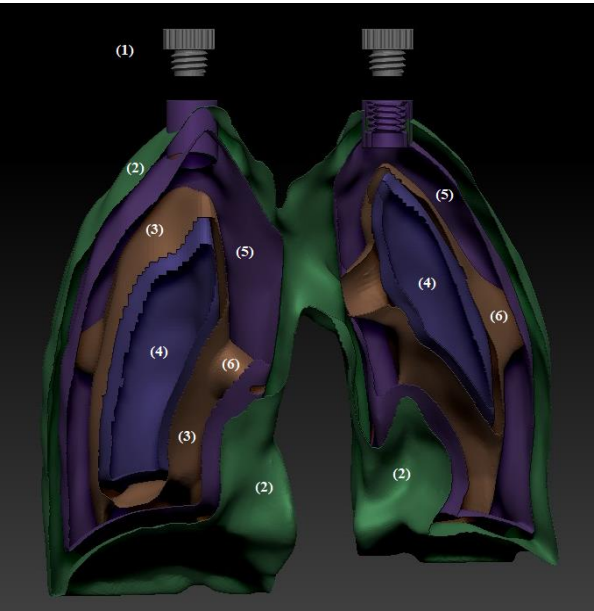
Akciğer dış yüzeyine radyoaktif madde direkt olarak verilemeyeceğinden, radyoaktif maddenin organ parankiminin iç yüzeyine dağılması gerekir. Organda Radyonüklid dağılımının sağlanması için ise akciğer parankim dokusu altındaki bölgede doldurulabilir bir aralık gereklidir. Bu aralığı dolduracak olan radyoaktif madde, bölgedeki aktivite dağılımını temsil edecektir. Aralığın oluşturulması için dışta görülen akciğer parankiminin içine yüzeye paralel olacak formda daha küçük boyutlarda bir bölüm yerleştirilip, bölümün yüzeyleri birkaç noktadan parankim dokuya tutunacak şekilde basılması planlanmıştır. Sonuç olarak parankim dokunun iç yüzeyinde radyoaktif maddenin rahatça dağılacığı 1-2 cm'lik boş bir aralık oluşturulmuştur.

Anatomik akciğer fantomu, 3B yazıcı ile basılacağı için yazıcı seçimi oldukça önemlidir. 3B yazıcıların baskı teknikleri, aynı anda farklı malzemeleri kullanarak baskı yapıp yapmama durumları ve kullandıkları filamentler değişiklik göstermektedir. Çalışmada tasarlanması planlanan fantom içerisinde çeşitli doku yoğunlukları vardır (akciğer yapısı ve boşluk). Her bir doku yoğunluğunun Hounsfield Unit (HU) değeri de farklı olduğu için 3 boyutlu yazıcıda kullanılacak malzemelerin HU numaralarının bilinmesi gerekir<sup>14</sup>. Literatürdeki çalışmalara göre mevcut baskı malzemelerinde her malzemenin HU numarasını belirlemek için kübik test nesnelere basılarak bir BT tarayıcıda taranması gerekmektedir. Çalışmada 3B malzeme ile üretimi planlanan akciğerin, Bilgisayarlı Tomografisi çekildiğinde yoğunluk ve HU açısından insanı simüle etmesi için uygun olan malzeme araştırılmıştır. Değerlendirmeye alınacak farklı marka ve malzemelerden üretilmiş modeller (Fillamentum Poliaktik Asit (PLA) Filament, Ultimaker PLA Tough Filament ve Ultimaker ABS Filament) ile açık kaynaklı Cura (Ultimaker, Geldermalsen, Hollanda) yazılımı kullanılarak 3B baskı işlemi için hazırlandı ve farklı 3B malzemeler kullanılarak masaüstü Fused Deposition Modeling (FDM) Ultimaker S5 3B yazıcı ile değerlendirilmek üzere basıldı.

Basılması planlanan akciğer modeli, Zbrush 3B grafik tasarım programı kullanılarak tasarlanmıştır (Şekil 1). Zbrush yazılımı, gerçek zamanlı 3B modelleme ve boyama yapabilen ve kendine özel modelleme araçları ile yüksek ayrıntılı ve gerçekçi organik modeller üretmeye imkan sağlayan bir programdır.

**Şekil 1.** Zbrush tasarım programında akciğerin dış görüntüsü

Şekil 2’de akciğerin apeksindeki vida ve conta yuvaları (1) ayrıca da akciğerdeki katmanlar net olarak görülmektedir. Kesitte yüzeyde yeşil renkle görülen parankim doku bütün modelin en dış bölümünü kaplamaktadır (2). Modelin frontal plandaki kesitinde kahverengi olarak görülen 2. katman ise radyoaktif maddenin akciğer parankim yüzeyine paralel dağılmasını sağlayacak bölümdür (3). İkinci katmanın iç bölümünü de, aralıkla herhangi bir bağlantısı olmayan hava boşluğu oluşturur (4). Akciğerin parankim yüzeyinin içinde yer alan bölümün yüzeye paralel olarak durması için çeşitli noktalardan parankim yüzeye destek ayakları konmuştur (6). Kesitin en kritik noktası ise; parankim yüzeyi ile iç bölüm yüzeyi arasında ortalama 1-2 cm genişliği olan, conta yuvalarından aktılan radyoaktif maddenin dolacağı hava boşluğundan oluşan aralıktır.(5).

**Şekil 2.** Z Brush programında akciğerin iç tasarım görüntüsü

Çalışmadaki akciğer fantomunun 3B olarak basılmasının temel amacı akciğer parankim dokusunun içerisinde içi hava dolu bir bölüm oluşturmak ve bu bölüm yüzeyi ile parankim arasındaki boşluğun conta haricinde dışarıyla herhangi bir bağlantısının olmamasının garantilenmesidir. Bunun sebebi kullanılan malzemenin radyoaktif bir malzeme olması ve çalışmanın sonuçlarının doğruluğunun tam olarak ortaya çıkarmak istenilmesidir.

### **Bulgular**

Fantom basımında akciğer parankim dokusunun HU değerleri olarak normal insan akciğer parankim doku HU değerleri kriter olarak alındı.

HU değerlendirmelerini yapmak için farklı materyallere ait kübik malzemelerin BT görüntüleri çekilerek Regio of Interest (ROI)'ler üzerinden HU değerlendirmesi yapıldı. Literatürde farklı baskı malzemelerine ait HU değerlerini benzer şekilde bulan çalışmalar verilmiştir. HU'lar, bir BT görüntüsünün gri tonlama seviyesini oluşturan bir değerdir ve görüntünün doğrusal zayıflama katsayısı aracılığıyla hesaplanabilir. Çalışmada aynı yazıcıda basılmış fakat farklı ticari markaya ait aynı 3B plastik tiplerinin de HU'ları oluşturulan test materyalleri ile değerlendirilmiştir. Baskı materyali olarak kullanılması planlanan malzemeler içerisinde PLA Ultimaker materyali, akciğerin özellikle boşluk harici yumuşak dokusu açısından baskı malzemesi olarak kullanılmaya uygun görülmüştür (PLA Fillamentum HU yaklaşık olarak 138, ABS materyali HU değeri yaklaşık olarak 400, PLA Ultimaker HU değeri yaklaşık olarak 57). 3B ortamda özgün şekliyle tasarlanan modelin basımı için Ultimaker S3 Extended 3B yazıcısı FDM tekniği kullanılarak yaklaşık 2,5 günde basılmıştır (Şekil 3).

**Şekil 3.** Akciğer fantomunun anterior (solda) ve posterior (sağda) görüntüleri



Sağ akciğer iç boşluk hacmi 500 ml, sol akciğer iç boşluk hacmi 440 ml'dir. Toplam fantom hacmi 1987 ml dir. Akciğer boyutları medial taraftan sol akciğer 20 cm, sağ akciğer 19 cm'dir. Lateralden sol akciğer 20 cm, sağ akciğer 19 cm'dir. Ön-arka sağ akciğer genişliği 13 cm, sol akciğer 11 cm'dir. Fantomun iç yapısının tıbbi görüntüleme cihazları ile görüntülenmesi mümkün olmaktadır. Akciğer parankim dokusunu taklit etmek üzere su kullanılabilir. Fantomda akciğerlerin iç boşlukları, normal insan akciğer anatomisine benzer yapıda hava ile doldurulmuştur. Fantomda

akciğer iç boşlukları ve dış parankim doku yapısı doğal akciğer yapısına benzer özellikte BT ile görüntülenmiştir (Şekil 4).

**Şekil 4.** Akciğer fantomunun bilgisayarlı tomografi görüntüleri. Sırasıyla; axial, koronal ve lateral kesit görüntüleri.



### Tartışma

Akciğer fantomunun amaçlarından biri eğitim aracı olarak kullanılmasıdır. İyi bir eğitim fantomu, gerçek hastaların tarama kazanımlarını yakından taklit edebilmelidir. Bu sebepten fantomun tasarımı sırasında makro anatomik görünüme özen gösterilmiştir. Modelin yüzey bölgelerinin, organın toraksta bulunduğu topografik bölgelere uyumlu olması sağlanmıştır. Anatomik komşulukları ve bu komşuluklarından doğan çukurlaşmalar modelde özellikle gösterilmiştir. Bunun sebebi araştırmanın daha sonraki kısımlarında, 3B basılması düşünülen komşu organların (karaciğer, kalp gibi) fantomlarıyla birebir uyum sağlamasıdır.

3B baskı teknolojisi ile birlikte bilgisayar ortamındaki dijital modeller somut nesnelere halinde üretilebilmektedir. Bu doğrultuda 3B yazıcılar ile karmaşık nesnelere dijital ortamdaki bilgisayar destekli tasarım dosyalarından (Computer Aided Design) çıkarılabilir. 3B baskı teknolojisi fiziksel nesnelere ince katmanlar halinde üretilebilmektedir. 3B yazdırma teknolojisinin mühendislik, eğitim, tıp ve sanayi gibi birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılması kullanıcılarına büyük olanaklar sağlamaktadır. Bu olanaklar, yedeklemeyi kolaylaştırma, zaman ve maliyet tasarrufu, geometrik özgürlük ve çevre dostu olarak sıralanabilir<sup>15</sup>. Tüm sektörlerde olduğu gibi sağlık sektöründe de 3B baskı teknolojisindeki yaygınlaşma öne çıkmaktadır. Hızlı prototipleme ile baskı teknolojisi sağlıkta pek çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Kişilere veya ihtiyaca özel üretim yapılabilmesi nedeniyle 'butik üretim' olarak da adlandırılabilen bu teknolojinin başlıca kullanım alanları; doku ve organ üretimi, ortez-protez-implant üretimi, cerrahi planlama ve radyolojik uygulamalar, cerrahi enstrüman üretimi, eğitim uygulamaları alanlarıdır. Bilgisayar teknolojisi ve yazılımlarda sağlanan ilerlemeler görsel materyallerin sağlık eğitimi alanında da kullanımını artırmaktadır<sup>16</sup>. Sağlık sektöründe kullanılan 3B fantomları fonksiyonel olarak ikiye ayırabiliriz; hareketsiz fantomlar ve dinamik fantomlar. Rutinde kullanılan anatomik olarak basılmış organ fantomlarının yanında dinamik fantomlar çok daha özel ve ayrıntılı ürünlerdir. Dinamik fantomlarda organın hem anatomisine hem de fizyolojisine olabildiğince benzer bir form oluşturulmaya çalışılır. Dinamik bir akciğer fantomu bu gruba örnek verilebilir. Bu üründe makro

anatomik olarak organ akciğere benzetmekle birlikte fonksiyonel olarak ta özel bir ventilasyon sistemiyle soluk alıp verme taklit edilmektedir.

Çalışmada kullanılan 3B fantom ise; fonksiyonel olarak dinamik fantomlardan farklı olup, radyonüklidlerle olan kombinasyonu üzerine tasarlanmış anatomik bir modeldir. Bu fantomun kullanılmasının temel sebebi, sağ ve sol akciğerin oldukça karmaşık bir anatomik yapıda olması ve ayrıca iç tasarımının da özgün, özel bir amaçla, mutlaka emniyetli olarak ve öğrenci eğitimine uygun tasarlanma zorunluluğudur. 3B baskının diğer avantajları ise; tasarımın ve baskının oldukça kısa bir sürede olması ve ürün maliyetinin uygun olmasıdır

İnsan vücudunu taklit eden fantomlar yıllardır tıp eğitimi ve araştırmalarda kullanılmıştır. Fantomun tasarımı sırasından hangi amaçla modelin üreteceği, ürünün yer alacağı anatomik bölge, boyutu, şekli, bileşimi, araştırmalarda kullanılacak olan materyallere olan duyarlılığı çok iyi araştırılıp o şekilde üretim yapılmalıdır. 3B modeller günümüzde oldukça popüler bir pozisyona gelmiş olup tıbbi görüntüleme ve radyasyon içeren durumlarda sıkça kullanılmaktadır.

Tasarlanan fantom ve bileşenleri tamamen düşünülen fonksiyona uyum sağlamaktadır. Akciğer radyonüklid dağılımını ölçmek ve temasını göstermek için tasarlanmış olan model, akciğer iç anatomik yapılarını gösteren bir modelden büyük ölçüde farklılıklar göstermektedir. Kullanılan modeldeki iç tasarım özellikle radyonüklidin akciğer iç aralığına güvenle dağılmasını sağlayacak formda düşünülmüştür. Kullanılan baskı materyalleri Akciğerin HU değerine uymaktadır.

3B fantomlar görüntüleme ve tedavi sistemlerinin kontrolü ve organlara olan etkilerini incelemek içinde tasarlanır. Nükleer tıpta, fantom oluşturmanın temel amacı istenilen fonksiyonun bu fantom üzerinde simülasyonunun gerçekleştirilmesidir. Bu fantomlar dozimetri ve görüntüleme fantomları olmak üzere genel olarak iki sınıfta incelenebilir. Dozimetre fantomlarının tasarlanma amacı, teşhis veya tedavide vücudun belli bir bölgesinin maruz kaldığı radyasyon oranının belirlenmesidir. Görüntüleme fantomları ise sistemler tarafından alınan görüntülerin kalitesi ve doğruluğunun değerlendirmesini amaçlar. Model üretimindeki temel amaç istenilen fonksiyonların bu model üzerinde gerçekleştirebilmektir. Özellikle radyonüklidlerin sıkça kullanıldığı sağlık fiziği ve nükleer tıp gibi bilim dallarındaki deneylerde ve eğitimde fantom kullanımı kaçınılmaz olmaktadır<sup>17</sup>. 3B baskı teknolojisi pratik ve uygun fiyatlı çözümler sunmaktadır. 3B baskı, hem kişiye özel radyofarmasötik kimya gelişimine hem de kişiselleştirilmiş kanser terapilerine izin vererek, hasta tedavisini iyileştirebilir. Tilman Lappchen ve arkadaşlarının<sup>18</sup> yaptığı çalışmada Tc-99m içeren yapı malzemelerinin hazırlanması için bir prosedür geliştirmek ve bu malzemenin çeşitli test nesnelere için 3B baskısı için başarılı bir şekilde uygulanmasını göstermek istemişlerdir. Robinson ve arkadaşları<sup>19</sup> 2 karaciğer, dalak, böbrekler (yetişkin, 5 yaş ve 10 yaş) ve pankreas oluşun fantomlar geliştirdi. Fantomların içerisine Tc-99m perteknetat ya da Lu -177 (Lutesyum - 177) Dotatate içeren salin ile doldurularak fantomların SPECT/CT görüntüleri alınmış ve 3B baskılı organlar için SPECT kalibrasyon faktörleri



belirlenmiştir. Tran-Gia, geometrilere dayalı farklı kısmi hacim tekniklerini küresel ve elipsoid ticari fantomlarla karşılaştırmak için bir böbrek fantomu geliştirmiştir<sup>20</sup>.

Tasarlanan anatomik akciğer fantomunda ise, dozimetre fantomu olup akciğerin parankim bölgesine aktarılan radyonüklidlerin çeşitli görüntüleme sistemlerinde ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Tasarımın diğer bir önemli amacı da radyonüklidin akciğer üzerine olan salınımının miktarı belirli olarak verilen doza göre görüntüsünün netleşmesi ve ölçümünün yapılabildiği sistemin çalışma şeklinin kişilere anlatılmasıdır.

Organ bazlı deneylerde ise anatomik olarak organın birebir şekillenmiş formu ve hatta organın üzerinde gerekli olan patolojilerinde oluşturulması gerekmektedir. Ek olarak hastalıklı organ fantomunun üzerine tedavi ve tedavi komplikasyonları simülasyonlarını gerçekleştirecek modellere ihtiyaç duyulabilir. Bu bütünsel özelliklerin tamamını aynı anda üzerinde bulandıran fantomların tasarlanmasında da önce bilgisayar programları sayesinde 3 boyutta çizimler yapılabildiği ve son yıllarda da 3B baskılarla çok daha verimli bir form almıştır.

## Sonuç

Çalışmada, PLA malzeme kullanılarak bir akciğer modelinin tasarlanabileceği, 3 boyutlu yazıcıda modelinin basılabileceği, bu modelin tıbbi görüntüleme cihazları ile görüntüsünün alınabileceği gösterilmiştir. Fantom yapısının ve klinik görsellerinin sağlık teknisyen ve teknikerleri ile tıp fakültesi öğrencileri için bir eğitim materyali olabileceği, bununla birlikte akciğer görüntülemeleri için araştırma materyali olabileceği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Gibson I, Rosen D, Stucker B. *Photopolymerization Processes*, Springer;2010:78-119.
2. Yıldırım G, Yıldırım S, Çelik E. 3 boyutlu yazıcılar ve öğretimsel kullanımı: Bir içerik analizi. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*. 2018;13(25):163-184.
3. Kim GB, Lee S, Kim H, et al. Three-dimensional printing: basic principles and applications in medicine and radiology. *Korean J Radiol*. 2016;17:182-97.
4. Wang K, Ho CC, Zhang C, Wang B. A review on the 3D printing of functional structures for medical phantoms and regenerated tissue and organ applications. *Engineering*. 2017;3:653-62.
5. Branham T. Phantom testing. *Medical Physics*. 2007;34(6):2578.
6. Di Francia G, Scafè R, De Vincentis G, et al. Porous silicon phantoms for high-resolution scintillation imaging. *Nuclear Inst and Methods in Physics Research, A*. 2006;569(2):197-200.

7. Walker GC, Berry E, Smye SW, Brettle DS. Materials for phantoms for terahertz pulsed imaging. *Physics in Medicine and Biology*. 2004;49(21):N363-N9.
8. SabbirAhmed ASM, Demir M, Kabasakal L, Uslu I. A dynamic renal phantom for nuclear medicine studies. *Medical Physics*. 2005;32(2):530-8.
9. Heikkinen JO. Physical phantom for renography. *Journal of Nuclear Medicine*. 2001;42(5):102P-P.
10. Als C, Bräutigam P, Mirzaei S. Sweet nuclear medicine phantoms for scintigraphic sentinel lymph node detection: A cooking recipe. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2018;32(5):623.
11. Park MA, Zimmerman RE, Taberner A, Kaye MW, Moore SC. Design and fabrication of phantoms using stereolithography for small- animal imaging systems. *Molecular Imaging and Biology*. 2008;10(5):231- 6.
12. Sezer H, Şahin H. 3D baskı materyalinin eğitimde kullanımı: Qua vadis? *Tıp Eğitimi Dünyası*. 2016;15(46):8-9.
13. Halloran AM. Dosimetric Advantages of Personalized Phantoms. [master thesis]. Louisiana. ABD: Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, The Department of Physics and Astronomy; 2015.
14. Solc J, Vrba T, Burianova L. Tissue-equivalence of 3D-printed plastics for medical phantoms in radiology. *Journal of Instrumentation*. 2018;13:P09018. doi:10.1088/1748-0221/13/09/P09018.
15. Demir EBK, Çaka C, Tuğtekin U, et al. Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanımı: Türkiye'deki uygulamalar. *Ege Eğitim Dergisi*. 2016;2(17):481-503.
16. Emre Ş, Yolcu MB, Celayir S. Üç boyutlu yazıcılar ve çocuk cerrahisi. *Çocuk Cerrahi Dergisi*. 2015;29(3):77-82.
17. Özdemir M. Ultrasonografi eğitimi için balistik jelatin esash fantom geliştirilmesi ve özelliklerinin araştırılması. [yüksek lisans tezi]. Ankara. Türkiye: Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü; 2018.
18. Läppchen T, Meier LP, Fürstner M, et al. 3D printing of radioactive phantoms for nuclear medicine imaging. *EJNMMI Phys*. 2020;7(1):22. doi:10.1186/s40658-020-00292-0.
19. Robinson AP, Tipping J, Cullen DM, et al. Organ specific SPECT activity calibration using 3D printed phantoms for molecular radiotherapy dosimetry. *EJNMMI Phys*. 2016;3:12–22.

20. Tran-Gia J, Schlögl S, Lassmann M. Design and fabrication of kidney phantoms for internal radiation dosimetry using 3d printing technology. *J Nucl Med.* 2016;57(12):1998–2005.