



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



ÜÇ BOYUTLU BASKI KAFATASI MODELLERİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI ANATOMİK ÇALIŞMALAR

Orçun GÜVENER

**VETERİNERLİK ANATOMİSİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Çağdaş OTO**

ANKARA (2021)

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜÇ BOYUTLU BASKI KAFATASI MODELLERİ
ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI ANATOMİK
ÇALIŞMALAR**

Orçun GÜVENER

**VETERİNERLİK ANATOMİSİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Çağdaş OTO**

ANKARA (2021)

Ankara Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Üç Boyutlu Baskı Kafatası Modelleri Üzerine Karşılaştırmalı Anatomik Çalışmalar” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Orçun GÜVENER

Tarih: 06.09.2021

İmza:

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Veteriner Fakültesi Veterinerlik Anatomisi Anabilim Dalında
Orçun GÜVENER tarafından hazırlanan
“Üç Boyutlu Baskı Kafatası Modelleri Üzerine Karşılaştırmalı Anatomik
Çalışmalar” adlı tez çalışması
aşağıdaki jüri tarafından YÜKSEK LİSANS olarak OY BİRLİĞİ ile
kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 6 Eylül 2021

İmza
Prof. Dr. Çağdaş OTO
Jüri Başkanı

İmza
Doç. Dr. Okan EKİM
Raportör

İmza
Dr. Öğr. Üyesi Remzi Orkun AKGÜN
Üye

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri
Enstitüsü Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

İmza
Prof. Dr. Fügen AKTAN
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
İçindekiler	iv
Önsöz	vi
Simge ve Kısaltmalar	vii
Şekiller	viii
Çizelgeler	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	2
1.1.1. 3d Yazıcı Tipleri	3
1.1.2. Medikal Üretimde Kullanılan Sarf Malzemeler	5
2. GEREÇ VE YÖNTEM	7
2.1. Verilerin Elde Edilmesi	7
2.2. Kullanılan Programlar	7
2.2.1. Hacimsel Modelleme İşlemi	8
2.2.1.1. Thresholding Özelliği ile Kemik Yüzey Tanımlama	9
2.2.1.2. Boyama ve Silme İşlemi	11
2.2.2. Yüzey Modelleme İşlemi	13
2.2.3.1. Model Dilimleme İşlemi	16
2.2.3.2. Baskı ve Temizlik İşlemleri	18

3. BULGULAR	24
4. TARTIŞMA	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	36
ÖZET	37
SUMMMARY	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	42



ÖNSÖZ

Veteriner hekimlik eğitiminin temel disiplinlerinden biri olan anatomi branşı, basılı materyal kullanımının yanı sıra öğrencilerin daha etkin ve kalıcı biçimde öğrenmesini sağlayıcı, gerçek anatomik materyale de ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaca yönelik olarak, fakültelerde eğitimi verilen tüm hayvan türleriyle ilgili kemikler ve iç organ yapılarının, kadavradan elde edilmiş modelleri kullanılmaktadır. Ancak gerçek dokuya ulaşma ve etkin kullanımla ilgili zorluklar neticesinde, toplam çeşitlilik ve materyal sayısı ile ilgili sürekli yenilenmesi kolay olmayan, nispeten sınırlı bir mevcudiyet söz konusudur.

İncelemekte olduğunuz bu çalışmada, mevcut duruma kolaylık sağlayabileceği düşünülerek, son yılların prototipleme ve üretimde sıkça kullanılan teknolojisi olan üç boyutlu yazıcılar ile elde edilecek replika anatomik modellerin, anatomik açıdan “eğitim materyali olarak kullanımına yönelik uygunluğunun” incelenmesi amaçlanmıştır.

Tez sürecimdeki önemli katkılarından dolayı Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Anatomi Ana Bilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. R. Merih HAZIROĞLU’na şükranlarımı sunarım. Tezimin tüm fikir ve çalışma safhalarında, uzmanlığı ve desteğiyle bana yol gösteren çok değerli danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Çağdaş OTO’ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca ana bilim dalımızın tüm öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerine, göstermiş oldukları destek ve anlayıştan ötürü, saygı ve sevgilerimi sunarım.

SİMGELER VE KISALTMALAR

BT	Bilgisayarlı tomografi
Cm ³	Santimetre küp
DICOM	Digital interface computing
FDM	Fused deposition modelling
Gr	Gram
H	Saat
Mm	Milimetre
Min	Dakika
SLA – DLP	Stereolithography – Dijital light processing
SLS – OBJET	Selective laser sintering – Objet jetting
PLA	Polylactic acid polylactide
PETG	Polyethylene terephthalate glycol
Pre-post	Öncesi ve sonrası
TPU	Thermoplastic polyurethane

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Dijitalden gerçeğe baskı teknolojisi	3
Şekil 1.2. Katmanlı üretim tekniği	3
Şekil 1.3. Fdm yazıcı tipleri ve çalışma prensibi	4
Şekil 1.4. Sla vs dlp yazıcılar	4
Şekil 1.5. Sls vs objet tipi yazıcılar	5
Şekil 1.6. Pla'dan basılmış anatomik model (A-B)	6
Şekil 2.1. 3d slicer programı açılış ekranı	9
Şekil 2.2. Thresholding değeri belirleme	10
Şekil 2.3. Ön modelleme için kemik içi renk dolgusu	10
Şekil 2.4. Doldurma ve boyama işlemleri	11
Şekil 2.5. Üç boyutlu model üzerinde onarım (delik kapatma)	12
Şekil 2.6. Slicer programı üç boyut ekranı (domuz örneği)	12
Şekil 2.7. Eksenler ve dijital model oluşturma aşamaları	12
Şekil 2.8. Sığır, at ve domuz modeli	13
Şekil 2.9. Kedi, koyun ve köpek modeli	13

Şekil 2.10. Meshmixer programı görseli (köpek tam ve yarım model)	14
Şekil 2.11. Destek yerleştirme işlemi	14
Şekil 2.12. 3d Slicer çıktısı üzerinde kesici diş düzeltme işlemi	15
Şekil 2.13. Yüzey yumuşatma işlemi (köpek)	15
Şekil 2.14. Anatomik düzeltme işlemi (koyun processus paracondylaris)	15
Şekil 2.15. Model ölçeklendirme, kaydırma ve çevirme fonksiyonu	17
Şekil 2.16. Cura programı baskı ön izlemesi ve kayıt (kedi modeli)	17
Şekil 2.17. Kullanılan 3d yazıcılar – predator delta ve i3 mega	18
Şekil 2.18. Sığır modeli basım süreci – iç anatomik yapı kesit görüntüleri	19
Şekil 2.19. Baskısı tamamlanmış kedi modeli (i3 mega yazıcı)	19
Şekil 2.20. Destek elemanının sökölme işlemi	20
Şekil2.21. Basılan sagittal kesit örnekler (koyun ve köpek)	20
Şekil2.22. Kedi ve köpek modeli	21
Şekil 2.23. Domuz ve koyun modeli	22
Şekil 2.24. At ve sığır modeli	23
Şekil 3.1. Kadavra ve replika model’e örnek (domuz)	24
Şekil 3.2. Sagittal hat karşılaştırma (A-B)	26
Şekil 3.3. Diş kayıpları (köpek)	28

Şekil 3.4. Anatomik boşluklar (koyun)(A-B-C)	29
Şekil 3.5. Dış yüzeyde oluşan basamak deseni (A)	30
Şekil 3.6. Koyun foramen supraorbitalis karşılaştırması (A-B)	31
Şekil 3.7. Sığır örneği	32
Şekil 3.8. Sarkma yapan noktalar kadavra karşılaştırması (A-B)	32
Şekil 4.1. Basım sırasında oluşan bozulmalar (A-B)	34
Şekil 4.2. Literatürde yer alan bir model kadavra karşılaştırması	34
Şekil 4.3. Köpeğe ait mandibula: kadavra ve replikası	35

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1. Üretimde seçilen ekipman ve kriterler	16
Çizelge 2.1. Basımda kullanılan yazıcıların teknik özellikleri	18
Çizelge 3.1. Modeller ile kadavraların ağırlık karşılaştırması	24
Çizelge 3.2. Modellerin baskı süreleri ve ölçekleri (boyutlar – santimetreküp)	25
Çizelge 3.3. Çeşitli referans noktalarından alınan ölçümler (milimetre)	25
Çizelge 4.1. Bir literatür çalışmasında sonuçlar	33
Çizelge 4.2. Literatür çalışmasına ait baskı süreleri ve model ağırlığı	35

1. GİRİŞ

Üç boyutlu yazıcılar günümüzde tıp alanında yaygın şekilde kullanılmaya başlanmış ileri bir teknolojidir. Anatomik yapıların birebir ya da ölçekli modellerinin hızlı bir şekilde fiziki olarak oluşturulabilmesi yönüyle bu yazıcılar, özellikle araştırmacılar ve hekimler için çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Erdoğan, 2019). Eğitim için kadavra temini, sonrasında kullanıma hazırlamak için çeşitli işlemlerden geçirilme zorunluluğu, kullanım ömrü ve kontaminasyon riski gibi bazı sınırlayıcı faktörler; biyobozunur, sağlam ve elde edilmesi kolay bu modelleri cazip kılmaktadır (Demir ve ark., 2016). Bu çalışma, veteriner anatomi lisans eğitiminde anlatılan hayvan türlerine ait kafatası modellerinin üç boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak, fiziksel olarak oluşturulması ve eğitim materyali olmaya uygunluğunun tespiti üzerine kuruludur. Bu amaçla elde edilecek kafatası modellerinin üzerindeki anatomik yapılar karşılaştırmalı olarak incelenecek, modellerin avantaj ve dezavantajları veteriner hekimlik eğitimine verebileceği katkılar yönünden anatomik olarak değerlendirilecektir. Son 10 yılda üç boyutlu baskı teknolojisinin gelişmesi ve yaygınlaşması ile replika modellerin kullanımı yeni bir boyut kazanmıştır (Deidre ve Khan, 2016). Bu doğrultuda yapmayı planladığımız çalışma ile Türkiye’de ilk kez veteriner anatominin konusuna giren “Sığır, At, Koyun, Köpek, Kedi, Domuz” kafatası modellerinin oluşturulması ve bu modellerin anatomi eğitiminde kullanılması sağlanacaktır.

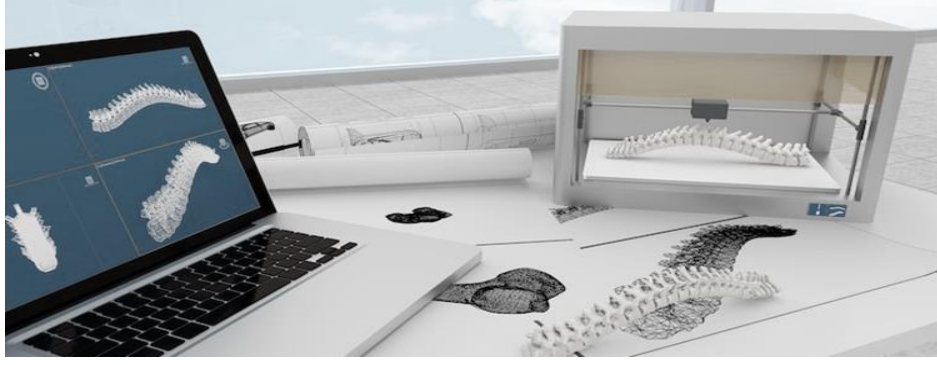
1.1. Genel Bilgiler

Modern dünyanın yenilikçi üretim tekniklerinden biri olan üç boyutlu baskı teknolojisi, tıp alanında yaygın şekilde faydalanılan bir metot olarak karşımıza çıkmaktadır (Arslan ve ark., 2018; Özkadif, 2015; Wilhite ve ark., 2019). Gelişen malzeme ve elektronik bilimlerine paralel olarak, medikal uygulamalar özelinde ihtiyaçlara yanıt verebilecek üretim materyallerinin geliştirilmesi sayesinde görsel ve fonksiyonel açıdan tatminkâr anatomik modellerin üretilmesi mümkün olmaktadır.

Birçok farklı tipi bulunan bu yazıcılar, kullanım alanına ve mevcut planlama modeline göre seçilerek, ihtiyaca uygun üretim başarıyla yapılabilmektedir. Bu sayede, pre & post operatif değerlendirme, ameliyat gereci ve hastaya özel implant üretimi gibi önemli faydaların yanı sıra, eğitimde sıklıkla ihtiyaç duyulan görsel ve dokunsal materyalin temini konusunda ortaya çıkarmış olduğu bazı avantajlar vardır (Gutmann ve ark., 2020).

Modeller ihtiyaca göre, farklı doku tiplerini simüle edecek şekilde değişik renk, opaklık, sertlik, ebat gibi parametreler arasından tercih yapılarak imal edilebilmektedir. Bilgisayar tabanlı bir tasarım ve üretim süreci ihtiva etmesinden ötürü, istenilen türde modifikasyonlar üretim öncesi yapılarak, her türden özelliğe sahip anatomik modellerin elde edilmesi mümkündür.

Gerçek kadavraya ait iki boyutlu radyolojik görüntülerinin işlenmesiyle elde edilen dijital verinin üç boyutlu fiziki bir modele dönüştürülmesi sayesinde, nadir bulunan kadvraların da kopyasının elde edilmesi mümkün olmaktadır (Agnes de sausa ve ark., 2019; Bakıcı ve ark., 2019).



Şekil 1.1. Dijitalden gerçeğe baskı teknolojisi (Litter Robot, 2019)

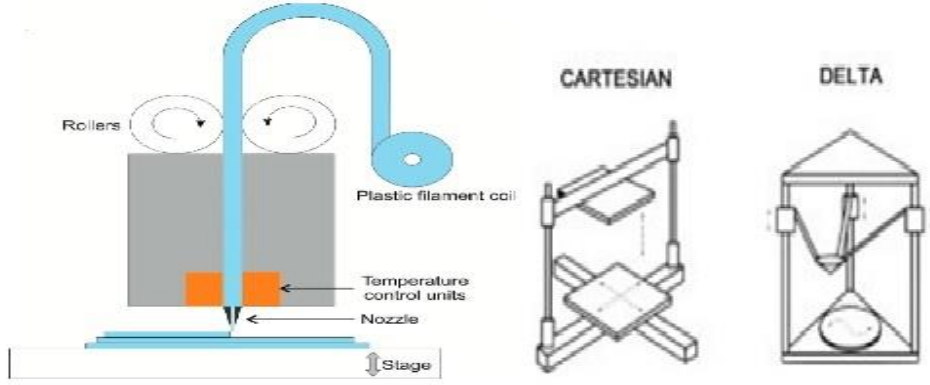
1.1.1. 3d Yazıcı Tipleri

Katmanlı üretim tekniği olarak adlandırılan metodu kullanan üç boyutlu yazıcılar, tip ve kullanılan malzeme türüne göre üç temel sınıfa ayrılırlar (Bethany ve ark., 2020).



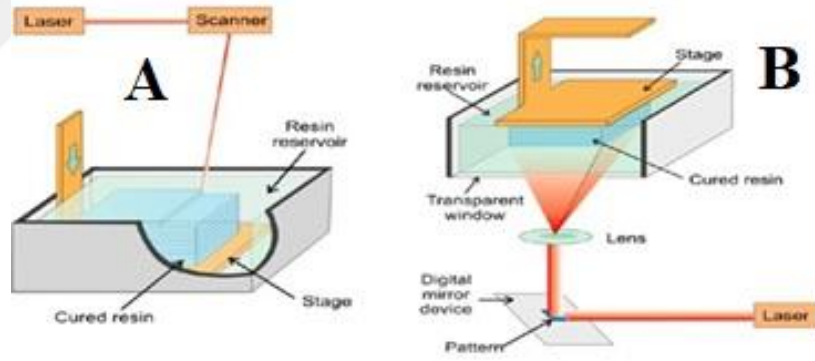
Şekil 1.2. Katmanlı üretim tekniği (Csc, 2012)

FDM (Fused Deposition Modeling): Isıtılarak eriyik hale getirilen plastik malzemenin katmanlar halinde üst üste yığılmasıyla model elde edilir. Delta ve Kartezyen adında iki ayrı çalışma mekanizmasına sahip türü bulunmaktadır.



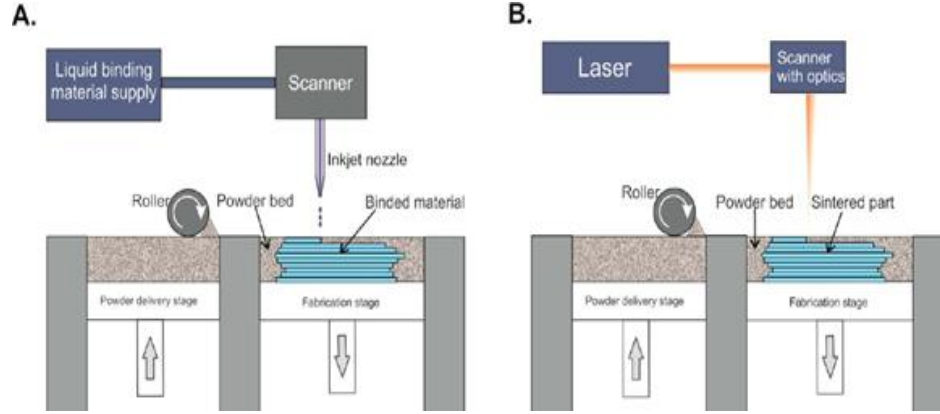
Şekil 1.3. Fdm yazıcı tipleri ve çalışma prensibi (Bethany ve ark., 2020)

SLA-DLP (Stereolithography - Digital Light Processing): Tank içinde bulunan sıvı reçinenin, lazer ışını (SLA) ya da projektörden yansıtılan ultraviyole ışığı (DLP) yoluyla sertleştirilmesi tekniğine dayalı üretim biçimidir.



Şekil 1.4. Sla (A) ve dlp (B) yazıcılar (Bethany ve ark., 2020)

SLS-OBJET (Selective Laser Sintering): Her katman için zemine serilen toz formundaki materyal, lazer optikler yardımıyla sertleştirilerek model oluşturulur. Reçine kullanan sistemlerde ise püskürtülerek zemine sıkılan reçine katmanına sertleştirici ultraviyole ışını uygulanması yoluyla model katmanları oluşturulur.



Şekil 1.5. Sls (A) ve objet (B) tipi yazıcılar (Bethany ve ark., 2020)

1.1.2. Medikal Üretimde Kullanılan Sarf Malzemeler

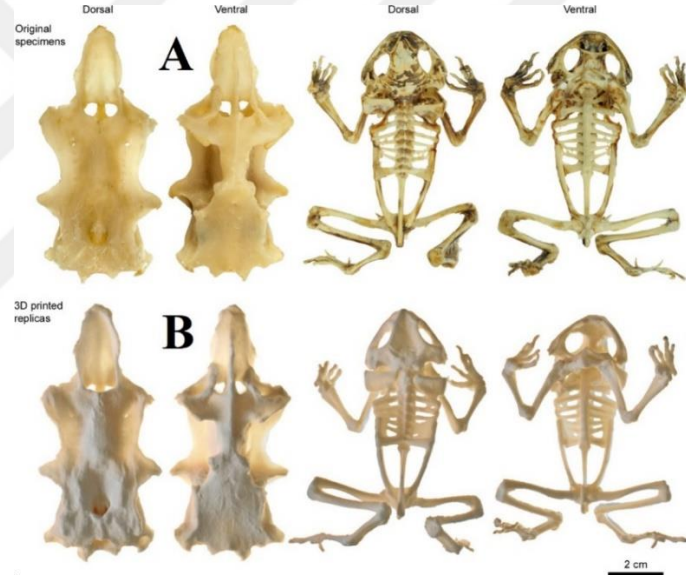
NYLON: Toz ve filament (makara ip) formunda olabilen bu malzeme, kas dokusu replikası gibi yüksek elastikiyet özellikli modellerin üretiminde avantaj sağlamaktadır. SLS ve FDM yazıcılar içindir.

PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol): Günümüzde kullanılan ambalaj plastiğinin temelini oluşturan bu malzemeden, gıda ambalajı ve medikal alanda kullanılmak üzere ürünler imal edilebilmektedir. Pla'ya benzer şekilde toksik gaz çıkışı olmayan bu ürün, nispeten daha yüksek bir baskı sıcaklığı gerektirmesinin yanında, sahip olduğu elastikiyet ile dayanıklı ve nem geçirmeyen baskı imkânı sunmaktadır. FDM yazıcılar içindir.

TPU (Thermoplastic Polyurethane): Esnek polimer yapıda olan bu filament, PET serisinin yumuşak baskı yapabilen versiyonudur. Medikal kullanım içinde uygun olan bu sarf malzeme iyi ürün için daha düşük baskı hızına ihtiyaç duyar. FDM yazıcılar içindir.

RESİN: SLA tipi 3d yazıcıların kullandığı reçine malzemesi türüdür. Opak, şeffaf ya da farklı renklerde yumuşak ya da sert model üretimi için uygundur. Ancak kırılkan ve ağır yapılıdır. Malzeme toksik özelliktedir. SLA ve DLP yazıcılar içindir.

PVA (Polyvinyl Alcohol): Destek malzemesi olarak PLA karışımı filamentler ile kullanılan suda eriyebilen bir polimerdir. Karmaşık tasarımlara sahip modelleri destek malzemesi ile basmanız üretim kalitenizi artırır. Bu sayede kompleks geometrideki model üretimlerinde destek malzemesini el ile temizlemeye gerek kalmaz. Düşük sıcaklıkta çözünür ve modele yapışmaz. Toksik olmaması sebebiyle model üzerinde kalan artıkları sağlık için tehlike teşkil etmez. Pla gibi *filament* formunda üretildiği için FDM tipi yazıcılar içindir.



Şekil 1.6. Pla'dan basılmış anatomik model (A) kadavra - (B) 3d baskı (Thomas ve ark., 2016)

Çalışmamızda üç boyutlu yazıcı tekniğine yönelik üretim yapılması ve elde edilen modellerin anatomik açıdan değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Verilerin elde edilmesi

Modeller bilgisayar ortamında üç boyutlu hale getirilmeden önce, ham verinin eldesi için, Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Veterinerlik Anatomisi Anabilim Dalı bünyesinde bulunan, farklı hayvan türlerine ait kafatası kemikleri (At, Sığır, Domuz, Koyun, Kedi, Köpek), Ankara’da özel bir veteriner kliniğinde bulunan tek kesitli bilgisayarlı tomografi cihazı (BT) ile tarandı. Ardından veriler DICOM (medikal görüntüleme cihazlarından alınan iki ve üç boyutlu bilimsel verilerin depolanması, görüntülenmesi ve analizinde kullanılmak maksadıyla geliştirilmiş olan bir dijital veri formatı standardıdır) dosyaları olarak kaydedilerek dijital ortama aktarıldı.

2.2. Kullanılan Programlar

Anatomik replika modellerin imal edilmesi için üç açık kaynak kodlu bilgisayar programı kullanıldı. Bu programların seçilme nedeni çok kişi tarafından kullanılan, stabil ve ücretsiz olmalarıdır (Zhang, Chenlong, 2015). İşlemler sırasıyla tarama, modelleme, düzeltme, hazırlama, baskı ve son aşama adımlarını kapsamaktadır. (Buécking ve ark., 2017).

Bunlar sırasıyla;

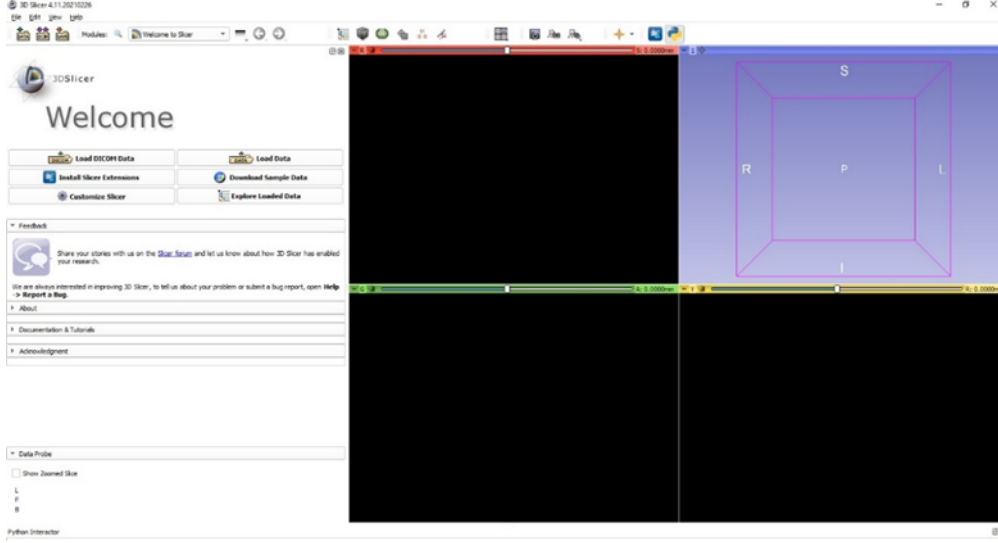
1) 3d Slicer (Verileri işlemeye yarayan medikal yazılım) 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network. Magnetic Resonance Imaging, Open source community / Spain.

2) Meshmixer (Elde edilen 3d modelin üzerinde kozmetik düzeltmeler, kesme vb. işlemleri yapan program) Autodesk Inc. Research San Francisco.

3) Cura (Dijital ortamda tamamlanmış modelin üç boyutlu yazıcıda basılabilmesini sağlayan program) The Netherlands,USA, Singapore.

2.2.1. Hacimsel Modelleme İşlemi

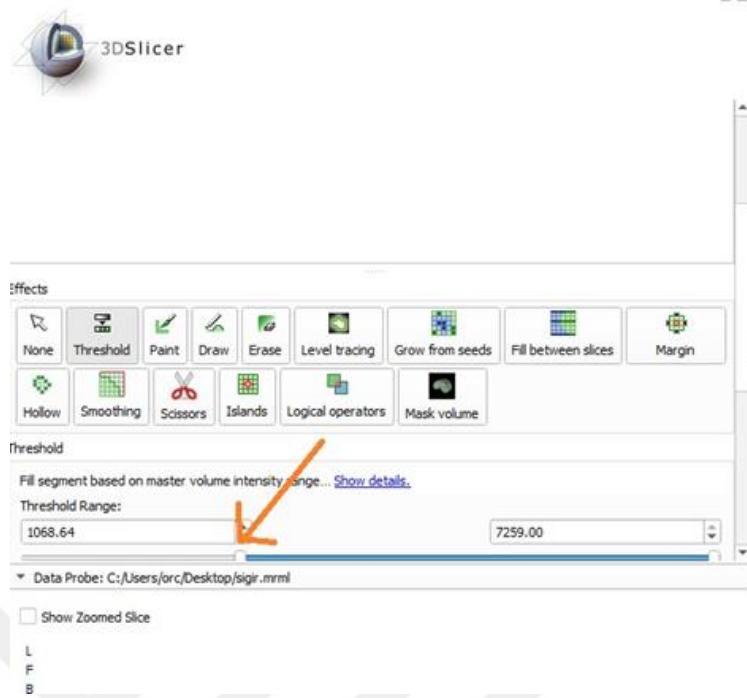
3d Slicer adlı yazılım, klinik ve biyomedikal uygulamalar için kullanılan açık kaynak kodlu bilgisayarlı görüntüleme programıdır. Her bir tarama dosyası, birbirine eşit dosya boyutuna sahip dilimlere bölünmüş, işlemeye hazır halde program içerisinde açıldı. Şekil 2.1’de, programın açılış menüsünden alınmış görsel paylaşılmıştır. Sağ kolonda yer alan sarı-yeşil-kırmızı renk barlarına sahip kutucuklar üzerinden, yüklenen taramanın frontal, sagittal ve transversal kesitleri incelenmiş ve bu kesitler üzerinden gerekli işlemler yapılmış, ardından sağ üst köşede yer alan üç boyut penceresinde model dijital olarak oluşturulmuştur.



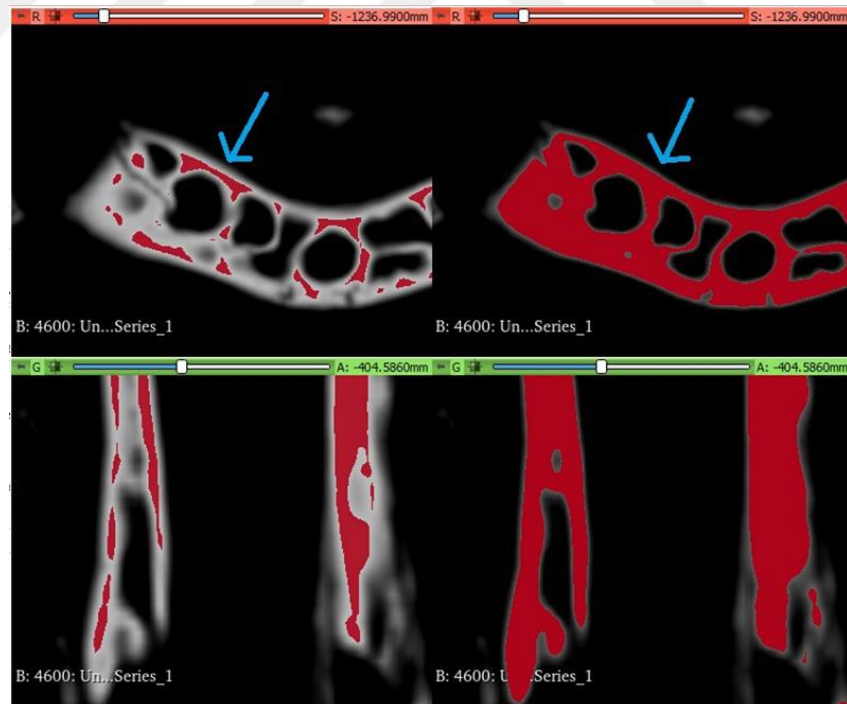
Şekil 2.1. 3d Slicer programı açılış ekranı

2.2.1.1. Thresholding Özelliği ile Kemik Yüzey Tanımlama

Gri skala ölçekleme metodu yardımı ile kemik alanlar, kontur çizgileri optimum seviyede belirlenerek boyandı. Bu metotta beyaz alanların yoğunluğu, her bir piksel değeri için özel bir sayı değeri ile, siyahtan beyaza olacak şekilde simgelendi. Mevcut taramanın kemik sınırlarını belirleyen alanlar Şekil 2.2’de, sarı ok ile gösterilen mavi bar üzerinden ayarlanarak, ön modelleme yapıldı. Tez çalışmasına konu olan her hayvan türü için farklı bir boyama rengi seçildi. Şekil 2.3’te ise belirlenen skala değerinin, beyaz alanları belirlenen kırmızı renge nasıl boyadığı gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Thresholding değeri belirleme

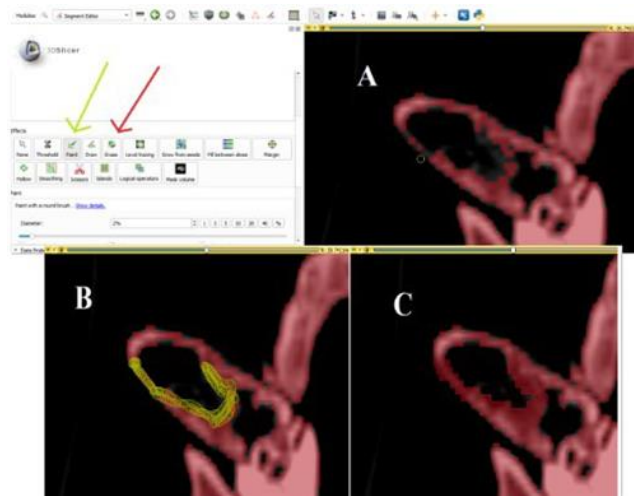


Şekil 2.3. Ön modelleme için kemik içi renk dolgusu

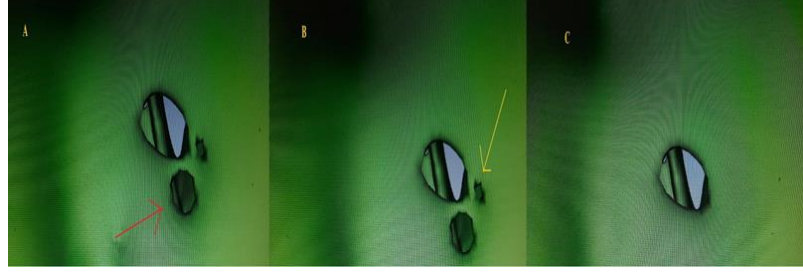
2.2.1.2. Boyama ve Silme İşlemi

Kaba kemik oluşturma işleminin ardından, çeşitli bölgelerde yazılımsal nedenlerden dolayı beyaz bölgeleri gösteren bazı kısımların yeteri kadar boyanmadığı görüldü. Bu sorunu gidermek amacıyla, yazılımın boyama ve silme fonksiyonları kullanılarak (Şekil 2.3), anatomik gerçekliğe uygun olarak taşan yerlerin silinmesi veya oluşmuş boşlukların doldurulması gibi gerekli düzeltme işlemleri, çizim tableti kullanılarak yapıldı.

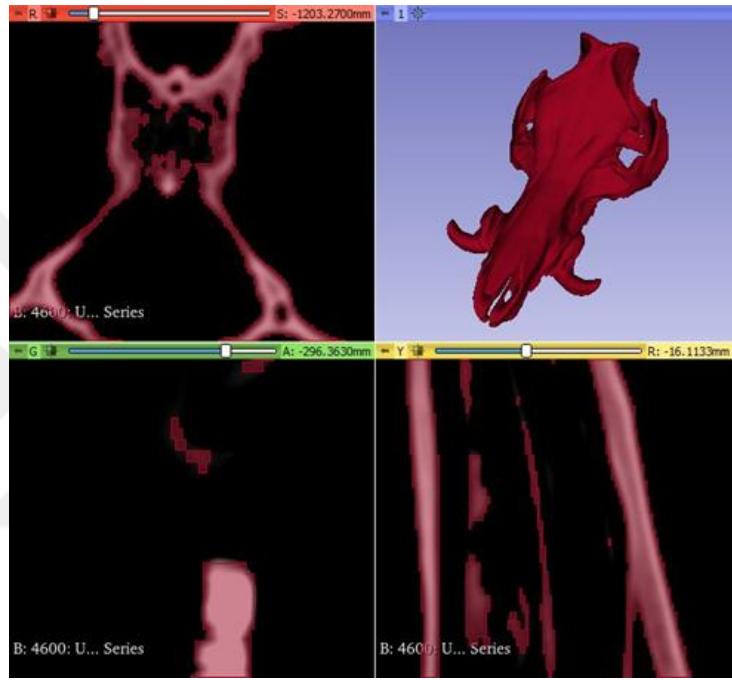
Katı modelleme programlarındaki mantık gereği, benzer işlemler frontal, sagittal, transversal ve üç boyutlu, tüm pencerelerde yapılarak boyutlandırma esnasında oluşabilecek anatomik bozukluklar minimuma indirildi. Tüm tarama dilimlerinin (*Slice*) işlemlerinin, her hayvan türü için ayrı ayrı yapılarak tamamlanmasının ardından, “boyutlandır” komutu ile oluşturulan üç boyutlu modeller dijital “STL” formatında çıktı alınarak, bir sonraki programa yüklenmek üzere hazır hale getirildi. Şekil 2.6’da üç boyutlu oluşturulan bir model örneğinin (domuz) düzlemdeki pozisyonu gösterilmektedir. Burada pencere içerisinde her yöne döndürülebilen modelin yüzeyindeki hatalı delikler kapatılarak son yapı oluşturuldu (Şekil 2.5). Şekil 2.7, 2.8 ve 2.9’da da gösterildiği gibi, benzer şekilde taraması yapılan 6 hayvan türüne ait üç boyutlu modeller hazırlandı.



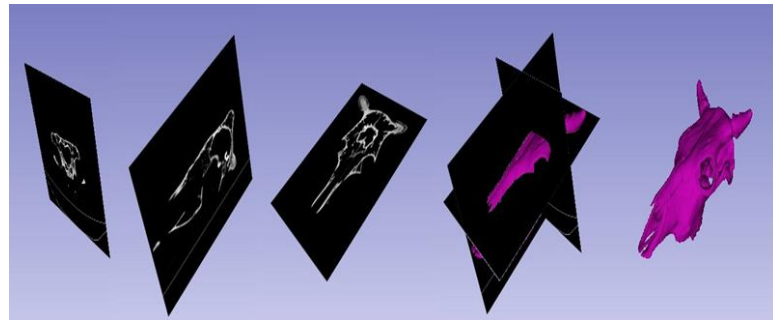
Şekil 2.4. Doldurma ve boyama işlemleri



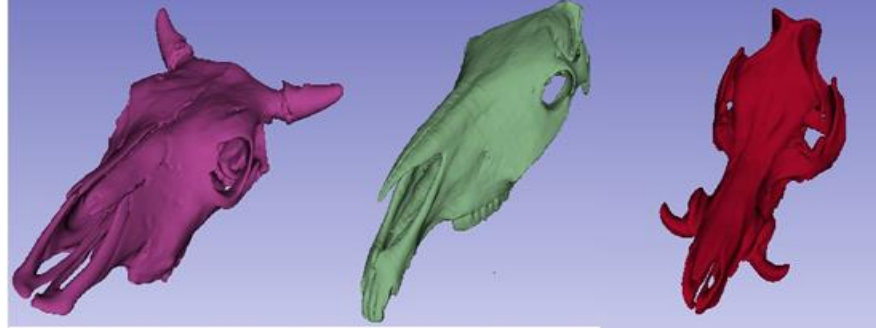
Şekil 2.5. Üç boyutlu model üzerinde onarım (delik kapatma)



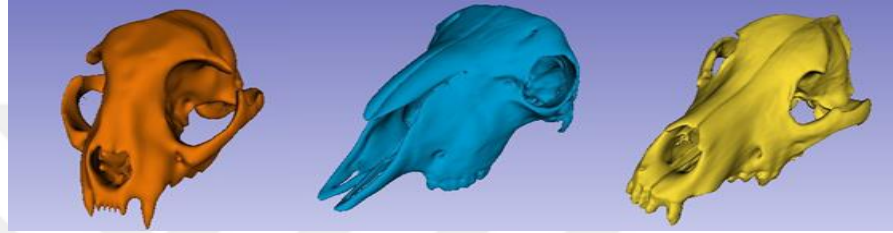
Şekil 2.6. Slicer programı üç boyut ekranı domuz örneği (sağ üst köşe)



Şekil 2.7. Eksenler ve dijital model oluşturma aşamaları (sığır örneği)



Şekil 2.8. Sığır, at ve domuz modeli



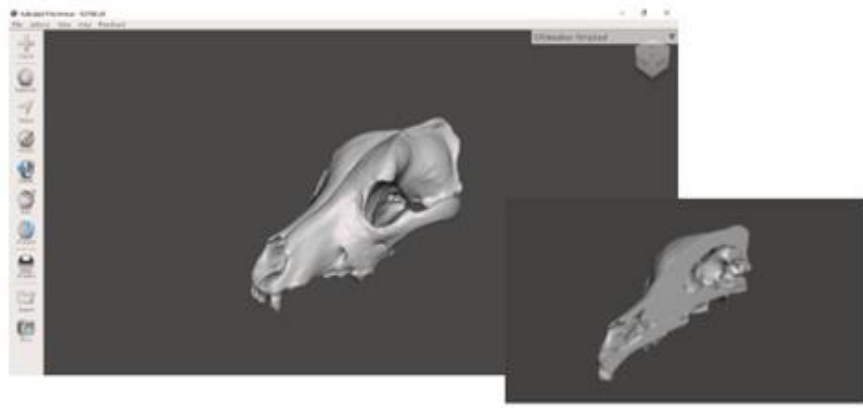
Şekil 2.9. Kedi, koyun ve köpek modeli

2.2.2. Yüzey Modelleme İşlemi

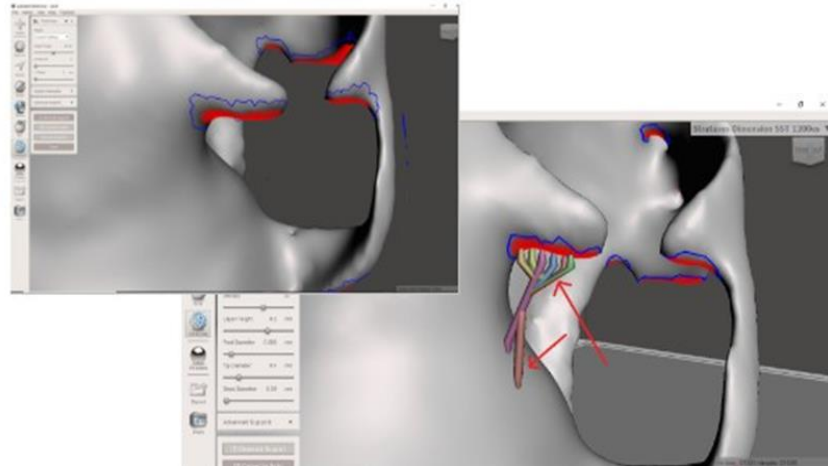
Tasarlanmış üç boyutlu modellerin yüzeyinde gerekli kozmetik değişiklikleri yapmak ve onarım gibi ek fonksiyonlar sunan bu programa yüklenen kafatası modelleri için, basım sırasında gerekli destek birimleri eklendi (Bu işlem modelin havada kalan yüzeylerine, basımı mümkün kılmak için zemin oluşturmak amacıyla yapılmaktadır). İkincil şekilde, yüzeylerde gerekli görülen yerlere yumuşatma işlemi uygulanarak, katı modelleme anında oluşan beklenmedik pürüzler temizlendi ve çeşitli onarımlar yapıldı (Şekil 2.12, 2.13). Şekil 2.14'te, koyuna ait kafatasının processus paracondylaris onarım işlemi görülmektedir.

Ek olarak, sagittal düzlemde ikiye ayrılan modeller, yarım şekilde basılarak benzer işlemlere tabi tutuldu. Yüzey istenilen açılarda şişirilerek çekme işlemi uygulanmasının ardından, yumuşatma işlemi ile son haline getirildi.

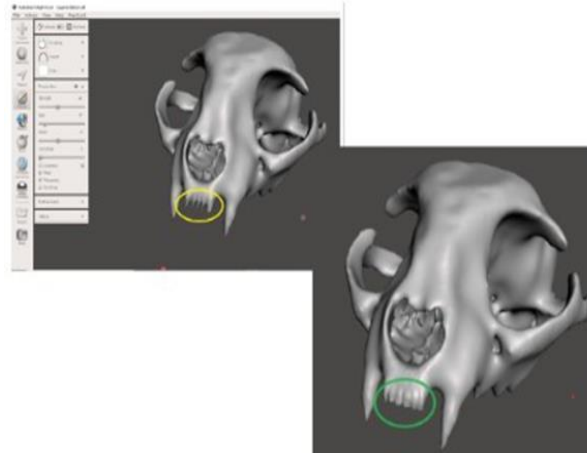
Benzeri uygulama, gerekli görülen tüm kısımlara, çalışılan her hayvan türü için ve mümkün olduğunca, taraması yapılan kadavranın anatomik yapısına sadık kalınmaya çalışılarak uygulandı. Rekonstrüksiyon işlemleri tamamlanan modeller, *export* işlemi ile bilgisayar masaüstüne kaydedilerek, son aşama olan baskı işlemine hazır hale getirildi.



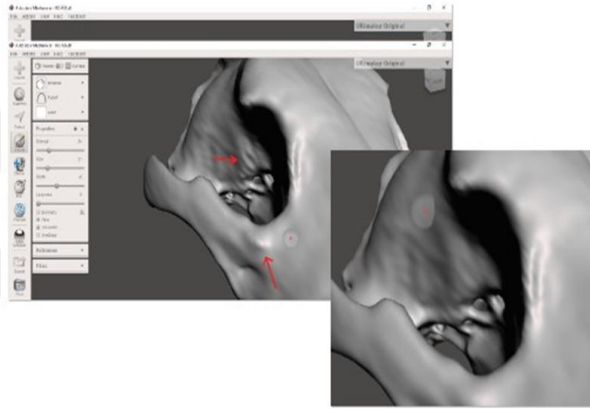
Şekil 2.10. Meshmixer programı görseli (köpek tam ve yarım model)



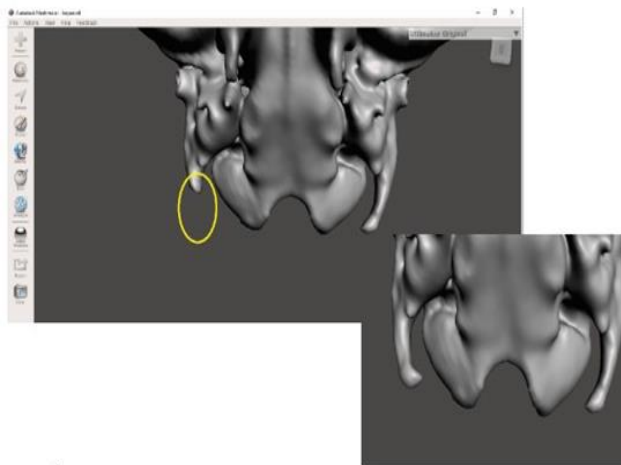
Şekil 2.11. Destek yerleştirme işlemi



Şekil 2.12. 3d Slicer çıktısı üzerinde kesici diş düzeltme işlemi



Şekil 2.13. Yüzey yumuşatma işlemi (köpek)



Şekil 2.14. Anatomik düzeltme işlemi (koyun processus paracondylaris)

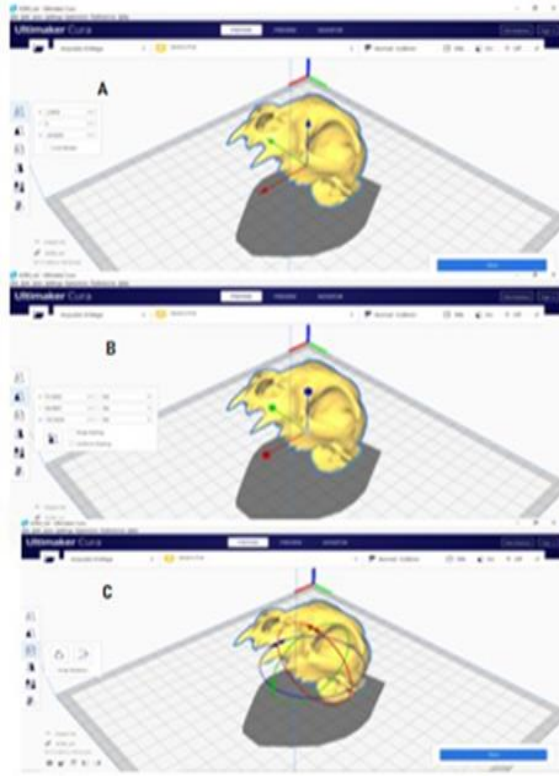
2.2.3.1. Model Dilimleme İşlemi

Üç boyutlu baskının yapılabilmesi için “yazıcı – bilgisayar ara yüzü” olan bu açık kaynak kodlu “cura” adlı yazılım sayesinde, tasarlanan modeller istenen parametrelere uygun olarak basıma hazır format dosyasına dönüştürülmektedir. Tez çalışmasında kullanılan malzeme, ekipman ve parametreler; baskı hızı, kullanılması gereken materyal miktarı, görsel ve dokunsal uygunluk ve model boyutu gibi kriterler göz önüne alınarak, tüm kemik modelleri için yapılan test baskılarından elde edilen deneyimlere paralel olarak, ortak ve optimum seçilmeye çalışılmıştır (Kamio ve ark., 2018).

Çizelge 1.1. Üretimde seçilen ekipman ve kriterler

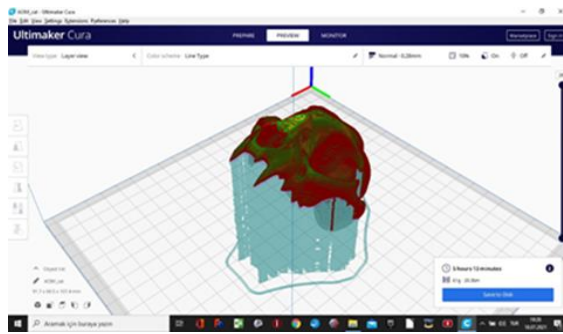
Baskı Çözünürlüğü	0,28mm	Tipi	Çizgili
Duvar Kalınlığı	1,2mm	Destek Doygunluğu	15%
Nozul Çapı	0,6mm	Filament Cinsi	Pla
Dolgu Miktarı	10%	Filament Rengi	Naturel Beyaz
Baskı Sıcaklığı	205 santigrat	Filament Markası	E-sun
Baskı Hızı	50mm/s	Yazıcı Modeli	Anycubic Predator ve i3 mega
Baskı Ölçeği	Birebir	Yazıcı Tipi	Fdm

Şekil 2.15 ve 2.16’ da gösterildiği gibi, baskı tablasına yüklenen kedi kafatası modeli gerekli pozisyonlamalar baskıya uygun olarak ayarlandıktan sonra model, “*slice*” komutu ile dilimlere ayrıldı ve “*gcode*” olarak kaydedilerek, üç boyutlu yazıcıya yüklemeye hazır bir kod haline getirildi.



Şekil 2.15. Modelin koordinat eksenindeki ayarları (A) kaydırma-(B) ölçeklendirme-(C) çevirme

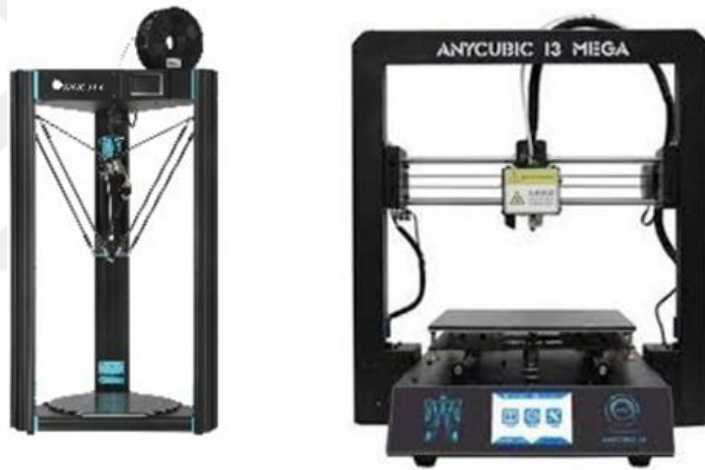
Ardından üç boyutlu yazıcının hafıza kartına yüklenerek basılmak üzere cihaza yerleştirildi. Şekil 2.16'daki mavi renkli bölge, eklenen taban destek materyalini göstermektedir.



Şekil 2.16. Cura programı baskı ön izlemesi ve kayıt (kedi modeli)

2.2.3.2. Baskı ve Temizlik İşlemleri

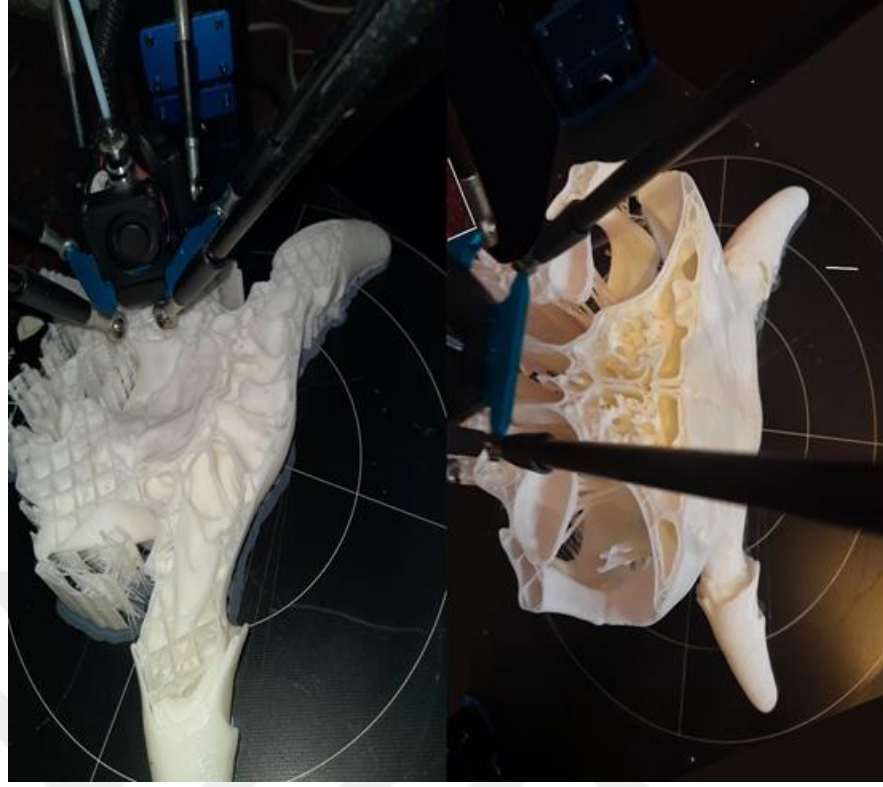
Çalışmada sunduğu bazı kolaylıklar bakımından (maliyet, gerçek kemik dokuya en yakın ürün çıktısı, sağlığa zararsız sarf malzeme, dayanıklılık vb.) FDM teknolojisine sahip yazıcılar tercih edilmiş (Alafaghani ve ark., 2017; Garcia ve ark., 2017) ve Anycubic markasına ait üç boyutlu yazıcılar kullanılmıştır. Farklı üretim hacimlerine sahip bu iki yazıcının teknik özellikleri çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Şekil 2.18’de, predator adlı yazıcıda basılan sığır modelinin baskı sürecindeki transversal iç kesiti görülmektedir. Baskıların tamamlanmasının ardından tabladan alınan modellerin destekleri; pense, maket bıçağı, zımpara gibi yardımcı gereçlerle temizlendi (Şekil 2.19; 2.20).



Şekil 2.17. Kullanılan 3d yazıcılar – predator delta (solda), i3 mega (sağda) (Shenzhen Technology, China – www.anycubic.com)

Çizelge 2.1. Basımda kullanılan yazıcıların teknik özellikleri

Baskı Alanı	370x370x455mm	210x210x205mm
Çözünürlük	0,05- 0,3mm	0,05- 0,4mm
Başlık Sayısı	Tekli	Tekli
Baskı Hızı	20- 150 mm/s	20- 60 mm/s
Yazıcı Tipi	Delta	Kartezyen
Hassasiyet	0,125 mm step xyz	0,125 mm step xyz
Model	Predator	İ3 Mega



Şekil 2.18. Sığır modeli basım süreci – iç anatomik yapı kesit görüntüler



Şekil 2.19. Baskısı tamamlanmış kedi modeli (i3 mega yazıcı)



Şekil 2.20. Destek elemanın sökölme işlemi



Şekil 2.21. Basılan sagittal kesit örnekler - koyun (üstte) ve köpek (altta)



Şekil 2.22. Kedi ve köpek modeli



Şekil 2.23. Domuz ve koyun modeli



Şekil 2.24 At ve sığır modeli

3. BULGULAR

Elde edilen modellerin anatomik uygunluğunun değerlendirmesi amacıyla kadavraların ağırlıkları ve boyutları ölçölerek, basılan modellerle karşılaştırma yapıldı. Çizelge 3.1’de bu veriler yer almaktadır. Çizelge 3.2’de boyutlara oranlı baskı süreleri verildi.



Şekil 3.1. Kadavra ve replika modele örnek (domuz)

Çizelge 3.1. Modeller ile kadavraların ağırlık karşılaştırması

AĞIRLIK (GR)	AT	SİĞİR	DOMUZ	KOYUN	KÖPEK	KEDİ
Kadavra	2064	1672	816	245	309	36
Model	1104	760	320	183	162	33

Çizelge 3.2. Modellerim baskı süreleri ve ölçekleri (boyutlar-cm³)

	AT	SIĞIR	DOMUZ	KOYUN	KÖPEK	KEDİ
Baskı Süresi(h)	93,5	59,5	43	16	14,5	5,5
Boyutlar(mm)	23x62x18	30x41x16	18x29x27	11x23x10	11x23x10	5x7x4

Çizelge 3.3. Çeşitli referans noktalarından (mm) cinsinden alınan ölçümler

	AT	SIĞIR	DOMUZ	KÖPEK	KOYUN	KEDİ
Orbital Yükseklik	54,80/55,92	57,23/58,68	41,16/42,45	31,00/31,42	32,43/33,05	23,32/23,77
Foramen Magnum Çapı	42,53/43,78	33,50/34,40	19,15/20,95	21,00/22,80	19,59/21,01	12,86/13,47
Oksipital Kondil Genişlik	112,1/112,5	101,0/101,6	61,02/60,39	46,22/45,59	53,12/53,55	22,45/21,72
İki Foramen Supraorbitale Arası Mesafe	169,2/167,9	106,8/106,9	35,70/35,00	49,49/48,15	60,18/59,17	28,90/28,10
Premaxillar Genişlik	74,06/74,05	113,4/112,4	41,66/41,31	77,49/76,49	62,35/62,60	39,51/38,50
Orbitalar Arası Maximum Genişlik	184,8/182,3	128,3/127,7	88,00/87,10	50,75/49,71	83,93/84,36	19,40/18,96
Molar Uzunluk	144,7/142,5	77,32/77,43	102,0/100,5	69,90/63,96	55,54/54,83	14,34/13,52

Ölçümü yapılan replika modellerin kadavralar ile karşılaştırılması sonucu, ortama 1 milimetre civarında bir ölçü farkı olduğu görüldü. Replika modellerin gerçeğe yakınlığına dair bir diğer tespit ise, elde edilen modeller üzerinde, kadavra kemiklerin geçiş noktalarında yer alan suture çizgilerinin yeteri kadar belirgin olmadığıdır. Bu durumun temel sebebi, dijital modelleme esnasında yapılan *thresholding* işlemidir.

Model üzerindeki tüm noktalar için ortak bir referans değeri atanması sebebiyle kadavralar üzerindeki bu ince detayları daha görünür hale getirmek, üç boyutlu dijital modellerde özel mikro CT yüksek çözünürlüklü taramalar ve model üzerinde yapılacak detaylı ve lokal çalışmalar ile mümkündür. Diğer taraftan seçilen yazıcı teknolojisi de elde edilen sonuç bakımından değişiklik göstermektedir.

Bazı ölçülerde oluşan küçük tutarsızlıklar, referans alınan yüzey üzerindeki destek materyalinin temizlenmesi esnasında oluşan parça kopma ya da deformasyonların yanı sıra; destek eklenmeyen bölgelerdeki üretim esnasında oluşan eriyik üretim materyalinin, değişken ortam şartları kaynaklı olarak, hızlı katılaşmaması neticesinde oluşan form bozuklukları veya ölçüm anındaki fiziki hatalar sayılabilir.

Modellerin baskı süreleri Çizelge 3.2’de görüleceği gibi, üretilen modelinin ebadına göre çok uzun sürelere çıkabilmektedir. Bu durum üç boyutlu yazıcıların özellikle kafatası gibi karmaşık yapıların basımı sırasında özellikle iç yapıların basılması esnasında, özellikle nazal boşluklarda çok daha uzun sürelere ihtiyacı olduğunu gösterdi.



Şekil 3.2. Sagittal hat karşılaştırma (A-B)

Ayrıca, anatomik deliklerin çaplarının replika modellerde %20 civarında dar olduğu gözlemlendi. Şekil 3.2’de, üretilen koyun replika kafatası ile kadavra arasındaki sütür detayı ve foramen supraorbitalis farkı görülmektedir. Kadavra kemiklerin taşınması ve kullanımı sırasında kırılma ve düşme, kaynatma işlemi vb. nedenlerle bazı diş kayıpları oluştu. Bu tip durumlar Replika modellerin diş yapılarının çene kemiği ile tümleşik üretilmesi neticesinde replika modellerimizde yaşanmadı. Sagittal kesit şeklinde aldığımız baskılar kafatası farklı yönlerden kesilerekte modellenebilmektedir ve böylece 3d baskılardaki anatomik detaylar, istenilen açılardan görülebilmektedir (Sharma ve Goel, 2018).

Modellerin kadvralarla ağırlık karşılaştırmalarının yer aldığı çizelge 3.1’de, bölüm katsayısının ortalama 0’dan 2,5 kata kadar değişken olduğu görülmektedir. Örnek olarak, çalışmamızda yer alan at modeli için ağırlık (g)- baskı süresi (s) oranı 11,8 iken, bu oran sığır için 12,7dir.

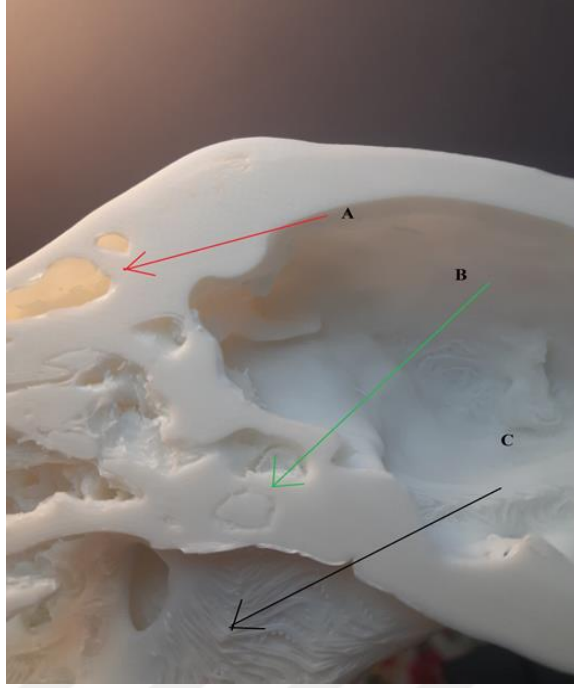
Diğer yandan uygulanan; model duvar kalınlığı, iç dolgu oranı, katman kalınlığı gibi seçilen parametrelerin, modellerin dışarıdan uzman gözü ile analizinden edinilen geri bildirimlerde yeterli sağlamlık, boyutsal tutarlılık ve görsel kaliteye ulaşabildiği görüldü (Bilal ve ark., 2020; Comrie ve ark., 2019; Elizabeth ve ark., 2017; Sucuoğlu ve ark., 2018).



Şekil 3.3. Diş kayıpları (köpek) (A-düşen diş; B-3d görünüm)

Basılan sagittal yarım köpek ve koyun kafalarında baskı açısı, kesilen bölgedeki konturların net oluşabilmesi maksadıyla modelleri medial yüzeyleri baskı tablasıyla yüz yüze bakacak şekilde yerleştirildi. Ancak modellerin iç duvarının hemen altında bulunan destek materyalinin yüzeyin kalitesini bir miktar bozması sonucu, görsel açıdan dış yüzeyin bir miktar gerisinde bir kalite elde edilmiştir. Benzer şekilde iç anatomik yapıların yoğunluğu ve kullanılması gereken destek materyalinin bu gölgelerde sıklaşması ve temizlik alanının daralması da elde edilen sonucu negatif anlamda etkiledi.

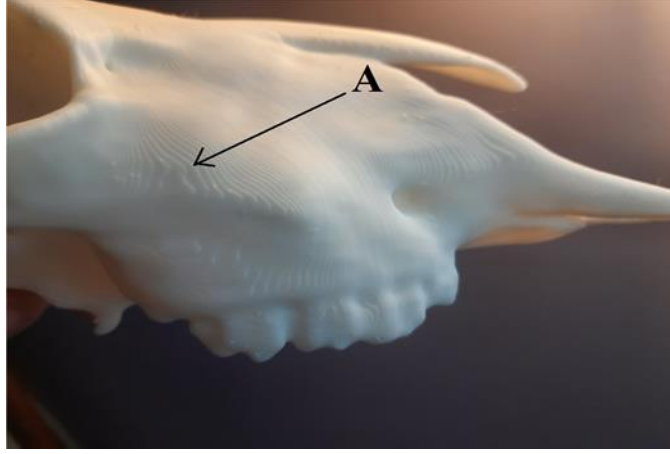
Şekil 3.3’ de görülen kadavradaki diş maserasyon işlemi sırasında düşmüştür (A). Üç boyutlu baskı ile elde edilen modelde diş oluğu ile diş tek parça üretildiğinden (B), bu ve benzeri durumlarda dişleri anatomik olarak tamamlamak mümkün olmaktadır. Bu sayede kaybolan dişler için yapıştırma gibi ihtiyaçlar ortadan kalktı.



Şekil 3.4. Anatomik boşluklar (koyun) (A-temizlenen, B-temizlenmemiş, C-sarkmış)

Şekil 3.4'teki örnekte görüldüğü gibi kırmızı ok (A) ile gösterilen frontal bölgenin altında yer alan boşluk temizlenebilmiş iken, yeşil ok (B) ile gösterilen bölgedeki destek materyali, ilgili boşluk ile kaynaşmış olduğundan ayırma işlemi yapılamadı. Siyah ok ile işaret edilen (C) bölgede de sarkmalar oluştu.

Yarım modeller özelinde karşılaşılan bir diğer sorun ise kemiklerin dış yüzeylerinde oluşan basamak şeklinde görünen adacıklardır. Seçilen parametrelerin bir sonucu olarak, baskı tablasına paralel olan yüzeylerde bu tip durumlar görülmekte olup, çözünürlük değerlerinin artırılmasıyla ya da ince kâğıt zımpara uygulamasıyla yüzey kalitesi daha da iyileşmektedir. Kesilen yüzeyin tablaya dik yerleştirilemiyor oluşu sebebiyle karşılaşılan bu durum, tam kafa modellerinde gözlemlenmedi.

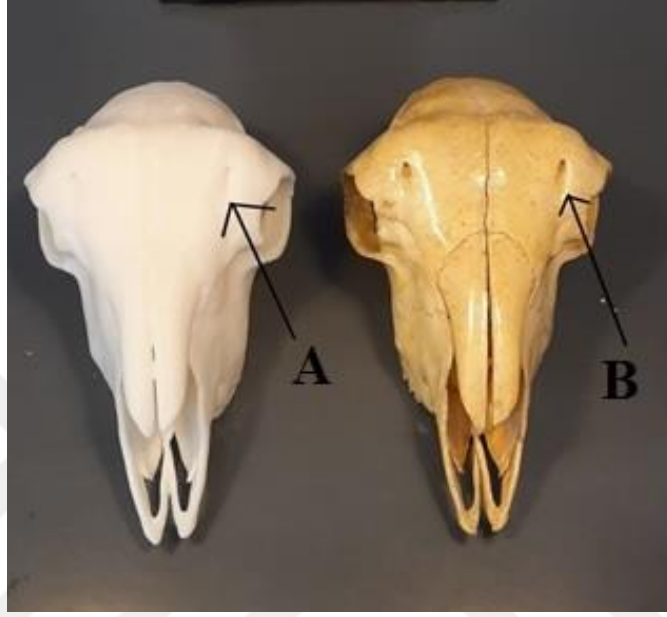


Şekil 3.5. Dış yüzeyde oluşan basamak deseni(A)

Diğer yandan çalışmaya konu olan At, Sığır gibi boyutları 40 cm üstünde olan büyük kafataslarının, kullandığımız yazıcıların taban genişliklerini alansal olarak geçmeleri nedeniyle, her üç düzlemde de yarım formlarını üretmek ancak modelleri birden fazla parçaya bölerek ve üretimden sonra yapıştırıcı vasıtasıyla birleştirmek ile mümkün olabileceği görüldüğünden, üretim yapılmadı. Bu dezavantajın giderilmesi ancak büyük üretim kapasitesine sahip yazıcılar ile giderilebilir. Ancak tam modeller de sadece At modeli için geçerli olmak üzere model 2 eşit parçaya sagittal düzlemde bölünerek üretilmiş ardından bu parçalar yapıştırılarak tek bir model elde edildi. Yapıştırma sonrasında da modelde bir kopma ya da ayrılma gözlenmedi.

Çizelge 3.2’de yer alan ölçümler yapılırken, aynı zamanda modellerin foramen supraorbitalis gibi anatomik deliklerinde, kadavralara kıyasla %20 civarında-darlık ve kenar bölgelerinde daha büyük ovallik olduğu görüldü. Referans noktaları seçilirken tüm kafa türleri için ortak noktalar alınmaya çalışıldı (Driesch, 1976, s:20-51). Bu sayede türlere ait şekil farklarının üç boyutlu baskı özelinde görsel ya da ölçüsel bir değişikliğe yol açıp açmadığı anlaşılmaya çalışıldı ve benzer sonuçlar elde edildiği görüldü.

Ek olarak modellerin processus'larındaki bazı bölgelerde sarkmalar ve temizleme anında oluşan kırılmalar gözlemlendi. Bu durumun sivri bölgelerde basım anında yeterli destek materyali olmaması neticesi katmanların birbirine tutunamaması neticesi olduğu sonucuna varıldı.



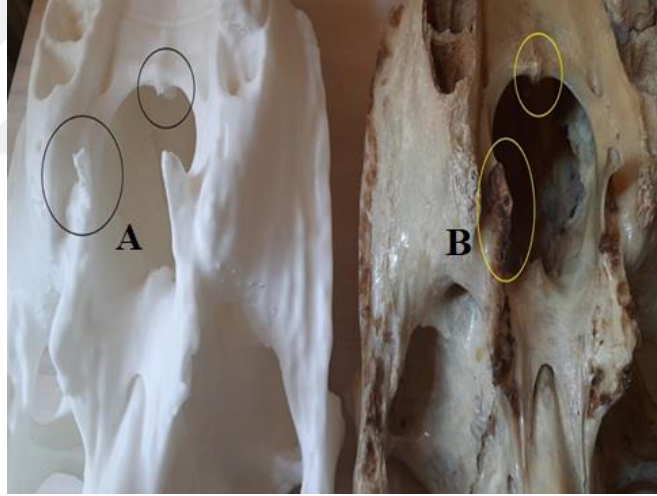
Şekil 3.6. Koyun foramen supraorbitalis karşılaştırması (A-dar, B-geniş)

Tam kafatası modellerinde nazal boşluklardan bakıldığında, iç yapılar kadavralara çok benzer şekilde görüldü. Dorsal'de olduğu gibi ventral'de de yüzeylerin anatomik açıdan doğru ve uyumlu basıldığı belirlendi.

Ayrıca üretilen plastik modellerin düşme ve çarpmaya gibi dış etkilere karşı da kadavralara kıyasla güçlü olduğu görüldü. Üretilen plastik modelin kadavradan daha hafif olması da kolay kırılmamasını sağlayan bir diğer faktör olarak düşünüldü. Baskı sürelerinin artmasıyla ısınan plastiğin zaman zaman modellerin yüzeylerinde baskı sırasında lekelenme yaptığı görüldü. Ancak bu durumun çok nadir tekrarlanmakta olduğu ve modelin genel renginde bir değişikliğe yol açmadığı izlendi.



Şekil 3.7. Sığır örneği



Şekil 3.8. Sarkma yapan noktalar model-kadavra karşılaştırması (A-sarkan, B-orijinal)

4. TARTIŞMA

Ölçümü yapılan replika modellerin kadvralar ile karşılaştırılması sonucu, her yönde, %1 civarında bir ölçü farkı olduğu görüldü. Modellerin ölçekleri göz önüne alındığında, bu değerin kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Nitekim yapılan bir diğer çalışmada, At'a ait carpal kemiklerin ölçümlelerinde çok benzer sonuçlara ulaşılmıştır. At humerus'u için kadvrada 763 gram, 3d baskı model için ise 148 gram ölçülmüştür ki, bu oran 5,15'e denk gelmektedir (Daniela ve ark., 2013).

Çizelge 4.1. Bir literatür çalışmasında sonuçlar (Daniela ve ark., 2013).

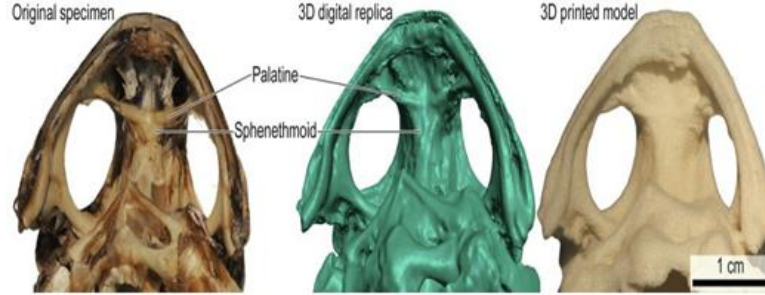
		Bones(mm)	3d printed(mm)
Radial Carpal Bone			
	X axis	24,20	25,1
	Y axis	38,1	39
Intermediate Carpal Bone			
	X axis	33,9	34
	Y axis	38,5	39,5
Ulnar Carpal Bone			
	X axis	29,9	30,9
	Y axis	30,4	31,2

Bu durum temel olarak her kemiğin farklı bir şekli ve iç yapısının olmasının yanı sıra, seçilen yazıcı parametrelerinden biri olan iç dolgu oranı ile doğrudan ilgilidir. Modelin ölçeği gibi bu oran da toplam model ağırlığını etkilemektedir.

Daniel ve ark. (2016)'a ve Massari ve ark. (2019)'a göre, Fdm teknolojisinin doğası gereği üretilen modellerin bazı bölgelerinde çeşitli bozukluklar olabileceği bildirilmiştir (şekil 4.1). Çalışmamızda da benzer bozulmalar belli modellerde şekillenmiştir.



Şekil 4.1. Basım sırasında oluşan bozulmalar (A(kadavra) - B(model))

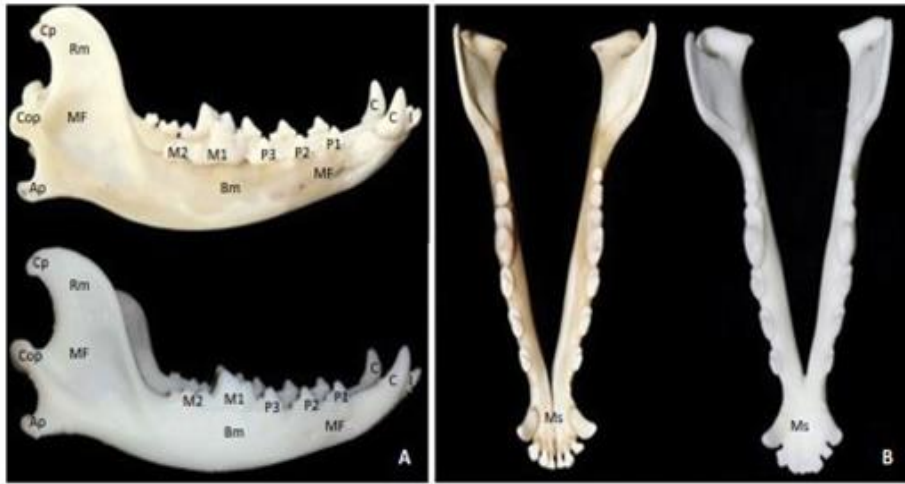


Şekil 4.2. Literatürdeki bir model-kadavra karşılaştırması (Daniel ve ark., 2016)

Baskı süreleri ve harcanan plastik malzeme gramaj bilgileri oranlandığında, parametrelerin FDM yazıcılar için ön görülen üretim kıstasları literatürde sunulmuştur (Agnes De Sausa ve ark., 2019). Çalışmamızda elde ettiğimiz ölçümler Agnes De Sausa ve ark., 2019 ile uyumludur (Çizelge 3.1 ve 3.2).

Çizelge 4.2. Literatür çalışmasına ait baskı süreleri ve model ağırlığı (Agnes De Sausa ve ark., 2019)

3D CJF	PRINT TIME(h)	MATERIAL USED(g)
1-Canine Coronoid Process	2,7	38,3
2-Parasymphysis/Angular Process/Premolar	3,1	41,2
3-Ramus of the Mandible/ Molar	2,4	36,1
4-Mandibular Symphysis/Condylar Process	2,4	34,5
TOTAL(4X3DCJF)	10,6	150,1



Şekil 4.3. Köpeğe ait mandibula: kadavra ve replikası (Agnes De Sausa ve ark., 2019)

Çizelge 4.2’de gösterilen çalışmaya ait veriler yer almaktadır. Literatürdeki bu veriler incelendiğinde, basılan mandibular kemik için toplamda bu oranın “14,1” olduğu görülmektedir. İlgili modelin destek materyaline kafatası basımındaki kadar ihtiyaç duymadığı göz önüne alındığında, basım için ulaştığımız katsayıların makul olduğu söylenebilir. Kafatası modellerinin iç yapılarının daha kompleks oluşu neticesi, baskı süreleri basit modellere kıyasla bir miktar uzamaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kadavralar ve replika kopyaları üzerinde yapılan karşılaştırmalı ölçümler ışığında, üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle elde edilen bu modellerin, literatürdeki çalışmalar ile paralel sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çalışmanın detaylarında belirtildiği şekilde her ne kadar mevcut teknolojinin bazı sınırlamaları olsa da basılan modellerin veteriner hekimlik eğitiminde kullanılabilecek anatomik yeterlilikte üretilebildiği sonucuna varılmıştır. Dijital ortamda, modeller üzerinde gerektiğinde baskı öncesi istenilen değişikliklerin yapılabilmesi de eğitimin etkinliğini artırıcı bir diğer faktör olarak öne çıkmaktadır. Bu sayede gelecekte yapılacak çalışmalar ile üretilen anatomik modellerin, eğitimde çok daha aktif ve faydalı şekilde kullanılabileceği görülmüştür. Diğer yandan, üretilen anatomik modelin büyüklüğüne oranla baskı süreleri ve model üzerinde harcanan ek zaman artmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar ile baskının, nispeten yavaş bir üretim tekniği olması nedeniyle, kısa zamanda büyük anatomik modellerin çok sayıda üretimi hedeflenmiyor olsa da teknolojinin gelişmesiyle yeni model yazıcılar ile bu sorunun aşılabileceği düşünülmektedir. Detaylı tarama verileri (örn. mikro ct) kullanarak, anatomik bölgelerdeki lokal dijital çalışmalarla, 3d baskılardaki hataları minimuma indirmek mümkündür.

ÖZET

Üç Boyutlu Baskı Kafatası Modelleri Üzerine Karşılaştırmalı Anatomik Çalışmalar

Bu çalışma, veteriner anatomi eğitiminde anlatılan hayvan türlerine ait kafatası modellerinin üç boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak, fiziksel olarak oluşturulması ve bu modellerin uygunluğunun anatomik açıdan belirlenmesi üzerine kuruludur. Bu amaçla elde edilen kafatası modelleri üzerindeki anatomik yapılar karşılaştırmalı olarak incelenmiş, modellerinin eğitimde kullanılabilmesi yönünden avantaj ve dezavantajları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Beş hayvan türüne ait (At, Sığır, Domuz, Köpek, Koyun ve Kedi) kadavra kafatasları, Bilgisayarlı tomografi cihazında taranarak üç boyutlu dijital görüntüleri elde edilmiş, ardından ilgili bilgisayar yazılımlarda işlenmiş ve üç boyutlu yazıcılarda basılarak, gerçek kadvraların birebir plastik kopyaları FDM (Fused Deposition Modelling) tipi üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilmiştir. Kullanılan bilgisayar tabanlı katı modelleme yazılımlarında üç aşamalı olarak, dijital model oluşturma, bilgisayar ortamında anatomik düzeltme ve şekillendirme ve son olarak dijital modelin baskısı ve üretilen modele analiz öncesi son halinin verilmesi adımları takip edilmiştir. Kadvralar ve replika kopyaları üzerinde yapılan karşılaştırmalı ölçümler ışığında, üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle elde edilen bu modellerin, literatürdeki çalışmalar ile paralel sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çalışmanın detaylarında belirtildiği şekilde her ne kadar mevcut teknolojinin bazı sınırlamaları olsa da basılan modellerin veteriner hekimlik eğitiminde kullanılabilecek anatomik yeterlilikte üretilebildiği sonucuna varılmıştır. Dijital ortamda, modeller üzerinde gerektiğinde baskı öncesi istenilen değişikliklerin yapılabilmesi de eğitimin etkinliğini arttırıcı bir diğer faktör olarak öne çıkmaktadır. Bu sayede gelecekte yapılacak çalışmalar ile üretilen anatomik modellerin, eğitimde çok daha aktif ve faydalı şekilde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Bilgisayarlı Tomografi, 3d, Modelleme, Veteriner Anatomi.

SUMMARY

Comparative Anatomical Studies For 3d Printed Skull Models

The study is based on determining the convenience of the animal skull models produced via 3d printing technology which take part on veterinary education. The anatomical structures on these skulls produced for this purpose have been examined comparatively and tried to figure for the advantages and negative sides if they can be a good alternative for education. These cadaver skulls (Horse, Cattle, Boar, Dog, Sheep and Cat) had been scanned via CT and digital images obtained for the further operations done such as solid computer modelling and the models produced in FDM (Fused Deposition Modelling) printers as 1:1 ratio plastic replicas of the cadaver. The stages of the study consists of three stages. These are; obtaining the digital model, anatomical forming and fixing and 3d printing and post processing as a final step. Under the light of comperative analysis of cadaver and 3d replika models, the results seems so much paralel as the literature work. Despite the fact that the technology has its own limitations, the study leads us to the conclusion that these models can be used in veterinary anatomical education wise. Another benefit comes to play as the models can be manipulated digitally is such varieties before production so that the effectiveness and practicallity for the education rises. It is clearly seen that it has a potential for the use of the models in further studies by that manner.

Keywords: Computed Tomography, 3d, Modeling, Veterinary Anatomy.

KAYNAKLAR

- 3D HUBS (2020). Introduction to material jetting 3d printing. Erişim Adresi: [www.3dhubs.com/know-ledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing].Erişim tarihi: 08.05.2020
- 3D SLICER (2020). 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network.Magnetic Resonance Imaging. FEDOROY A, BEICHEL R, KALPATHY-CRAMER J, FINET J., FILLION-ROBIN J-C, PUJOL S, BAUER C, JENNINGS D, FENNESSY FM, SONKA M, BUATTI J, AYLWARD SR, MILLER JV, PIEPER S, KIKINIS R (2012). Nov; **30(9)** :1323-41. PMID: 22770690. PMCID: PMC3466397.7./ Erişim Adresi: [www.slicer.org]. Vers: 4.10.1. Erişim Tarihi: 14.06.2020.
- AGNES DE SL, MARCELLO M, RITA DE CRP, YURI KC (2019). Printing 3D models of canine jaw fractures for teaching undergraduate veterinary medicine Lima AS." Acta Cir Bras. ; **34(9)**: e201900906 DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-865020190090000006>.
- ALAFAGHANİ A, QATTAWİ A, ABLAT MA (2017). Design Consideration for Additive Manufacturing: Fused Deposition Modelling. Open Journal of Applied Sciences, **7**, 291-318. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2017.76024>.
- ALL3DP (2021). The Types of 3D Printing Technology. Erişim Adresi: [www.all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/]. Erişim Tarihi: 12.02. 2021.
- ARSLAN N, YAYLACI B, EYÜPOĞLU ND, KÜRTÜNCÜ M (2018). Sağlıkta Gelişen Teknoloji Üç Boyutlu Yazıcılar" International Journal of *3d Printing Technologies and Digital İndustry* **2:2**, 99-110.
- BAKICI C, AKGÜN RO, OTO Ç (2019). The applicability and efficiency of 3 dimensional printing models of hyoid bone in comparative veterinary anatomy education. *Vet Hekim Der Derg*, **90 (2)**: 71-75. DOI: 10.33188/vetheder.518909.
- BETHANY CG, ERKAL JL, LOCKWOOD SY, CHEN C, SPENCE DM (2020) . Evaluation of 3D Printing and Its Potential Impact on Biotechnology and the Chemical Sciences , Department of Chemistry, Michigan State University, 578 South Shaw Lane, East Lansing, Michigan 48824, United States.

- BILAL M, NEHA S, SHUAİSHUAİ C, FLORIAN SH, HANS-FLORIAN Z, FLORIAN M T (2020). Evaluation of the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Anatomical Mandibular Models Using FFF, SLA, SLS, MJ, and BJ Printing Technology" *J. Clin. Med.* 2020, **9**, 817; doi:10.3390/jcm9030817 www.mdpi.com/journal/jcm Published: 17 March.
- BUÈCKING TM, HILL ER, ROBERTSON JL, MANEAS E, PLUMB AA, NİKİTİCHEY DI (2017). From medical imaging data to 3D printed anatomical models. *PLoS ONE* **12(5)**: e0178540. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178540>.
- COMRIE ML, MONTEITH G, ZUR LA, OBLAK M, PHILLIPS J, JAMES FMK (2019). The accuracy of computed tomography scans for rapid prototyping of canine skulls. *PLoS ONE* **14(3)**: e0214123. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214123>.
- CSC (2012). 3d Printing and the future of manufacturing Lead Forum technology program. Erişim Adresi : [www.csc.com/3dprinting]. Erişim Tarihi:16.04.2020.
- CURA (2020). Vers: 4.9.1. Netherlands, USA, Erişim Adresi: [www.ultimaker.com]. Erişim Tarihi : 11.05.2020.
- DANIELA ALR, BEATRIZ LRG, JOSE CRJ, ANTONIO CEAN (2019). Comparative assessment of anatomical details of thoracic limb bones of a horse to that of models produced via scanning and 3D printing" Alcântara Leite dos Reis et al. 3D Printing in Medicine **5:13** <https://doi.org/10.1186/s41205-019-0050-2>.
- DANIEL BT, JESCCICA DH, BLAIR JD, JOHAN P (2016). 3D scanning and printing skeletal tissues for anatomy education" *J. Anat.* **229**, pp473--481 doi: 10.1111/joa.12484 Anatomical Society.
- DEMİR KBK, ÇAKA C, TUĞTEKİN U, DEMİR K, İSLAMOĞLU H, KUZU A (2016). Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinin Eğitim Alanında Kullanımı: Türkiye'deki Uygulamalar" *Ege Eğitim Dergisi* (17) **2**: 481- 503 Kabul Tarihi: 15 Kasım.
- DEIDRE Q-G, M KHAN J (2016). Thinking Outside of the Box: The Potential of 3D Printing in Veterinary Medicine." *J Vet Sci Technol* **7**: 360 doi:10.4172/2157579.1000360.
- DRIESCH A.V.D (1976). A GUIDE TO MEASUREMENTS OF ANIMAL BONES FORM ARCHAEOLOGICAL SITES. Peabody museum of archaeology and ethnology bulletin **1**; pp:20-51 Harvard University.
- ELIZABETH G, PETER L, FRANK JR, DIMITRIOS M (2017). Measuring and Establishing the Accuracy and Reproducibility of 3D Printed Medical Models. *RadioGraphics*; **37**:1424–1450 <https://doi.org/10.1148/rg.201716016>.
- ERDOĞUŞ HB (2019). Cerrahi Uygulamalarda Medikal Görüntülemenin Önemi ve Üç Boyutlu Anatomik Model Kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt **24**, Sayı **3** DOI: 10.17482/uumfd.415607 kabul: 05.09.2019.

- FARGO3DPRINTING (2020). How to Choose Between Cartesian and Delta 3D Printers, Erişim Adresi: [www.fargo3dprinting.com/choose-cartesian-delta-3d-printers/]. Erişim Tarihi: 26. 09. 2020.
- GUTMANN S, WINKLER D, MÜLLER M (2020). Accuracy of a magnetic resonance imaging-based 3D printed stereotactic brain biopsy device in dogs., *J Vet Intern Med*; **34**:844–851.https://doi.org/10.1111/jvim.1573.
- KAMIO T, HAYASH K, ONDA T, TAKAKI T, SHIBAHARA T, YAKUSHIJI T, SHIBUI T, KATO H (2018). Utilizing a low cost desktop 3D printer to develop a “one-stop 3D printing lab” for oral and maxillofacial surgery and dentistry fields. Kamio et al. *3D Printing in Medicine* **4**:6 https://doi.org/10.1186/s41205-018-0028-5.
- LITTER ROBOT (2019). 3d printing in veterinary medicine. Erişim Adresi: [www.litterrobot.com/blog/201901173d-printing-in-veterinary-medicine-medical-device-development]. Erişim Tarihi: 04.06.2019.
- MASSARI CH, PINTO A, DE CARVALHO YK, SILVA AF, MIGLINO MA (2019). Volumetric computed tomography reconstruction, rapid prototyping and 3D printing of possum head (*Didelphis albiventris*). *Int. J. Morphol.*, **37**(3):838-844.
- MESHMIXER (2018). Vers: 3.5. Autodesk Inc. Research. USA, Erişim Adresi: [www.meshmixer.com]. Erişim Tarihi: 17.04.2018.
- ÖZKADİF S (2015). Üç Boyutlu Rekonstrüksiyon Kullanılarak Yapılan Bazı Veteriner Anatmik Çalışmalar. *Batman University Journal of Life Sciences*; **Volume 5 Number 2**.
- QUINN-GORHAM, KHAN, (2016). Thinking Outside of the Box: The Potential of 3D Printing in Veterinary Medicine. *J Vet Sci Technol*, **7**:5 http://dx.doi.org/10.4172/2157-7579.1000360 3: 150643. http://dx.doi.org/10.1098/rsos.150643.
- SHARMA S, GOEL SA (2018). Three-Dimensional Printing and its Future in Medical World. *Journal of Medical Research and Innovation*. **3**(1): e000141. Doi: 10.15419/jmri.141.
- SUCUOĞLU HS, BOĞREKÇİ İ, DEMİRCİOĞLU P, GÜLTEKİN A (2018). The Effect of Three Dimensional Printed Infill Pattern on Structural Strength . *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, **5**(3); 785-796.
- THOMAS DB, HISCOX D J, DIXON BJ, POTGEIETER J (2016). 3D scanning and printing skeletal tissues for anatomy education. Institute of Natural and Mathematical Sciences, Massey University, Auckland, New Zealand *J. Anat.* (2016) **229**, pp:473-481 doi: 10.1111/joa.12484.
- WILHITE R, WÖLFEL I (2019). 3D Printing for veterinary anatomy: An overview. *Anat Histol Embryol*. 2019; **48**: 609–620. https://doi.org/10.1111/ahe.12502.
- ZHANG, CHENLONG (2015). 3d printing open-source technology and their applications in research”, Open Access Master's Report, Michigan Technological University.