

# Üç boyutlu yazıcı ve hidrojel kullanarak düşük maliyetli çocuk cerrahisi ve çocuk ürolojisi simülasyon modelleri üretimi: Ön çalışma

## Constructing low-cost simulation models in pediatric surgery and pediatric urology using 3D printing and hydrogel: Preliminary study

Sinem Seleme Övünç<sup>1</sup>®, Musa Batuhan Yolcu<sup>1</sup>®, Şenol Emre<sup>1</sup>®, Emil Mammadov<sup>2</sup>®, Sinan Celayir<sup>1</sup> ®

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İngilizce Tıp Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Çocuk Cerrahisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

<sup>4</sup>Yakın Doğu Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Cerrahisi Anabilim Dalı, Nikos, Kıbrıs

### ÖZ

**Amaç:** Gerek öğrenci, gerekse çocuk cerrahisi ve çocuk ürolojisi asistan uygulamalı eğitimlerinde ince motor becerilerin geliştirilmesi ve sürdürülmesi için cerrahi eğitim simülasyonlarının kullanımı gittikçe önem kazanmakta ve yaygınlaşmaktadır. Buna karşın bu uygulama-simülasyon modellerindeki kişiselleştirilmiş olmama, yüksek maliyet, anatomiye ve doku karakteristiğini yansıtamama problemlerinin yeni çalışmalarla aşılması gerekmektedir. Bu çalışmada öğrenci ve asistan eğitimi için (çocuk cerrahisi ve çocuk ürolojisi) kullanılacak düşük maliyetli uygulama-simülasyon modellerinin masaüstü üç boyutlu yazıcı ve polivinil alkol (PVA) yardımıyla üretimini amaçladık.

**Gereç ve Yöntem:** Bu çalışma kapsamında Çocuk Cerrahisi ve Çocuk Ürolojisinde sık karşılaşılan sorunlar olan böbrek kaynaklı kitleler ile üriner sistem taş hastalığı sanal modelleri 3Ds MAX yazılımı kullanılarak oluşturuldu. Sanal modeller Fusion 360 yazılımında kalıpları tasarlamak için referans geometri olarak kullanıldı. Ters geometri oluşturulduktan sonra solüsyon dolum kanalları vb. destekleyici tasarım özellikleri Boolean operatörleri kullanılarak kalıplara eklendi. Tasarlanan kalıplar Ultimaker 2+ 3 boyutlu yazıcı ile yazdırıldı. %20'lik PVA solüsyonu hazırlandı ve 3 boyutlu olarak yazdırılan kalıplara enjekte edildi. PVA molekülleri arasında hidrojen bağı kurularak doku benzeri jel halini alması için beş adet donma/çözme döngüsü tüm kalıba uygulandı. Modeller kalıplardan çıkarıldı.

**Bulgular:** Bu çalışma kapsamında böbrek ve mesane modelleri üretildi.

**Sonuç:** Bu çalışmada anatomik olarak doğru, gerçekçi doku kalitesine sahip, senaryoya özel ve düşük maliyetli modellerin nasıl oluşturulabileceğini gösterdik. Bu modellerin asistan ve öğrenci eğitiminde kullanımının yararlılığı ileriki çalışmalarda ayrıca değerlendirilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Simülasyon, 3 boyutlu yazıcı, polivinil alkol, çocuk cerrahisi, çocuk ürolojisi, eğitim

### ABSTRACT

**Objective:** Using surgical education simulations to develop and maintain fine motor skills becomes gradually more important and prevalent in hands-on-training of both students and surgery/urology residents. However, these simulation-training models should overcome problems of individualized design, high cost, and inability to reflect accurate anatomy and tissue characteristics, by means of new research studies. In this study, we aimed to construct affordable training-simulation models for student-resident training in pediatric surgery and urology using a 3D printer and polyvinyl alcohol (PVA).

**Material and Methods:** In this study virtual models of the renal mass lesions and urinary system stone disease that are frequently encountered problems in pediatric surgery and urology using 3Ds MAX software (Autodesk, San Rafael, CA). Virtual models were used as reference geometry to design molds in Fusion 360 software (Autodesk, San Rafael, CA). After inverse geometries of the virtual models were constructed, supportive I features such as inlet and outlet pipes were added to the mold using Boolean operations. Generated molds were printed using Ultimaker 2+ 3D printer (Ultimaker B.V, Geldermalsen, The Netherlands). The %20 w/v solution of the PVA was prepared and injected between the 3D-printed molds. Five freeze-thaw cycles were subsequently administered to the entire molds to allow the PVA molecules to create hydrogen bonds that lead to forming the tissue-mimicking gel. The training-simulation models were removed from the molds.

**Results:** In this study, the kidney and urinary bladder models were produced.

**Conclusions:** In this preliminary study, we demonstrated how to construct anatomically correct, low-cost, procedure-specific models that mimic the original properties of living tissues. The utility of the models in student and resident education will be evaluated in future studies.

**Keywords:** simulation, 3D printers, polyvinyl alcohol, pediatric surgery, pediatric urology, training

Alındığı tarih: 27.03.2019

Kabul tarihi: 12.04.2019

Yayın tarihi: 30.04.2019

Atf vermek için: Övünç SS, Yolcu MB, Emre S, Mammadov E, Celayir S. Üç boyutlu yazıcı ve hidrojel kullanarak düşük maliyetli çocuk cerrahisi ve çocuk ürolojisi simülasyon modelleri üretimi: Ön çalışma. Çoc. Cer. Derg. 2019;33(1):24-30.

Sinem Seleme Övünç  
Cerrahpaşa Tıp Fakültesi,  
Çocuk Cerrahisi Anabilim Dalı  
Sekreterliği, 34301, Cerrahpaşa,  
Fatih, İstanbul, Türkiye  
✉ sinemovunc@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-3125-3145

### ORCID Kayıtları

M.B. Yolcu 0000-0003-3904-8151  
Ş. Emre 0000-0001-9526-7151  
E. Mammadov 0000-0001-8143-1643  
S. Celayir 0000-0002-6737-0570

## Giriş

Cerrahi uzmanlık akademik derinlik, deneyim, yüksek motor becerilerin kazanılması ve sürdürülmesini gerektirmektedir. Bu kazanımların elde edilmesi için ilk yerin sıklıkla ameliyathane olması, çoğu merkezde vaka sayısı ve çeşitliliğinin kısıtlı olması, cerrahide standartların yükselmesi ve yüksek hizmet kalitesi beklentisi ameliyathane dışında etkili bir uygulamalı eğitimi zorunlu kılmaktadır <sup>(1)</sup>. Uygulamalı eğitimde kalitenin artırılması için cerrahi eğitim simülatörlerinin kullanımı önem kazanmakta ve gittikçe yaygınlaşmaktadır <sup>(2-4)</sup>. Sanal gerçeklik (VR), kadavra, hayvan, cerrahi eldiven hatta çocuk balonu kullanılarak hazırlanan ya da dışardan temin edilen çeşitli simülasyon modelleri olmakla birlikte uygulamada etik kurul izni, enfeksiyon riski, özelleşmiş laboratuvar ve malzeme gerekliliği, teknoloji alt yapısı eksikliği, istenilen kazanımları sağlamada yetersiz kalma, yüksek maliyet gibi kısıtlamalarla karşılaşmaktadır <sup>(5-11)</sup>. Çocuk cerrahisinin ve çocuk ürolojisinin geniş spektrumlu hasta profili dikkate alındığında tek bir anatomik görüntüye, yaş grubuna ya da senaryoya bağlı modeller yeterli olmamakta hastaya özel senaryoya özel başka bir deyişle kişiselleştirilmiş simülasyon modellerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada 3 boyutlu yazıcılar etkili bir çözüm sunmaktadır. Gelişen teknolojilerle birlikte 3 boyutlu yazıcıların kullanım alanları cerrahi malzeme, tasarım ilaç, öğrenci/asistan eğitimine ya da preoperatif planlamaya yönelik model, protez, implant üretimi şeklinde örneklendirilebilir <sup>(11)</sup>. 3 boyutlu yazıcıların indikasyonlarının çeşitliliği hızlı, düşük maliyetli ve hastaya özel-senaryoya özel üretim yapılabilmesine atfedilebilir. Bu çalışmamızda masaüstü 3 boyutlu yazıcı ve polivinil alkol kullanarak böbrek ve mesane uygulama-simülasyon modeli geliştirmeyi amaçladık.

## Gereç ve Yöntem

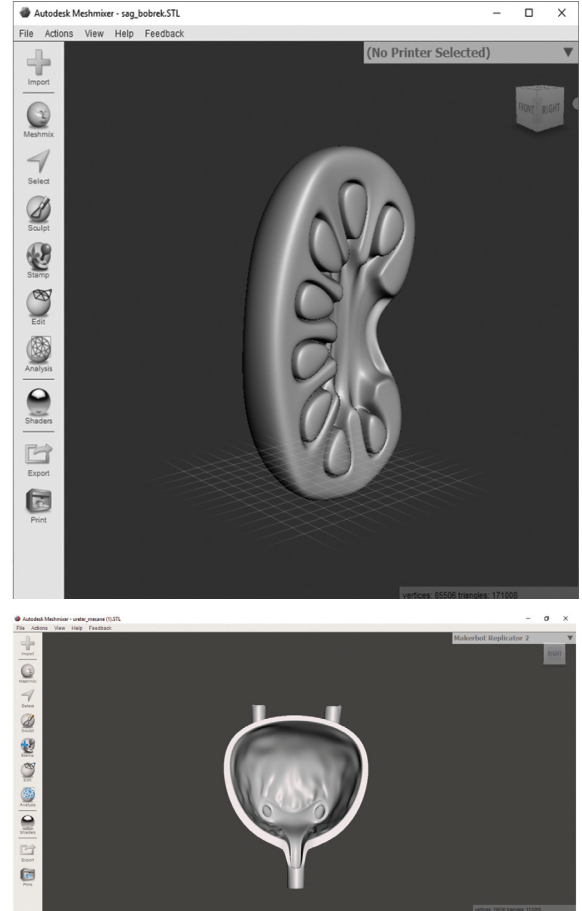
### I. Sanal Model Oluşturulması

Çocuk Cerrahisi ve Çocuk Ürolojisinde sık karşılaşılan sorunlar olan böbrek kaynaklı kitleler ile üriner sistem taş hastalığı modellerinin üç boyutlu modelleri oluşturuldu.

### 3 Boyutlu (3D) tasarım temelli sanal model oluşturulması:

3 boyutlu modelleme iki boyutlu çizimler, radyolo-

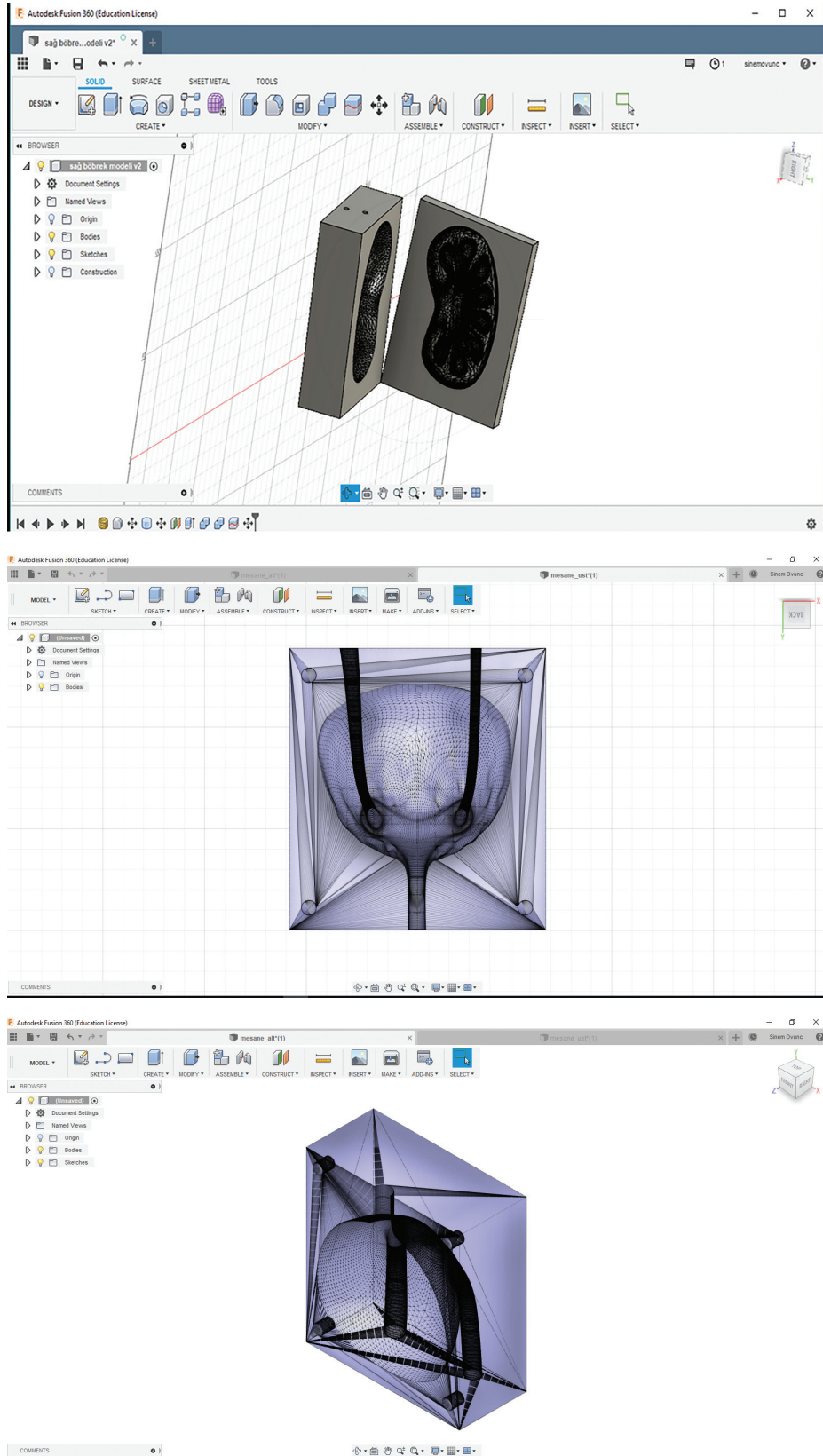
jik görüntülemeler ve cerrahi tecrübeyle elde edilen veriler ışığında gerçek anatomik özelliklerine uygun olarak bilgisayar ortamında Autodesk 3DsMAX (Autodesk, San Rafael,CA) programı kullanılarak yapıldı. Elde edilen üç boyutlu modeller .stl formatında dışarı aktarıldı (Figür 1).



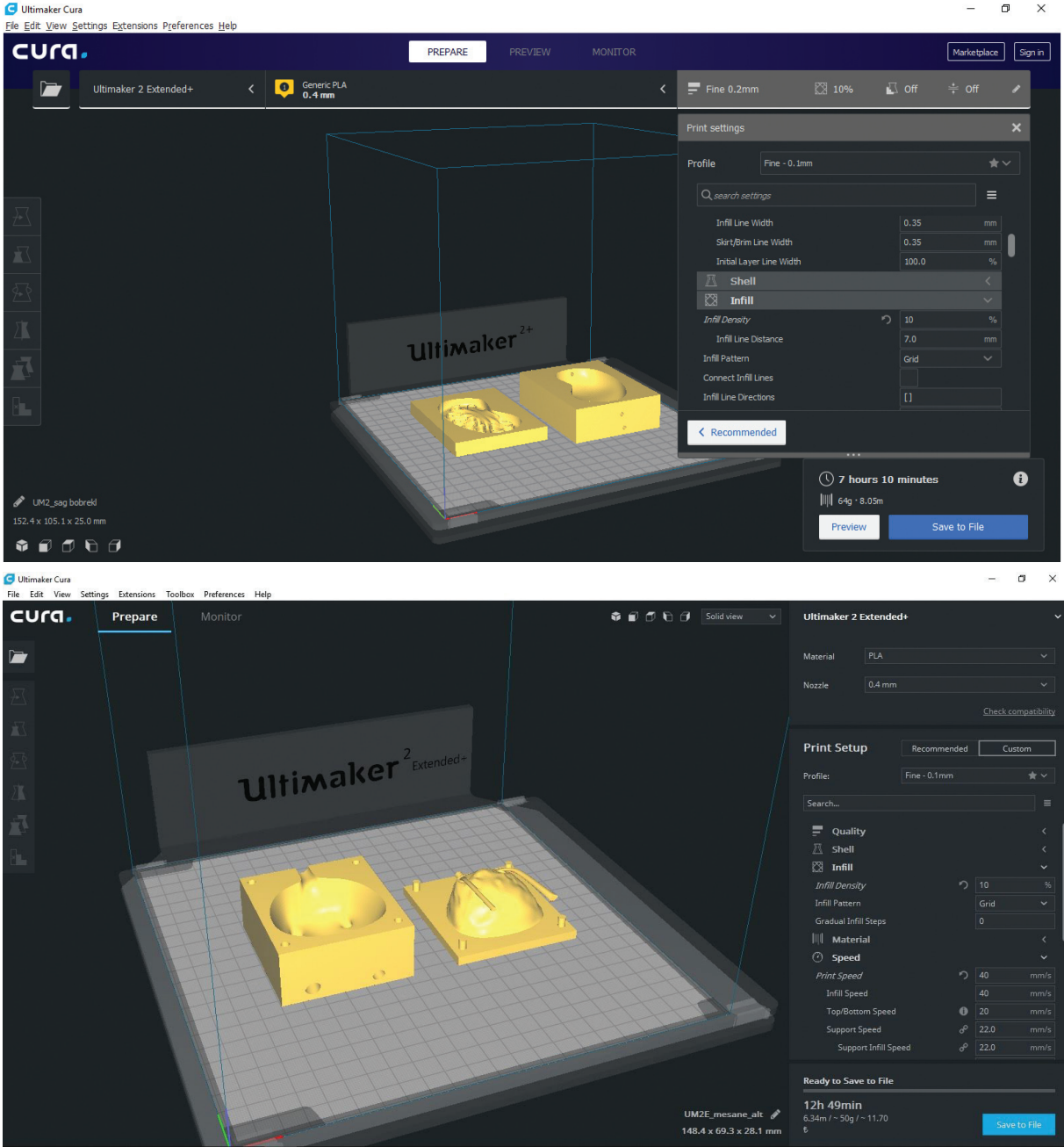
Figür 1. Bilgisayar yazılımları yardımıyla iki boyutlu çizimler, cerrahi tecrübeyle elde edilen veriler referans alınarak böbrek (A) ve mesane (B) üç boyutlu olarak modellendi.

## II. Kalıp Tasarım ve Fabrikasyonu

Mesane ve böbrek sanal modelleri .stl formatında Fusion 360 (Autodesk, San Rafael,CA) yazılımına aktarıldı. Direk edit etme modunu aktifleştirmek için "Create Base Feature" çalışma alanı seçildi. stl formatında içe aktardığımız sanal modeller karakterine istinaden yazılımda ağ yapılı hacim (mesh body) şeklinde adlandırılır. Kalıp tasarımında ana gövde ve eklerle işlenebilmesi için katı hacim formunda olması gerekir. Ağ yapılı hacim formunda olan mesane ve böbrek sanal modelleri "Mesh to B-Rep" çevrim ara-



**Figür 2.** Bilgisayar yazılımları yardımıyla böbrek (A) ve mesane (B-C) sanal modellerinin ters geometrileri alınarak kalıp sanal modelleri elde edildi ve .stl formatında dışa aktarıldı.

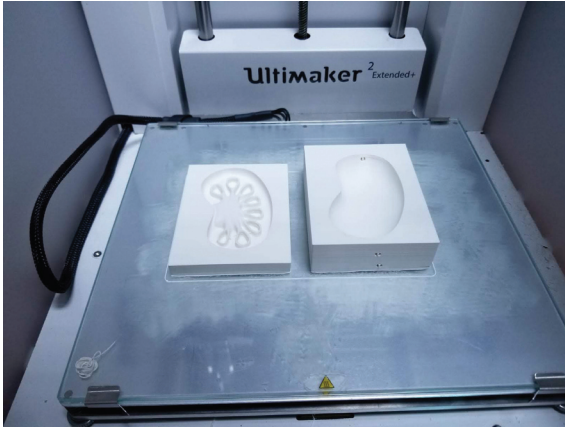


Figür 3. Böbrek (A) ve mesane (B) kalıp sanal modelleri 3 boyutlu yazıcıya özgü yazılım kullanılarak dilimlendi, yazıma hazırlandı ve .gcode formatında dışa aktarıldı.

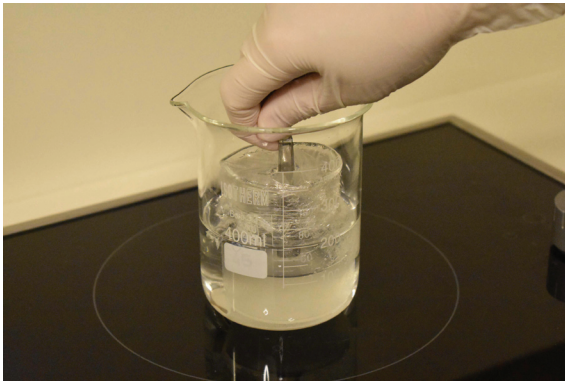
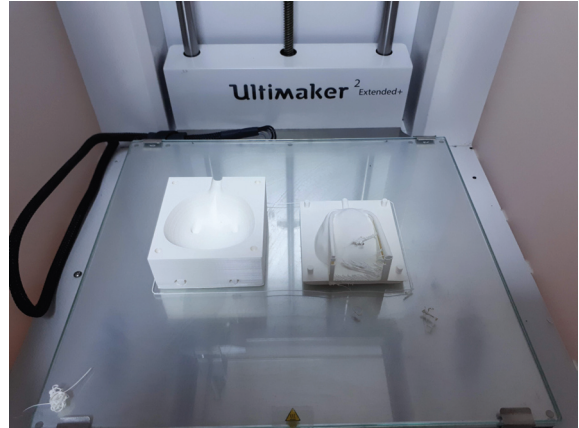
cı kullanılarak katı hacim formuna dönüştürüldü. Jel enjeksiyonunu sağlamak ve enjeksiyon sırasında jelin en ince ayrıntılara kadar nüfuz ettiğinden emin olmak için giriş ve çıkış kanalları çizildi. Çizimler katı boru (solid pipes) ekle özelliği kullanılarak üç boyutlu hale getirildi. Giriş ve çıkış kanalları çatı aracı (loft tool) kullanılarak birleştirildi. Kalıp ana gövdesini oluşturmak üzere önceki adımlarda elde edilen geometriler dikkate alınarak kutu tasarlandı. Mesane ve böbrek

modellerinin Boolean operatörleri kullanılarak ters geometrisi elde edildi. Çalışma ortamı "Patch Environment" olarak değiştirildi. Son adımda böbrek ve mesane simülasyon modellerinin kalıptan ayrılmasını kolaylaştırmak için organ aksisleri referans alınarak çizim yapıldı. Yapılan çizimin uzatılmasıyla elde edilen düzlem kalıp gövdesini ayırmak için araç olarak kullanıldı. Tamamlanan kalıp modeli .stl formatında Ultimaker Cura (Ultimaker B.V, Geldermalsen, The





Figür 4. Böbrek (A) ve mesane (B) kalıpları üç boyutlu yazdırıldı.



Figür 5. Polivinil alkol çözeltisi hazırlandı. Isı iletiminin düzenli olması ve süreç boyunca sıcaklığın 100°C'ı geçmemesi için su banyosu kullanıldı.

Netherlands) yazılımına aktarıldı (Figür 2). Baskı için konumlandırma ve baskının kalitesini etkileyen ayarlar yapıldı. Dilimleme işlemi yapılarak .gcode uzantılı 3 boyutlu yazıcıya baskıya hazır duruma gelen dosya kaydedildi ve yazıcıya aktarıldı. Mesane ve böbrek kalıpları Ultimaker 2+ (Ultimaker B.V, Geldermalsen, The Netherlands) 3 boyutlu yazıcı ile polylaktik asit filament kullanılarak yazdırıldı (Figür 3, figür 4).

### III. Polivinil alkol entegrasyonu

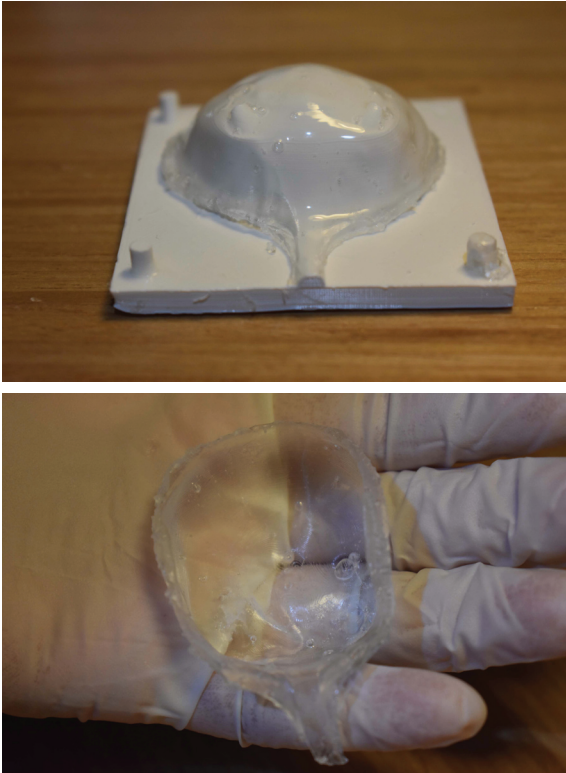
%20'lik polivinil alkol (PVA) çözeltisi hazırlandı (Figür 5). PVA hammaddesi çeşitli sağlayıcılarda 30-60 TL/kg olmakla birlikte böbrek modeli için 7.8 g; mesane modeli için 1.6 g PVA hammaddesi gerekmektedir. Böbrek ve mesane kalıplarının parçaları enjeksiyon süresince sızdırmaması, simülasyon modelleri ayrıldıktan sonra tekrar kullanılabilir olması için silikon kullanılarak birleştirildi. PVA çözeltisi çıkış kanalından



Figür 6. Böbrek uygulama-simülasyon modeli 3 boyutlu yazıcı ve polivinil alkol kullanılarak elde edildi. A) Anterior görünüm B) Anteromedial görünüm.

2. Kalıbı buzdolabında 4°C'ta 24 saat bekleterek çözülmesi.

Böbrek ve mesane modelleri kalıplardan çıkarıldı (Figür 6, Figür 7).



Figür 7. Mesane uygulama-simülasyon modeli 3 boyutlu yazıcı ve polivinil alkol kullanılarak elde edildi. Mesane modeli iç kalıptan ayrılmadan önce (A) ve sonra (B) fotoğraflandı.

## Bulgular

Bu çalışma kapsamında bilgisayar ortamında 3 boyutlu tasarım programı ile tasarlanan mesane ve böbrek modellerinin üretimi gerçekleştirildi. PVA yapıda üretilen böbrek modeli için 39 ml, mesane modeli için 8ml çözelti harcandı. Kalıp için harcanan filament maliyeti modele göre çeşitlilik göstermekle birlikte model başı 4-5 USD idi. PVA'dan üretilen nihai modelin maliyeti ise 5 TL'den az olmaktadır. Düşük maliyet nedeniyle herhangi bir dış finansman kaynağı ihtiyacı olmamıştır.

## Tartışma

Bu çalışmada çocuk cerrahisi ve ürolojisi asistan/öğrenci eğitiminde, preoperatif planlamada kullanılacak anatomik olarak doğru, senaryoya özel, haptik geribildirimi ve karakteristiği mesane ve böbrek canlı dokularıyla uyumlu uygulama-simülasyon modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kalıp kullanılması yeni bir üretim anlayışı olmamakla birlikte masaüstü üç boyutlu yazıcıların entegrasyonu fabrikasyon mo-

dellerin aksine düşük maliyetli, zamandan kazançlı ve kişiselleştirilmiş uygulama-simülasyon modelleri üretimine olanak sağlamıştır. Öte yandan, göreceli yüksek maliyet, yaygınlığının azlığı, multidisipliner uzmanlaşma/çalışma gerekliliği ve transplantasyona yönelik ürün geliştirilmesine ağırlık verilmesi gibi nedenlerden dolayı biyoyazım konseptini hariç tutarsak, teknolojiye gelişmelere rağmen 3 boyutlu yazıcıların canlı doku karakteristiğinde baskı yapmakta yetersiz kaldığını görmekteyiz<sup>(11-13)</sup>. Literatüre baktığımızda çeşitli branşlarda PVA'nın doku karakteristiği sağlamada etkili bir çözüm olduğu gösterilmekle birlikte çocuk cerrahisi ve ürolojisi uygulama-simülasyon modeli geliştirilmesinde kullanımıyla ilgili yayın bulunmamaktadır<sup>(14-16)</sup>. Çalışmamız çocuk cerrahisi ve ürolojisi alanında kesilebilir, dikiş atılabilir, endoskop gibi cerrahi araçlarla kullanılabilir doku karakteristiğinde uygulama-simülasyon olmasıyla bir ilktir.

Ön çalışma niteliği taşıyan mesane ve böbrek uygulama-simülasyon modellerimiz tek derişimli ve sınırlı sayıda üretilmiş olmakla birlikte ileriki çalışmalarımızda kullanılan sanal modeller ve materyal karakteristiğini etkileyen derişim, dondurma/çözdürme çevrim sayısı gibi faktörler değiştirilerek hastaya ve senaryoya göre çeşitlendirilecektir. Modellerin emsallerine göre düşük maliyetli olması daha fazla senaryo ve farklı boyutlarda üretim imkanı sağlayacaktır<sup>(17)</sup>.

Böbrek ve mesane modellerinin anatomik ve haptik olarak doğruluğu, doku karakteristiği, öğrenci ve asistan eğitimindeki yeri, klinik uygulamadaki potansiyeli uzman çocuk cerrah ve ürologları tarafından değerlendirilmiş olmakla birlikte subjektif görüşlere dayanmaktadır. Mekanik testler ve öğrenci/asistan anketlerine dayanan istatistiksel sonuçlar için üst çalışma gereklidir. Hasta radyolojik verilerinin segmentasyonu ve rekonstrüksiyonu ile elde edilen sanal modeller bu çalışmada kullandığımız metoda entegre edilerek hastaya özgü kişiselleştirilmiş modeller ileriki çalışmalarımızda oluşturulacaktır.

## Sonuç

Bu çalışma sonucunda hem anatomik hem de haptik olarak doğru, gerçekçi doku kalitesine sahip, senaryoya özel, düşük maliyetli, kolay üretilebilir modellerin oluşturulabileceği bir ön çalışma ile gösterilmiştir.

Ürettiğimiz uygulama-simülasyon modellerinin ilerki yıllarda daha da geliştirilerek asistan/öğrenci eğitiminde ve preoperatif planlamada yararlı olacağını düşünüyoruz.

**Etik Kurul Onayı:** Bu çalışmada etik kurul onayı gerekmemektedir.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar bu çalışma için çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

**Finansal Destek:** Çalışmada kullanılan ekipman İstanbul Üniversitesi BAP projesi kapsamında temin edilmiştir.

**Hasta Onamı:** Gerekmiyor.

### Kaynaklar

- Cunningham AJ, Stephens CQ, Ameh EA, Mshelbwala P, Nwomeh B, Krishnaswami S. Ethics in Global Pediatric Surgery : Existing Dilemmas and Emerging Challenges. *World J Surg.* 2019. <https://doi.org/10.1007/s00268-019-04975-3>
- Cook DA, Brydges R, Hamstra SJ, et al. Comparative Effectiveness of Technology-Enhanced Simulation Versus Other Instructional Methods. 2012. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3182614f95>
- Barsness K. Simulation-Based Education and Performance Assessments for Pediatric Surgeons. 2014:303-7.
- Adnan E, Aydın A, Desai A, Dasgupta P, Ahmed K. Current status of simulation-based training in pediatric surgery : A systematic review. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2018.11.019>
- Ateş O, Hakgüder G, Olguner M, Akgür F M, Aktuğ T. Çocuk cerrahisi eğitiminde özgün maketler ile mesleki beceri kazandırılması (Model simulated education in pediatric surgery to achieve clinical skills training) *Çocuk Cerrahisi Dergisi.* 2002;16(1):5-11.
- Erickson SS. A model for teaching newborn circumcision. *Obstet Gynecol.* 1999;93(5, Part 1):783-4. <https://doi.org/10.1097/00006250-199905000-00030>
- Soltani T, Hidas G, Kelly MS, et al. Endoscopic correction of vesicoureteral reflux simulator curriculum as an effective teaching tool: Pilot study. *J Pediatr Urol.* 2016;12. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2015.06.017>
- Rod J, Marret J-B, Kohaut J, et al. Low-Cost Training Simulator for Open Dismembered Pyeloplasty: Development and Face Validation. *J Surg Educ.* 2018;75. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.06.010>
- Sirimanna P, Gladman MA. Development of a proficiency-based virtual reality simulation training curriculum for laparoscopic appendectomy. *ANZ J Surg.* 2017;87(10):760-6. <https://doi.org/10.1111/ans.14135>
- McClelland TJ, Ford K, Dagash H, Lander A, Lakhoo K. Low-fidelity Paediatric Surgical Simulation: Description of Models in Low-Resource Settings. *World J Surg.* January 2019:1-5. <https://doi.org/10.1007/s00268-019-04921-3>
- Baskaran V, Štrkalj G, Štrkalj M, Di Ieva A. Current Applications and Future Perspectives of the Use of 3D Printing in Anatomical Training and Neurosurgery. *Front Neuroanat.* 2016;10:69. <https://doi.org/10.3389/fnana.2016.00069>
- Trimmer B, Lewis JA, Shepherd RF, Lipson H, F. S, LipsonHod. 3D Printing Soft Materials: What Is Possible? *Soft Robot.* 2015;2. <https://doi.org/10.1089/soro.2015.1502>
- Gao G, Huang Y, Schilling AF, Hubbell K, Cui X. Organ Bioprinting: Are We There Yet? *Adv Healthc Mater.* 2018;7(1):1701018. <https://doi.org/10.1002/adhm.201701018>
- Aljohani W, Ullah MW, Zhang X, Yang G. Bioprinting and its applications in tissue engineering and regenerative medicine. *Int J Biol Macromol.* 2018;107(Pt A):261-75. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.171>
- Morikawa T, Yamashita M, Odaka M, et al. A step-by-step development of real-size chest model for simulation of thoracoscopic surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2017;25(2):173-6. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivx110>
- Ghazi A, Campbell T, Melnyk R, et al. Validation of a Full-Immersion Simulation Platform for Percutaneous Nephrolithotomy Using Three-Dimensional Printing Technology. *J Endourol.* 2017;31. <https://doi.org/10.1089/end.2017.0366>
- Ovunc SS, Chae R, BS, Winkler E, Abila AA, Rubio RR. Constructing an Individualized Middle Cerebral Artery Model Using 3D Printing and Hydrogel for Bypass Training. Poster presented at: AANS/CNS Cerebrovascular Section 2019 Annual Meeting; 2019 Feb 4-5; Honolulu, HI.
- Youssef RF, Spradling K, Yoon R, Dolan B, Chamberlin J, Okhunov Z, Clayman R, Landman J. Applications of three-dimensional printing technology in urological practice. *BJU Int.* 2015 Nov;116(5):697-702. <https://doi.org/10.1111/bju.13183>