



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ATEŞLİ SİLAH YARALANMALARINA BAĞLI KEMİK
TRAVMALARININ BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ VE 3
BOYUTLU BASKI TEKNİKLERİ İLE REPLİKA EDİLMELERİ**

H. Onur AÇIKSÖZ

DİSİPLİNLERARASI ADLİ BİLİMLER ANABİLİM DALI
ADLİ ANTROPOLOJİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Mert OCAK

ANKARA
2025

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATEŞLİ SİLAH YARALANMALARINA BAĞLI KEMİK
TRAVMALARININ BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ VE 3
BOYUTLU BASKI TEKNİKLERİ İLE REPLİKA EDİLMELERİ

H. Onur AÇIKSÖZ

DİSİPLİNLERARASI ADLİ BİLİMLER ANABİLİM DALI
ADLİ ANTROPOLOJİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Mert OCAK

ANKARA
2025

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Yüksek lisans tezi olarak hazırlayıp sunduğum ‘‘Ateşli Silah Yaralanmalarına Bağlı Kemik Travmalarının Bilgisayarlı Tomografi ve 3 Boyutlu Baskı Teknikleri ile Replika Edilmeleri’’ 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: H. Onur AÇIKSÖZ

Tarih: 07/03/2024

İmza:

KABUL VE ONAY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Disiplinlerarası Adli Bilimler Anabilim Dalında
Haydar Onur AÇIKSÖZ tarafından hazırlanan
“*Ateşli Silah Yaralanmalarına Bağlı Kemik Travmalarının Bilgisayarlı Tomografi ve 3
Boyutlu Baskı Teknikleri ile Replika Edilmeleri*” adlı tez çalışması
aşağıdaki jüri tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak OY BİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi:14.01.2025

Prof. Dr. Ayla Sevim Erol
Ankara Üniversitesi
Jüri Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi Mert Ocak
Ankara Üniversitesi
Üye

Doç. Dr. Ferhat Geneci
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Üye

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

İmza

Prof. Dr. Fügen AKTAN
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Ateşli Silah Yaralanmalarına Bağlı Kemik Travmalarının Bilgisayarlı Tomografi ve 3B Baskı Teknikleri ile Replika Edilmeleri

Ateşli silah travmalarından kaynaklı adli tıp muayenelerinde kemik analizleri olguların değerlendirilmesinde önemlidir. Kemik analizleri sonucunda deliller üzerindeki bulgular saptanabilir, travmaya sebep olan silahlar veya etkiler tanımlanabilir, travmanın yol açtığı hayati tehlikeler ile defekte sebebiyet veren objenin yönü ve yaklaşık mesafesi belirlenebilir. Bu travmaların biçimleri genellikle yuvarlak, eliptik/oval veya anahtar deliği şekillerinde defektler olarak gözlemlenirler. Travmanın şekli, objenin (mermi çekirdeği, saçma, vb.) kemiğe giriş açısına göre değişkenlik gösterir. Giriş ve çıkış delikleri, insan kemiğinde ateşli silah yaralanmalarına bağlı travmalarda iki önemli özelliktir. Bu deliklerin çevresinde kategorize edilerek biçimleri tanımlanan kırıklar da gözlemlenir. Bu kırık hatlarının sayısı ve şekli, kurşunun kemiğe giriş yaptığı andaki enerjisine göre değişmektedir. Kurşun enerjisinin (bu enerji kurşunun hareket hızına, boyutuna, kütlesine göre değişkenlik gösterir) yüksek olduğu kırıklarda; ışınsal kırıklar, konsantrik kırıklar ve multi-fragmentasyon defektleri görülür. Enerjinin düşük olduğu yaralanmalarda ise lineer kırıklar görülmektedir. Bazen kırığın rastlanmadığı vakalarla da karşılaşılabilirdiği bildirilmiştir.

Ateşli silahlardan kaynaklanan kemik travmalarının, kesici-delici veya künt travmalar ile karıştırılma riskinin bulunduğu durumlar da mevcuttur. Adli soruşturmalarda bu tür karışıklıklara mahal bırakılmaması, soruşturmanın sağlıklı bakımından esastır. Kemikte gözlemlenen defektlerin doğru incelenmesi önemlidir; bu takdirde olası karışıklık riskleri en aza indirgenmiş olacaktır. Ülkemizde de dünya genelinde olduğu gibi ateşli silahlardan kaynaklanan; bazen derecesi değişen yaralanmalara bazen de ölüme yol açan vakalarla oldukça sık düzeyde karşılaşılmaktadır. Bu vakalarda, soruşturmanın sağlıklı seyri açısından kemikte gözlemlenen hasarın, örneğin 'beveling force' (beveling etkisi) gibi pek çok metodolojik tanım ile değerlendirilip saptanması soruşturmaya yön ve sonuç vermektedir. Günümüzde özellikle bu alandaki pek az sayıda çalışmanın bulunduğu öncül ülkelerde, duruşmalarda ve ilgili laboratuvarlarda vakalara ait bulgular gerek yumuşak doku gerekse kemik doku içerir olsunlar, tıbbi görüntülemenin ardından 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak ortaya çıkarılan replikalar ile asıl materyalin korunması sağlanabilmektedir. Buna ek olarak, çok az bir maliyetle üretilebilen ve istenilen sayıda kopyalanabilen bu replikalar, orijinal materyal söz konusu olduğunda kimi zaman taşınmayı imkansız kılan biyolojik bozunma sebeplerinden, etik sebeplerden ve legal prosedürlerden doğan zorlukları aşarak ilgili soruşturmalara hızlı ve etkili bir alternatif sunmaktadırlar.

Bu çalışmada; bahsi geçen türden travmaya sahip olan randomize biçimde seçilmiş 15 adet vakanın tıbbi inceleme görüntüleri belirli safhalardan geçirilerek işlenip bu veriler 3 boyutlu baskı teknolojisi ile birebir kopyalara dönüştürülecek, üretilen modellerin vakaların tomografi verileri ile olan tutarlılıkları incelenecek, adli ve medikal kullanım alanları tanımlanacak ve elde edilen sonuçlar analiz edilecektir.

Anahtar Kelimeler: 3 Boyutlu Baskı, Adli Antropoloji, Ateşli Silah Yaralanmaları, Kemik Travması, Tomografi

SUMMARY

Replication of Bone Injuries Due to Gunshot Wounds Using Tomography and 3D Printing Techniques

Bone analyses keeps a crucial place in forensic medical examinations that related to gunshot traumas. Through the bone analyses, findings on the evidence can be identified, weapons or forces causing the trauma can be characterized, and critical factors such as the life-threatening impacts of the trauma, as well as the direction and approximate distance of the defect object, can be determined. The patterns of these defects are typically observed as shapes like circular, elliptical/oval, or keyhole shapes. The structure of the trauma varies depending on the angle for the object (bullet core, pellets, etc.) enters the bone. Entrance and exit holes are two key characteristics in gunshot trauma to human bone. Fractures, categorized by shape around these wounds, can also be observed. Total number and shape of these fracture lines vary depending on the energy of the bullet core at the moment of impact to the bone. In cases where the bullet core's energy is high (which changes based on the bullet's velocity, size, and mass), radial fractures, concentric fractures, and multi-fragmentation defects could be observed. In injuries with low energy, linear fractures are typical. It has also been reported that there are cases where the fractures are not exist at all.

There are some situations that the firearm caused bone traumas could be confused with sharp-force or blunt-force traumas. It is crucial to avoid such possible confusions to ensure the reliability of the inquiry in forensic investigations. Also examination and observation of the bone defects in a right way is essential; thus, the possible risk of confusion could be minimized. In our country, similar as worldwide, gunshot related incidents frequently happens, that resulting injuries of multiple degrees and, sometimes death. In such cases, for the solid progression of the investigation, the bone damage must be evaluated and identified using various methodological definitions, such as 'beveling force,' which provides a route and result to the investigation. Nowadays, especially in the leading countries with a few number of studies in this field of work, findings from forensic cases presented in courtrooms and related authorized laboratories, whether they involve soft tissue or bone can be preserved by creating replicas using 3D printing technology following medical imaging. In addition, these replicas, which can be produced at a very low cost and replicated in any desired quantity, provide a rapid and effective alternative for the investigations by overcoming challenges such as biological decaying, ethical concerns, and some legal procedures, which sometimes make transporting the original materials impossible.

In this study, 15 randomly selected medical imaging data cases with trauma of the mentioned type, will be processed through specific stages, and these data will be transformed into exact replicas using 3D printing technology. The consistency of the produced models with the tomography data and the original cases will be examined, forensic and medical applications will be defined, and the obtained results will be analyzed.

Keywords: 3D Printing, Bone Trauma, Forensic Anthropology, Gunshot Wounds, Tomography

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
Özet	iv
Summary	v
İçindekiler	vi
Önsöz	viii
Simgeler ve Kısaltmalar	ix
Şekiller	x
Çizelgeler	xii

1. GİRİŞ	1
1.1. Bilgisayarlı Tomografi (BT)	2
1.2. 3B Yazıcı Teknolojisi ve Cihaz Türleri	3
1.2.1. Stereolitografi (SLA)	3
1.2.2. Binder Jetting (BJ)	4
1.2.3. Material Jetting (MJ)	4
1.2.4. Selective Laser Sintering (SLS)	4
1.2.5. Fused Deposition Modeling (FDM)	4
1.3. Travma Türleri	6
1.4. Balistik Bilimi	7
1.4.1. İç Balistik	8
1.4.2. Dış Balistik	8
1.4.3. Adli Balistik	8
1.4.4. Hedef Balistiği	8
1.5. Ateşli Silah İncelemeleri ve Yara Balistiği	9
1.6. ATS Kaynaklı Kemik Travma Patternleri	9

2. GEREÇ VE YÖNTEM	11
2.1. Verilerin Elde Edilmesi	11
2.2. BT Tarama Parametreleri	12
2.2.1. Gövde (Thorax) BT Parametreleri	12
2.2.2. Karın Bölgesi (Abdomen) BT Parametreleri	12
2.2.3. Üst Ekstremité BT Parametreleri	12
2.2.4. Alt Ekstremité BT Parametreleri	13

2.3. Kemik Travmalarının Tespiti ve Segmentasyon İşlemi	13
2.4. Segmente Edilen Verinin Kırılması ve 3B Ham Modellere Dönüştürülmesi	16
3. BULGULAR	41
3.1. Karşılaştırmalı Ölçümler ve Saptamalar	41
3.2. İstatistiksel Analiz	48
4. TARTIŞMA	49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	54

ÖNSÖZ

İnsan osteolojisinde; adli antropoloji bağlamında ve ateşli silah travmaları özelinde güncel metotlar kullanılarak yeni yaklaşımlarda bulunulması hedeflendi. Dünyada birçok sektörde olduğu gibi medikal alanlarda ve adli bilimlerde de yavaş yavaş öncül örneklerini gördüğümüz 3 boyutlu baskı teknolojisi ile radyoloji teknikleri harmanlandı. Adli bilimler dahilinde en yeni teknolojiler ve yazılımlardan istifade ederek hazırladığım tez çalışmamın literatürde ve sahada faydalı olabilecek nitelikte olması yegane temennimdir.

Bu yolda; engin bilgisi ve kılavuzluğu ile öğrenimimde büyük katkısı olan sayın hocam Prof. Dr. Ayla SEVİM EROL'a, hiçbir desteğini esirgemeyen, daima ilgili, hem akademik hem de hayatın içinden konularda mentörüm olan, öğrenimim ve gelişimimde büyük emek ve katkı sahibi, bilimsel ve sosyal yaklaşımındaki tecrübe ve disiplinine hayranlık duyduğum sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mert OCAK'a, ihtiyacım olan her konuda beni destekleyen değerli çalışma ve laboratuvar arkadaşım, ekip liderim, ağabey ve dostum sevgili Cumali ÇATAK'a, gerek laboratuvar ortamı gerekse akademik hususlarda talep ettiğim destekleri her zaman güler yüz ile karşılayan, ihtiyaç duyduğum ekipman ve olanakları bana sağlamaktan asla imtina etmeyen değerli Dr. Öğr. Üyesi Arda BÜYÜKSUNGUR hocama, tez materyalimin temininde yardımlarına minnet duyduğum hocalarım Doç. Dr. Zehra AKKAYA ve Doç. Dr. Melahat KUL'a, teknik bilgileriyle her an birikimimi zenginleştiren sevgili Orçun GÜVENER'e, yazım sürecinde bana önerdiği güncel yayınlar ile ufkumu genişleten değerli hocam Prof. Dr. Nergis CANTÜRK'e, tabloları düzenlememde ve kemik ölçümlerinde bana yardımcı olan meslektaşım ve değerli dostum Elif Aze BOL'a, mensubu olmaktan gurur duyduğum Ankara Üniversitesi'ne ve yaşamım boyunca tüm güçleri ile arkamda duran sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

SİMGELER VE KISALTMALAR

3B	Üç boyutlu
ABS	Akrilonitril Butadien Stiren
ATS	Ateşli Silah
BJ	Binder Jetting
BT	Bilgisayarlı Tomografi
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
EGY	En Geniş Yer
FDM	Fused Deposition Modelling
GCODE	Geometric Code
HU	Hounsfield Unit
KK	Kesit Kalınlığı
kV	Kilovolt
mA	Miliamper
Mm	Milimetre
PLA	Polilaktik Asit
ROI	Region of Interest
SLA	Stereolithography
SLS	Selective Laser Sintering
STL	Standard Triangle Language
TPU	Termoplastik Poliüretan
UV	Ultraviyole
VOI	Volume of Interest

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Yaygın BT çeşitleri (a, b, c, d)	2
Şekil 1.2. Farklı çalışma prensibine sahip 3B yazıcı çeşitleri	6
Şekil 2.1. RadiAnt yazılımı ile kemik travmalarının saptanması	13
Şekil 2.2. HU değeri ayarlanması ve kemik dokuya yönelik eşikleme (threshold)	14
Şekil 2.3. Yumuşak dokuların dışlanıp kemik dokuların izole edilmesi.	14
Şekil 2.4. Kontrast maddeden dolayı arterlerin de kemik ile birlikte görünmesi (Vaka 13)	15
Şekil 2.5. Femoral arterin Meshmixer yazılımı ile modelden ayrılması (Vaka 13)	16
Şekil 2.6. Vaka 1'e ait segmentasyon işleminde tüm iskelet görünümü	18
Şekil 2.6.1. Vaka 1'e ait travma bölgesinin ROI ve VOI içerisine alınması	18
Şekil 2.6.2. Vaka 1'e ilişkin travmalı alanın izole edilmesi	19
Şekil 2.6.3. Fazlalıkların Meshmixer ile temizlenmesi (Vaka 1)	19
Şekil 2.6.4. Vaka 1'in 3B baskısı	20
Şekil 2.7. Vaka 2'nin kemik doku segmentasyonu	20
Şekil 2.7.1. STL modeli oluşturulması ve çapak giderme işlemi	21
Şekil 2.7.2. Meshmixer yazılımı üzerinde STL modeli oluşturulması ve çapak giderme işlemi	21
Şekil 2.7.3. STL dosyası oluşturulması ve modelleme	22
Şekil 2.7.4. İlgi alanı dışında kalan yapıların modelden temizlenmesi	22
Şekil 2.7.5. Modelin transparan incelemesi	23
Şekil 2.7.6. Modelin STL formatındaki son hali	23
Şekil 2.7.7. Modelin Slicer yazılımı ile baskıya hazırlanması	24
Şekil 2.7.8. Modelin destek (support) yapılarının ayarlanması	24
Şekil 2.7.9. Baskı aşamasından önce açılar ve parametrelerin ayarlanması (Vaka 2)	25
Şekil 2.7.10. Kostaların sternal uçlarından kumpas ile ölçüm yapılması (Vaka 2)	26
Şekil 2.8. Segmentasyon işlemi (Vaka 3)	27
Şekil 2.8.1. Travma alanının izole edilmesi (Vaka 3)	27
Şekil 2.8.2. Anatomik düzlemlerde VOI alanının belirlenmesi (Vaka 3)	28
Şekil 2.8.3. Belirlenen noktalardan manuel ölçümlerin yapılması (Vaka 3)	29
Şekil 2.9. Vakaya göre optimal baskı parametrelerinin hesaplanması (Vaka 4)	30
Şekil 2.9.1. Superior görünümünden destek yapılarının ayarlanması (Vaka 4)	30
Şekil 2.9.2. Mermi geliş açısı ve trasesinin saptanması (Vaka 4)	31
Şekil 2.10. Yüzey hatalarının minimal müdahale ile düzeltilmesi (Vaka 5)	32
Şekil 2.11. Segmentasyon sonrası modelleme (vaka 10)	32
Şekil 2.11.1. Baskı sonrası distal falanksların kumpasla ölçülmesi (vaka 10)	33
Şekil 2.11.2. Distal falanksların dijital veri üzerinden ölçülmesi (vaka 10)	34
Şekil 2.12. Vaka 16'nın segmentasyonu	34
Şekil 2.12.1. Vaka 16 modelleme işlemi	35
Şekil 2.12.2. İlgi alanı dışından "plane cut" ile kırma işlemi (Vaka 16)	35
Şekil 2.12.3. Mandibuladaki (coronoid process) defektin izlenmesi (Vaka 16)	36

Şekil 2.12.4. Mermi trasesinin ve giriş-çıkış açısının saptanması (Vaka 16)	37
Şekil 2.12.5. Sağ orbita lateralinden giren merminin zigomatik hizasında çıkışı (Vaka 16)	38
Şekil 2.12.6. Pterion bölgeleri arası ölçümler (Vaka 16)	39
Şekil 2.12.7. Zigomatik arkta 9 mm ölçülen mermi çıkış deliği.	40



ÇİZELGELER

Çizelge 1.1. A.Ü. Tıp Fakültesi İbn-i Sina Hastanesi'nden talep edilen vakaların ICD kodları	11
Çizelge 2.1. Dosya formatlarının işlenme sırası ve her aşamada kullanılan yazılımlar ile sürümleri	17
Çizelge 2.2. Temel Baskı Parametreleri	17
Çizelge 3.1. Vakaların numara, yaş, cinsiyet, travma bölgeleri ve ek bulguları	41
Çizelge 3.2. Belirlenen noktalardan mm cinsinden kumpas ölçümleri	43
Çizelge 3.3. Belirlenen noktalardan mm cinsinden dijital ölçümler	45
Çizelge 3.4. Travma patternleri	47
Çizelge 3.5. İstatistiksel analiz sonuçları	48

1. GİRİŞ

Adli antropoloji, biyolojik (fiziki) antropolojinin yöntemlerinden yararlanarak kimliği bilinmeyen kayıp şahıslara, veya kimliği belirlenemeyen kaza, felaket, doğal afetler, savaşlar, adli vakalar sonucu yaşamını yitirenlere ait iskelet buluntuları ile biyolojik profil çıkarmayı ve kimliklendirme yapmayı amaçlayan bilim dalıdır. Bu alandaki çalışmalar vaka durumuna göre iskeletleşmiş veya iskeletleşmeye başlamış, donmuş, mumyalaşmış, sabunlaşmış veya ısıya maruz kalmış insan kalıntılarını içermektedirler. Adli antropologlar, iskelet kalıntılarını içeren güncel veya geçmiş olayların aydınlatılmasında, incelenen buluntuların insana veya hayvana ait olup olmadığını ve adli önem arz edip etmediğini saptamada ve muhtemel ölüm nedeninin belirlenmesinde rol almaktadırlar. (Çeker, 2017)

Adli antropoloji; kimliklendirme yapılırken osteolojik metotları kullanan bir bilim dalıdır. Kimliklendirme sürecinde biyolojik profil belirlemek esastır. Maktüllerin biyolojik profillerinin belirlenmesi sürecinde iskeletten cinsiyet, yaş, boy, dental veriler, etnik köken tayini ve patolojik saptamalar yapılabilmektedir. Özellikle genetik testlerin yetersiz kaldığı durumlarda adli antropolojik metotlar daha da önem kazanmaktadır. Bu bilimin ilgi alanına giren vakaların incelenme süreçlerinde, kalıntıların insana mı yoksa bir hayvana mı ait olduğu hususunda ayırt edici saptamaların da yetkinlikle yapılması gerekmektedir. Dolayısı ile adli antropoloji biliminde iskelet veya iskeletleşmiş kalıntılar üzerinde çalışılırken, mevcut kalıntıların insana veya hayvana ait olup olmadığının belirlenmesi hayati derecede elzem bir husustur ve bu husus ayrıca bu bilim dalının faydalanmakta olduğu alt ve üst bilim dallarına bakılarak multidisiplinerliği hakkında fikir vermelidir.

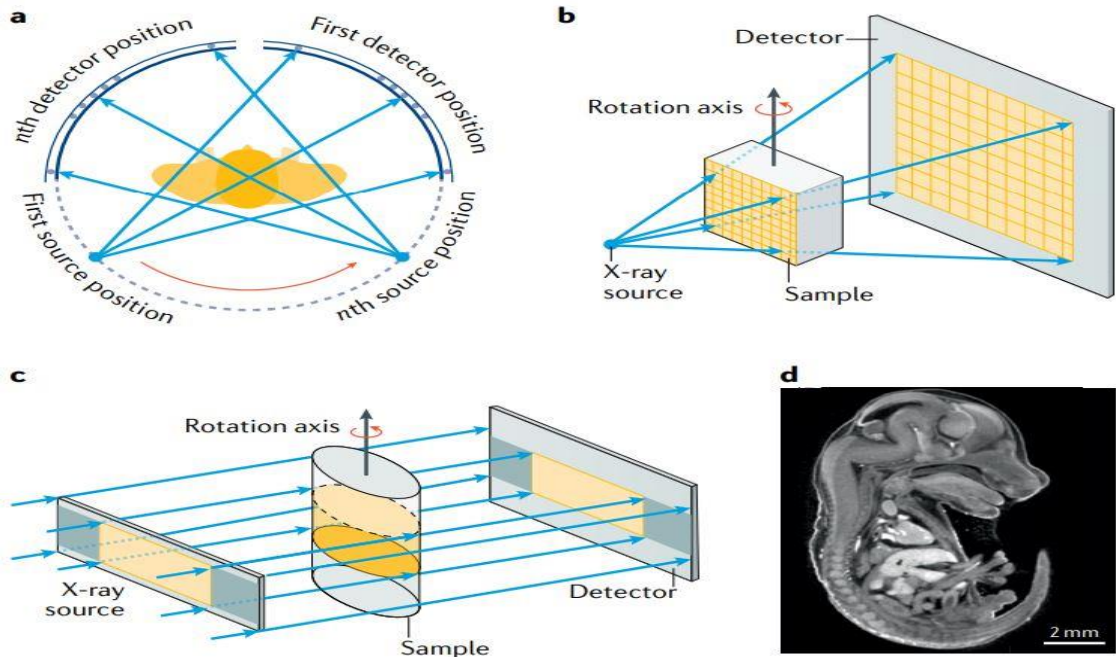
Adli antropoloji, ateşli silah travmalarının kemik üzerindeki defektlerinin incelenmesinde de kritik bir rol oynar ve bu alanda önemli bir bilimsel disiplindir. Adli antropolojik travma analizlerinin, kemik dokuya odaklanılan bir bilim dalı olmasından ötürü belirli ve kendine has özellikleri, yöntemsel derinlikleri mevcuttur. Buna örnek olarak kemik kırılmalarında izlenen kırık ve çatlak hatlarının kategorilere ayrılmış olup, travma bulgusuna sebep olan etkenin künt bir cisimle mi, kesici/delici bir alet ile mi yoksa bir ateşli silah yaralanması kaynaklı mı olduğu saptanabilmektedir.

Yangın veya örneğin uçak kazaları gibi durumlarda; maktüllerin ve iskeletlerinin yüksek sıcaklığa maruz kaldığı durumlarda ise yine kemik doku üzerindeki spesifik izlerin incelenmesi ile olaya ilişkin ortamdaki sıcaklığın derecesi dahi bulunabilmektedir. (Thomas, 2003)

1.1. Bilgisayarlı Tomografi (BT)

Bilgisayarlı Tomografi görüntüleri, kemik travmalarının detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanır. Bu görüntüler, yaralanmanın türünü, derinliğini ve etkilediği kemik dokusunu görsel olarak net bir şekilde gösterir. X Işınlarnın dokuları penetre etme özelliği sayesinde, tıpkı 2 boyutlu Röntgen tekniğinde olduğu gibi bilgisayarlı tomografide de yapıların içlerini görüntüleyebilmek mümkündür. Özellikle ateşli silah yaralanmalarında, bu görüntüler, kurşun veya diğer mermi parçalarının vücutta nasıl bir iz ve hasar bıraktığını anlamamıza yardımcı olur. Travma etkilerini gerek trabeküler gerekse kortikal kemik dokularında detaylı incelemeye olanak tanır.

BT teknolojisi ile çoklu-düzlemsel görüntüler elde edilebilmektedir. Tetkikin yapılması sırasında, incelenecek bölgenin/yapının volümetrik (hacimsel) verileri elde edilir. Daha sonra bu veri seti kullanılarak istenilen anatomik eksenlerde veya geometrik düzlemlerde görüntüler multiplanar yapılandırma yöntemi ile oluşturulur. İhtiyaç duyulduğunda, 3 boyutlu hacimsel modeller de elde edilebilir. Özellikle bazı kanamalı vakalarda tarama esnasında İntravenöz kontrast madde kullanılarak vasküler yapıların görüntülerini de oluşturabilmek mümkündür. (Sarısoy, 2010)



Şekil 1.1. Yaygın BT çeşitleri; Gantry sistemi (a), Konik Işınlı (b), Paralel ışınlı (c), Zayıflama kontrastlı (d). (Withers vd., 2021)

Ayrıca daha küçük obje ve alanlara daha yüksek çözünürlükte odaklanabilen Mikro-BT de bir diğer BT çeşididir fakat yüksek fiyatı ve bakım maliyetleri sebebi ile diğer yöntemler kadar yaygın değildir. Bilgisayarlı Tomografi ve 3B (3 Boyutlu) baskı teknolojileri, adli ve medikal alanlar için

önemli olup aynı zamanda gelecek vadeden araçlardır. BT görüntüleri, kemik travmalarının detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanırken, 3B baskı teknolojisini, bu travmaların anatomik modellerini üretmek için kullanmak mümkündür. (Errickson vd., 2014) BT teknolojisini “beam” adı verilen kaynaktan üretilen iyonize radyasyonun objelerin içinden geçmesi ve bunu kaydeden algılayıcı panelin radyasyonu dijital görüntülere dönüştürmesi şeklinde tanımlamışlardır. Aslında yapılan; X ışınlarını kullanarak elde edilen 2 boyutlu kesitsel Pixel’lerden ibaret görüntülerin, rekonstrükte edilmesi ile 3 boyutlu Voxel yani volumetrik görüntüye dönüştürülmesidir.

1.2. 3B Yazıcı Teknolojisi ve Cihaz Türleri

3B baskı teknolojisi, Polilaktik Asit (PLA), Akrilonitril Butadien Strien (ABS), Termoplastik Poliüretan (TPU) gibi belirli bir dolgu materyali ile nesnelerin yekpare olarak veya parçalar halinde üç boyutlu bir düzlemde meydana getirilmesi veya reçine (resin) gibi ışıık ile sertleşecek özel bazı kimyasalların kullanımı gibi, her gün gelişmekte olan teknolojiler ile pek çok ayrı çalışma prensibi olan bir uygulamadır.

3B baskı, bir malzemenin sıralı halde X, Y ve Z eksenlerinde üç boyutlu bir model oluşturma sürecinin ürünüdür. Bu teknik, malzemelerin üst üste eklenmesinden dolayı eklemeli üretim (additive manufacturing) olarak isimlendirilmiştir. Eğer ürün hem çıkartılarak hem de eklenerek elde ediliyorsa hızlı prototipleme (rapid prototyping) olarak adlandırılır. Dijital modeller, bilgisayarlı tomografi (BT) gibi volumetrik verilerden, lazer tarayıcılardan veya sanal ortamda elle dizayn şeklinde elde edilebilirler. Sonrasında ise sırasıyla görüntü edinme, görüntü işleme, 3B model oluşturma ve oluşturulan verinin 3B yazıcı diline dönüştürmesi gerekir. Bu aşamalardan sonra model, STL (Standard Triangle Language) formatına getirilerek dilimleme (slicing) yazılımları yoluyla 3B yazıcıların okuyabildiği GCODE (Geometric Code) diline çevrilir. (Carew ve Errickson, 2020)

1.2.1. Stereolitografi (SLA)

Lazer benzeri bir ışıık kaynağı ile belirlenen alanların kürlenmesi prensibinde sıvı formdaki plastik ya da fotopolimer malzeme kullanır. Bu ışıık kaynağının yardımıyla sıvı fotopolimer reçinenin (resin) katman katman sertleştirilmesi hedeflenmektedir. SLA, ince detay gerektiren modeller için elverişli olduğundan sıklıkla tercih edilmektedir. Adli antropolojide küçük ya da parçalanmış kemikler ya da bebek kalıntıları gibi hassas yapıların kopyaları için kullanıma uygundur. Ayrıca küçük ve hassas kafatası replikaları için de yararlanılabilecek bir teknolojidir. Model oluşurken, katman katman baskı yapılarak her katman için kürlenme yapılır. Platform genellikle malzeme havuzuna batacak biçimde aşağı-yukarı doğru hareket eder. Model UV ışıığı ile ürün güçlendirilir ve destek yapıları temizlenerek son halini alır. (Maines vd., 2021)

1.2.2. Binder Jetting (BJ)

Yapışkan püskürtme yöntemi olarak Türkçeleştirilen bu teknikte; toz biçimindeki malzemeler ayarlanan katman kalınlığında bir platform üzerine, dönen bir silindir ya da benzer işlevi görecektir değişik mekanik bileşenler vasıtasıyla serildikten sonra yazıcı kafasıyla belirlenen bölgelere yapışkan püskürtülür ve böylelikle toz materyalin birleştirilmesi sağlanır. Prensipde bu metotda, her türden materyal ile parça üretmek mümkündür. Ancak metal malzemeden üretilen parçaların verimi daha düşüktür. (Baş vd., 2022)

1.2.3. Material Jetting (MJ)

Malzeme jetleme yönteminde; plastik, metal, balmumu gibi sıvı fotopolimer malzemeler kullanılır. Kullanılan materyal, geleneksel bir mürekkep püskürtmeli yazıcıya benzer şekilde baskı tablasına püskültüldükten sonra ışık ve ısı kullanılarak kürlenir. Çeşitli renkler ve malzemeler tek bir fiziksel replika için kullanılabilir. Model desteği için jel veya balmumu gibi kolay çıkarılabilir maddeler seçilir. (Güvener, O., 2021)

1.2.4. Selective Laser Sintering (SLS)

Seçici lazer sinterleme yönteminde; metal, seramik, cam veya plastik gibi bir toz malzeme yatağı, lazer ya da elektron ışığı gibi yüksek bir enerji kaynağı kullanarak seçici ve kontrollü olarak materyalleri birbirine kaynaştırma prensibi ile çalışmaktadır. Model sinterlenmemiş toz materyal tarafından desteklenir. (Fina vd., 2017)

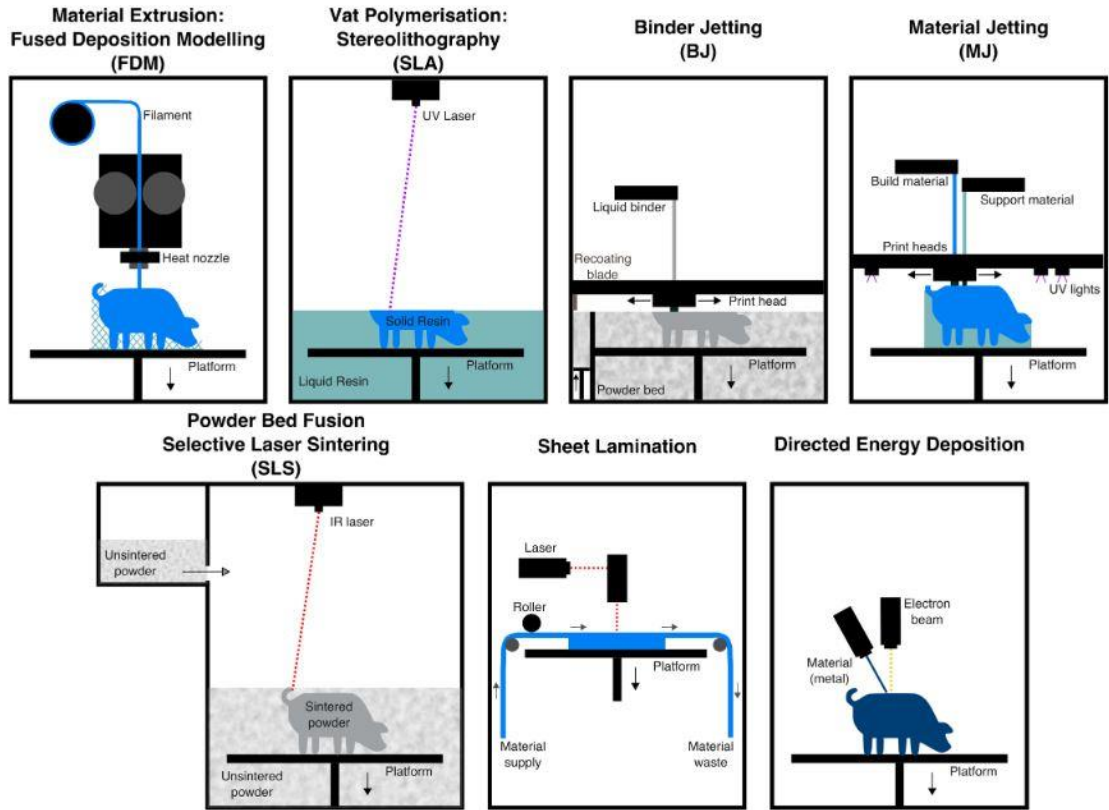
1.2.5. Fused Deposition Modeling (FDM)

PLA, ABS, TPU ve gün geçtikçe eklenen benzer çeşitlerdeki termoplastik malzemeleri eriterek üst üste yatay katmanlar oluşturma prensibine dayalı baskı yapan bir yöntemdir. FDM makinelerin kullandığı bu plastiklere filament adı verilir ve bir makaraya sarılmış şekilde depolanıp kullanılmaktadırlar. Diğer baskı yöntemlerini kullanan makinelere göre FDM baskı makineleri, sarf malzemeleri konusunda erişilebilirlik ve maliyet olarak daha avantajlıdır fakat daha az çözünürlük (baskı yüzey kalitesi) sunarlar ve bu durum özellikle küçük boyutlu baskılarda, örneğin diş gibi modellerde gerçekçiliği tam anlamıyla yansıtmakta eksik kalabilmektedir. Yatay katmanlar halinde ilerleyen süreçten dolayı baskılar üzerinde çizgisel izler görülebilmektedir. Bu açığı gidermek için üretim sonrası bazı yüzeylerde uygun kalınlıkta zımparalar veya aynı görevi görecektir aşındırıcı tel fırçalar kullanılabilir. FDM makinede baskı yapmak için tabla (hot-bed), kullanılacak filament

türüne/markasına ve ortam sıcaklığına göre yapışmayı sağlamak için belirlenen derecede ısıtılır. Bu tabla bazı cihazlarda sabitken bazılarında ise yatay veya dikey eksenlerde hareketli olabilmektedir. Ardından nozül (nozzle) yine aynı kriterlere göre ısıtılır. Bu işlemler dizisine ön ısıtma (pre-heat) denmektedir. Dilimleyici yazılım ile (slicer) baskıya hazırlanan modelin baskısı başlatıldığında tabla sıcaklığı, nozül sıcaklığı, basma/püskürtme hızı gibi temel parametrelere tıpkı bir torna cihazı gibi işlem sırasında manuel olarak müdahale etmek de mümkündür. Baskı sırasında ne kadar çok parametreye müdahale edilebileceği ise kullanılan baskı cihazının marka ve modeline göre değişiklik göstermektedir. (Day ve Speers, 2019)

FDM, bir veya modele göre birden fazla ekstrüzyon nozülü (filament çıkış ucu) bulunan sıcak ekstrüzyon başlığından püskürtülen termoplastik veya kompozit malzemelerin ekstrüzyonuna dayalı gelişmiş bir teknolojidir. (Edelmers vd., 2021)

2 Boyutlu X ve Y eksenlerine ek olarak Z ekseninin yani derinliğin eklenmesiyle 3 boyutlu bir uzay alanı elde edilmiş olur. Baskı; kayış ve dişliler üzerinde elektronik motorlar ile hareket eden başlığın bu eksenlerde belirlenen yerlere, eritilmiş materyalin yakın mesafeden püskürtülmesi ile oluşur. Bunu yaparken nozülün Z düzlemi üzerinde katman katman yükselmesi gerekmektedir. Oluşturulacak katmanın altında onu tutabilecek açıda herhangi bir katman yoksa, makine bu 3 boyutlu uzayda boşluğa baskı yapamayacağı için önceki alt katmanlardan itibaren ‘destek’ katmanları oluşturarak ilerler. Bu desteklerin yapıları, şekilleri, katman kalınlıkları, açıları, dolgu yoğunlukları yanı sıra çok başlıklı makinelerde veya filament değiştirilen durumlarda rengi ve malzemesi de değiştirilip ayarlanabilmektedir. Destek yapıları, ana malzemeyi baskı sonuna dek stabil biçimde tutacak güçte ve özellikte ama aynı zamanda da baskı işlemi bittiğinde modelden kolay sökülüp temizlenebilecek ve model üzerinde minimum iz veya kalıntı bırakacak nitelikte ayarlanmalıdır. Tabla yapışmaz teflon bir malzemeden, metalden, bazı cihazlarda camdan imal olabilmektedir. Aynı şekilde nozül başlıklar da pirinçten, çelikten veya aşınmaya dayanıklı titanyumdan üretilmektedir. Her malzemenin ısınma hızı ve aşınmaya dayanıklılığı farklıdır. Bu çalışmada baskılar, FDM tipi makine ile alınmıştır. Kullanılan makine ve seçilen bileşimler, nozül başlığının kalınlığı ve baskı parametreleri bilgileri Gereç ve Yöntem kısmında detaylı biçimde anlatılacaktır.



Şekil 1.2. Farklı çalışma prensibine sahip 3B yazıcı çeşitleri. (Carew ve Errickson, 2020)

Bu çalışma, BT ve 3B baskı teknolojilerini birlikte kullanarak adli antropoloji alanında yeni bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır. Ateşli silah yaralanmalarına bağlı kemik travmalarının bu teknolojilerle nasıl daha etkili bir şekilde incelenebileceği ve bu bilginin adli tıp uygulamalarında, adli süreçlerde nasıl kullanılabileceği konusu bulgular ışığında tartışılacaktır. ATS (Ateşli silah) yaralanmalarına bağlı kemik travmalarının bu teknolojilerle nasıl replika edilebileceği, bu replikaların adli antropoloji ve adli tıp alanlarında kullanılabilmesi açısından orijinal veriyle olan tutarlılığı incelenecektir.

1.3. Travma Türleri

Adli antropoloji bağlamında travma türleri, iskeletsel analizlerde kilit rol oynamaktadır. Travmalar, kişinin yaşamı boyunca, ölüm öncesinde (ante-mortem), ölüm sırasında (peri-mortem) veya ölüm sonrasında (post-mortem) karşılaştığı ya da maruz kaldığı yaralanma ve hasarları ifade ederler. İskeletsel travmaların kategorize edilmesi, travmanın türünü, şiddetini ve olası nedenini anlamamıza yardımcı olabilmekte, soruşturmanın seyrini doğrudan etkileyebilmektedir. (Çeker ve Sevim Erol, 2022). Travma türlerini kategorize edebileceğimiz ana başlıkları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Kırıklar (Fractures): Fraktürler,
- Yerinde Kırıklar (Greenstick): Kemik kırılmasının sadece bir tarafında meydana gelen kırıklar,
- Kompleks Kırıklar (Compound): Kırığın cilt yüzeyinden dışarıya çıktığı kırıklar,
- Basit Kırıklar (Simple): Cilt bütünlüğünün korunduğu kırıklar,
- Dislokasyonlar (Dislocations): Deplase, yerinden oynamış veya ayrılmış yapılar,
- Kontüzyonlar (Contusions): Ezilme sonucu oluşan travmalar,
- Kesikler (Lacerations): Laserasyonlar,
- Morluklar (Bruises): Ciltte kan toplanması,
- Keskin bir nesneyle oluşturulan düzgün kenarlı yaralar: Kesici travma,
- Delici Yaralar (Puncture Wounds): Sivri ve dar bir cisimle oluşan travmalar,
- Ateşli Silah Yaraları (Gunshot Wounds): Kurşun veya diğer mermi türleriyle (saçma) oluşan yaralar,
- Termal Yaralar (Thermal Injuries): Yanıklar veya donmalar gibi sıcaklıkla ilişkili yaralar.

Bu travma çeşitleri, adli antropolojik analizlerde ve travma tespitinde kullanılırlar. Her travma türü iskelet üzerinde kendine özgü biçimde, farklı bir iz bırakabilir ve bu izler, travmanın nedenini ve şiddetini anlamamıza yardımcı olabilir. Bu analizlerden elde edilen bulgular, adli vakalarda önemli bir rol oynamaktadır. (Love ve Wiersema, 2016)

1.4. Balistik Bilimi

Balistik kelimesinin kökeni Roma İmparatorluğu'na dayanmaktadır. Roma İmparatorluğu ordusunca kuşatmalarda, büyük okları ve gülleleri kale veya tahkim surlarına mekanik olarak fırlatmak için kullanılan mancınığa Latince "Ballista" denildiği bildirilmiştir. Bu silahları kullanan personelin, hedef alanına isabet sağlamak amacıyla hesaplamalar yapması ve silahı ayarlaması, modern balistiğin ilk uygulamalarını oluşturmuştur. (Egemen, 2021)

Balistik biliminin güncel manasıyla tanımı: Fişegın ateşlenmesiyle; yanma odasında (fişek yatağı) ve namlu kısmında meydana gelen basınç-ısı değişimlerini, mermi çekirdeğinin namlu içerisindeki ivmeli hareketini, havadaki seyir hareketlerini, hedef üzerinde yarattığı etkiyi inceleyen bilim dalı olarak yapılmaktadır. Balistik biliminin incelediği alanın çok geniş olması ve birbirlerinden tamamen farklı fiziksel kuvvetlerin etkilerinden ötürü alt başlıklar dört alt bilim dalına ayrılmıştır. (Özgüder vd., 2017)

Bunlar şu şekilde sıralanabilirler:

- İç Balistik

- Dış Balistik
- Adli Balistik
- Hedef Balistiği

1.4.1. İç Balistik

Fişekte yer alan itiş barutunun yanmaya başlamasından, çekirdeğin namludan ayrılmasına kadar geçen süre içerisinde, fişek yatağında ve namluda meydana gelen olayları (basınç-ısı değişimleri, mermi çekirdeğinin namlu içerisindeki hızını, ivmesini vb.) inceleyen bilim dalı olarak tanımlanabilir. (Özgüder vd., 2017)

1.4.2. Dış Balistik

Namludan ayrılan mermi çekirdeğinin, silahın namlusu ile hedef arasındaki fiziksel hareketlerini, aerodinamik kuvvetlerin moment sistemlerini, meteorolojik değişkenleri ve bunlara etki eden dünyanın karakteristik özelliklerini inceleyen bilim dalıdır. Dış balistikte atış, atmosferik şartlar ve vakumlu ortamlar olmak üzere iki koşul altında incelenmektedir. (Özer, 2008)

1.4.3. Adli Balistik

Ateşli ve ateşsiz silahların kullanıldığı olaylarda, olay yerinden elde edilen balistik bulguların, balistiğin alt bilim dallarının temel kaideleri ve adli balistik biliminin metotları kullanılarak incelendiği; bulguların, delil kimliğine kavuşturulduğu bilim dalıdır. (Özgüder vd., 2017)

1.4.4. Hedef Balistiği

Mermi çekirdeği, şarapnel ve av tüfeği saçmalarının katı-akışkan zeminler üzerinde meydana getirdikleri tahribatlara ve deformasyonlarına etki eden faktörleri, hedef ve mermi çekirdeği açısından inceleyen bilim dalıdır. Mermi çekirdeğinin isabet ettiği hedefin canlı organizma olması durumunda, Hedef balistiği kaideleri kullanılmaz. Canlı organizmalar üzerindeki mermi çekirdeği etkileri konusunda yara balistiği biliminin kaideleri dikkate alınır. (Uzar vd., 2019)

1.5. Ateşli Silah İncelemeleri ve Yara Balistiği

Ateşli silah incelemeleri mekanik inceleme ve tetkik, hukuki inceleme, tanımlama ve varsa silahı tespit edilemeyen olaylar arşivi incelemesi olmak üzere dört aşamada gerçekleşmektedir. Her bir aşama, inceleme sonrası hazırlanan uzman görüşlerinin yer aldığı raporlar ile belirtilmektedir.

Mermi çekirdeği bir canlıya isabet ettiğinde bu etkiyi yara balistiği inceler. Bu açıdan ele alındığında mermi çekirdeğinin, mermi çekirdek parçalarının ya da saçma tanelerinin canlı dokusu üzerinde veya içerisinde meydana getirdikleri fiziksel ve biyokimyasal olayları, anatomik ve fizyopatolojik değişiklikleri mermi çekirdeği ve hedef doku için inceleyen bilim dalı yara balistiğidir. (Uzar vd, 2019)

Yataktaki patlama kuvvetinin etkisiyle içerisindeki sert cismin (çekirdek) veya cisimlerin (saçma, şarapnel) belirli mesafelere taşınmasını sağlayan ve ulaştığı bölgede bu sert cisimlere yukarıda bahsi geçen etkileri yaptıran aletler “ateşli silah” olarak nitelendirilirler. Bunların neden olduğu travmalara ise ateşli silah yaralanması adı verilir. Ateşli silahlar temel olarak kısa namlulu ve uzun namlulu silahlar olarak iki ana gruba ayrılabilirler. Bunların altında yiv setli ve yivsiz gruplar olarak ayırdım yapılabilir. (Çınar vd., 2002)

1.6. ATS Kaynaklı Kemik Travma Patternleri

ATS travmaları adli tıp ve adli antropoloji bilim dallarının doğrudan araştırma konusudur. ATS travmalarının tanımlanmaları ve doğru analiz edilmeleri, kurban ve fail arasındaki ilişkiyi doğru bilimsel dinamikler çerçevesinde anlayarak adli ve hukuki süreçlere katkı sağlamak için elzemdir. Yüksek enerjili bir kuvvetin küçük bir yüzey alanında oluşturduğu travmalar, kemikler üzerinde genellikle giriş ve çıkış delikleri, ışınal kırıklar, multi-fragmentasyon ve konsantrik kırıklar gibi desenler oluştururlar. Adli ve hukuki süreçlerde ATS kaynaklı travmaların olası karışıklık oluşturabilecek diğer travma türlerinden ayırt edilip analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Olay dinamikleri, kurşunun penetrasyon anındaki veya seyir halindeki enerjisi ve kemiğe yaptığı etki durumlara göre farklılıklar gösterir. Bu etkiler çoğu zaman kemik üzerindeki hasarın makroskobik olarak incelenmesi sonucu gözlemlenebilirler. Ateşli silah travmasından kaynaklı defektler, olay anında kurbanın hareketine, silahın mesafesine ve açısına göre değişkenlik göstermektedir. Ayrıca, kurşun yaraları kurbanın pozisyonuna ve travma kaynağına bakarak kimliklendirme için ipucu sağlar. Bununla beraber uygun vakalarda giriş ve çıkış deliklerinin ölçülmesi de kurşun kalibresinin

tespiti için gereklidir. Ateşli silah travmalarının temel özelliklerine bakıldığında, giriş ve çıkış deliklerinin analizi son derece önemlidir. Giriş delikleri, genellikle yuvarlak ve düzgün kenarlara sahiptirler ve giriş deliği hatlarında kurşunun kemiğe giriş yapması ile kemikte bir kakma çıkıntısı meydana gelir. (Çeker ve Sevim Erol, 2022)

Yuvarlak giriş deliğinin çeperinde genellikle radyal ve konsantrik kırık hatları gözlemlenmektedir. V-şeklinde deformasyonlar ve kanat (wing-piece) fragmanları da sıkça görülebilir. Merminin giriş yönüne doğru içbükey bir huni şeklinde defekt varsa buna iç eğimleme (internal bevelling) denmektedir. Çıkış deliklerinde ise daha düzensiz, parçalı ve giriş deliğine göre daha geniş bir sınır hattı görülür. Vakalara bağlı olarak hem giriş hem çıkış deliği, ya da bunlardan yalnızca birinin deliği gözlemlenebilir. (Örnek: vaka 16) Çıkış yönünde, dışa doğru genişleyen bir huni benzeri yapı gözlemleniyorsa buna dış eğimleme (external bevelling) denir. Bu etki genel olarak “bevelling force” olarak bilinir. Bunlarla beraber, tabakalı (layered breakage) ve katmanlı kırıklar (stepped breakout) da çıkış yaralarında gözlemlenebilirler. (Schwab vd., 2024)

ATS travmalarında bunların yanı sıra ışınsal (lineer) kırıklar da görülür. Bu kırık hatları mermi giriş noktasından başlayarak uzun kırıklar şeklinde çeşitli yönlerde doğru seyrederler ve giren kurşunun enerjisi ile doğru orantılı olarak belirli izler bırakmaktadırlar. Bir diğer pattern olarak ise; kemiğin karşı karşıya kaldığı yüksek enerji ile çok sayıda parçaya ayrılması durumu multi-fragmentasyon olarak nitelendirilir. Mermi, yüksek bir devinim ile kemiğin esneme kapasitesini aşarsa multi-fragmentasyon oluşur. Bunlara ek olarak; yıldız (stellate) ve kelebek (butterfly) olarak adlandırılan ATS travma patternleri de mevcuttur. (Schwab vd., 2024)

ATS travmaları incelenirken merminin kemiğe giriş veya temas şekli, kinetik enerjisi, giriş veya değme açısı gibi çeşitli etmenler değerlendirilir. Merminin yol açtığı defekt aslında enerjinin dağılımına bağlı olarak kemiğin travma etkisine (impact) verdiği yanıt olarak değerlendirilebilir. Örneğin, anahtar deliği görünümü (keyhole), tam penetrasyondan ziyade teğet geçen kurşunların düzensiz veya eliptik şekilde bir delik oluşturmasıdır. Bu bulgular hem giriş hem de çıkış yaralarında görülebilirler. Kraniyal travmalarına bakıldığında ise giriş ve çıkış deliklerinde, yayılan ışınsal kırıklar ya da multi-fragmentasyon gözlemlenir. Bunun sebebi kraniyal kemiklerin ince cidarlı yassı kemikler olmalarıdır. Merminin, yüksek hızla isabet etmesi durumunda, kafatası süturlarının ayrılabilirdiği de bildirilmiştir. (Çeker ve Sevim Erol, 2022)

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Verilerin Elde Edilmesi

Araştırma çerçevesinde, belirtilen ICD yani "International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems" (Uluslararası İstatistiksel Hastalık Sınıflandırması ve İlgili Sağlık Sorunları) kodları ile Tomografi verileri istenen hastaların veri setleri Ankara Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastaneleri Başhekimliği tarafından etik kurul izni alınmasının ardından (Etik Kurul Kararı, Sayı: 36290600/56/2024) tarafımıza iletilmiştir. İlgili ICD kodlarına dahil olan popülasyonda, vakalar Pacs yazılımı ile incelenip (A.Ü. Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı) çocuk hastalar ile travmaların kemik defektine yol açmadığı vakalar dışlama kriterlerine alınarak çalışma dışında bırakılmışlardır. Çalışma kriterlerine uyan vakalardan ise, randomize biçimde 15 adet ateşli silah yaralanmasına bağlı kemik travması içeren hastanın verisi alınmıştır. Hastaların verileri Temmuz 2011 – Şubat 2024 zaman aralıklarını kapsamakta olup çalışma retrospektif olarak tasarlanmıştır. Hastaların isimleri ve diğer kimlik bilgileri, üzerinde çalışılacak dijital veri setinde başlangıç aşamasında körlenmiş, hastalara ait veri setlerine numara verilirken olası karışıklığı önlemek adına bunun yanında yalnızca isim ve soy isimlerinin baş harflerinden oluşan rumuzlar olarak kodlanmış, etiketlerine cinsiyet ve yaş bilgileri eklenmiştir. Veriler, standart medikal radyoloji formatı olan DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında alınmıştır.

Çizelge 1.1. A.Ü. Tıp Fakültesi İbn-i Sina Hastanesi'nden talep edilen vakaların ICD kodları

ICD Kodu	Tanı
W32	El silahıyla ateş
W33	Tüfek, tabanca ve ateşli silahla ateş
W34	Ateşli silahlardan ateş diğer ve tanımlanmamış
X72	Ateşli silahla kendine zarar verme
X73	Tüfek, tabanca, büyük ateşli silahla kendine zarar verme
X74	Ateşli silah ateşi ile kendine zarar verme diğer ve tanımlanmamış
X93	Ateşli silah ateşiyle saldırı
X94	Tüfek, tabanca ve büyük ateşli silah ateşiyle saldırı
X95	Ateşli silah ateşiyle diğer ve tanımlanmamış saldırı

Y22	Ateşli silah patlaması, gerçekleşme şekli belirtilmemiş
Y23	Tüfek, tabanca ve büyük ateşli silahla ateş, gerçekleşme şekli belirtilmemiş
Y24	Ateşli silahla ateş diğer ve tanımlanmamış, gerçekleşme şekli belirlenmemiş
Y35.0	Ateşli silah ateşinin karıştığı yasal müdahale

2.2. BT Tarama Parametreleri

Tanımlama için acil servise başvuran hastaların bilgisayarlı tomografi (BT) taramaları Toshiba/Canon Aquilion Prime (80 multi-detektörlü) cihazı ile; 72-120 kV (Kilovolt), otomatik mA (miliamper) modülasyonunda, gerekliliğe göre 3mm ile 0.5mm aralığında değişen kesit kalınlıklarında gerçekleştirilmiştir. Her bir vücut bölgesi için (ayarlara vakaya göre müdahalede bulunulabilmektedir) ilgili BT parametreleri şu şekildedir:

2.2.1. Gövde (Thorax) BT Parametreleri

120 kV (kilovolt), otomatik mA (mikroamper), 0.35 rotasyon zamanı, küçük odak, 0,5 x 80 kalınlık, 1690.0 maksimum mesafe, 4.5 dakika total tarama süresi, 1.0 mm kesit kalınlığı, 0.8 mm kesit aralığı, 0.0 derece başlangıç pozisyonu ve 360 derece bitiş pozisyonu olacak şekilde ayarlanmıştır.

2.2.2. Karın Bölgesi (Abdomen) BT Parametreleri

120 kV, otomatik mA, 0.5 rotasyon zamanı, küçük odak, 0,5 x 80 kalınlık, 1695.0 maksimum mesafe, 7.3 dakika total tarama süresi, 1.0 mm kesit kalınlığı, 0.8 mm kesit aralığı, 0.0 derece başlangıç pozisyonu ve 420 derece bitiş pozisyonu olacak şekilde ayarlanmıştır.

2.2.3. Üst Ekstremité BT Parametreleri

100 kV, otomatik mA, 0.5 rotasyon zamanı, küçük odak, 0,5 x 80 kalınlık, 1695.0 maksimum mesafe, 4.6 dakika total tarama süresi, 1.0 mm kesit kalınlığı, 0.8 mm kesit aralığı, 0.0 derece başlangıç pozisyonu ve 360 derece bitiş pozisyonu olacak şekilde ayarlanmıştır.

2.2.4. Alt Ekstremité BT Parametreleri

120 kV, otomatik mA, 0.5 rotasyon zamanı, küçük odak, 0,5 x 80 kalınlık, 1698.0 maksimum mesafe, 7 dakika total tarama süresi, 1.0 mm kesit kalınlığı, 0.8 mm kesit aralığı, 0.0 derece başlangıç pozisyonu ve 400 derece bitiş pozisyonu olacak şekilde ayarlanmıştır.

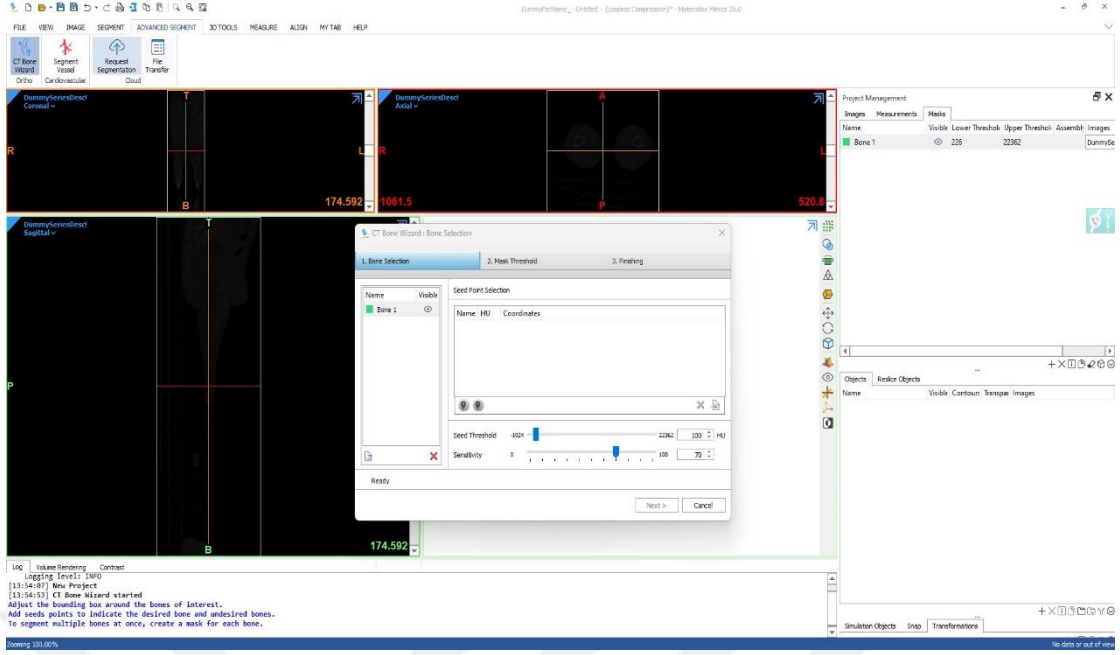
2.3. Kemik Travmalarının Tespiti ve Segmentasyon İşlemi

İlk olarak her vaka için, RadiAnt DICOM viewer (2024.1, Medixant) yazılımı ile 2 boyutlu aksiyel kesitlerde tomografiler görüntülenip, travma alanları makroskopik olarak saptanmıştır.



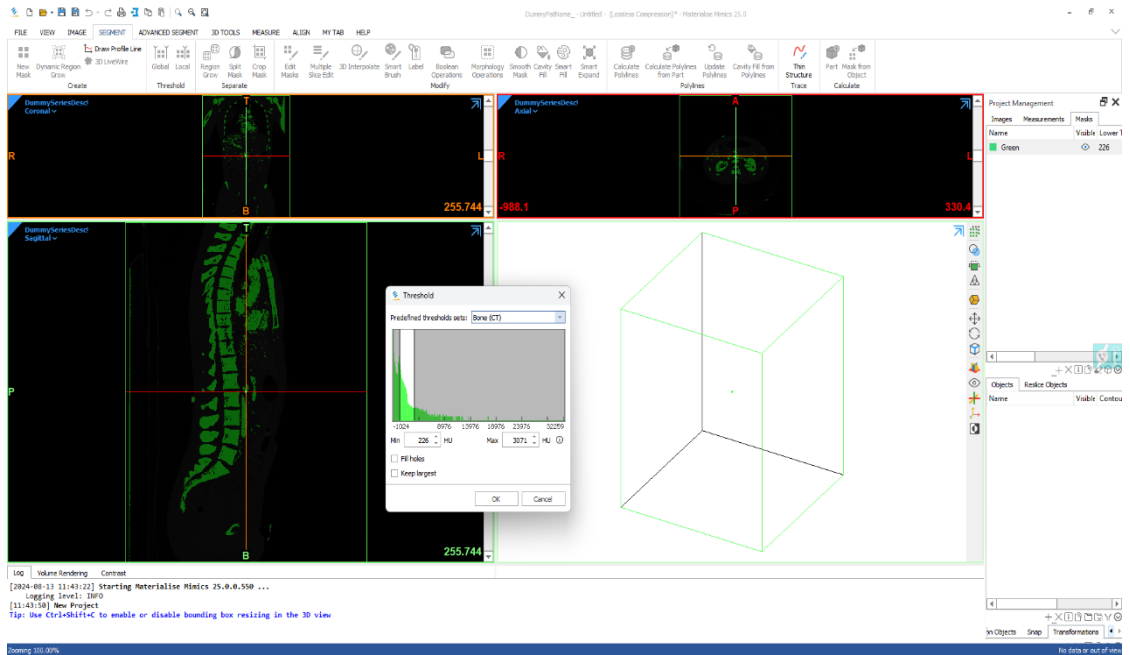
Şekil 2.1. RadiAnt yazılımı ile kemik travmalarının saptanması

Daha sonra her hastanın veri seti Mimics (25.0.0.550, Materialise) yazılımı ile açılıp HU (Hounsfield Unit) skalasına göre 226-3071 HU değeri aralığında yumuşak dokular ekarte edilip kemik dokular tek başına görüntülenecek biçimde izole edilmiştir.



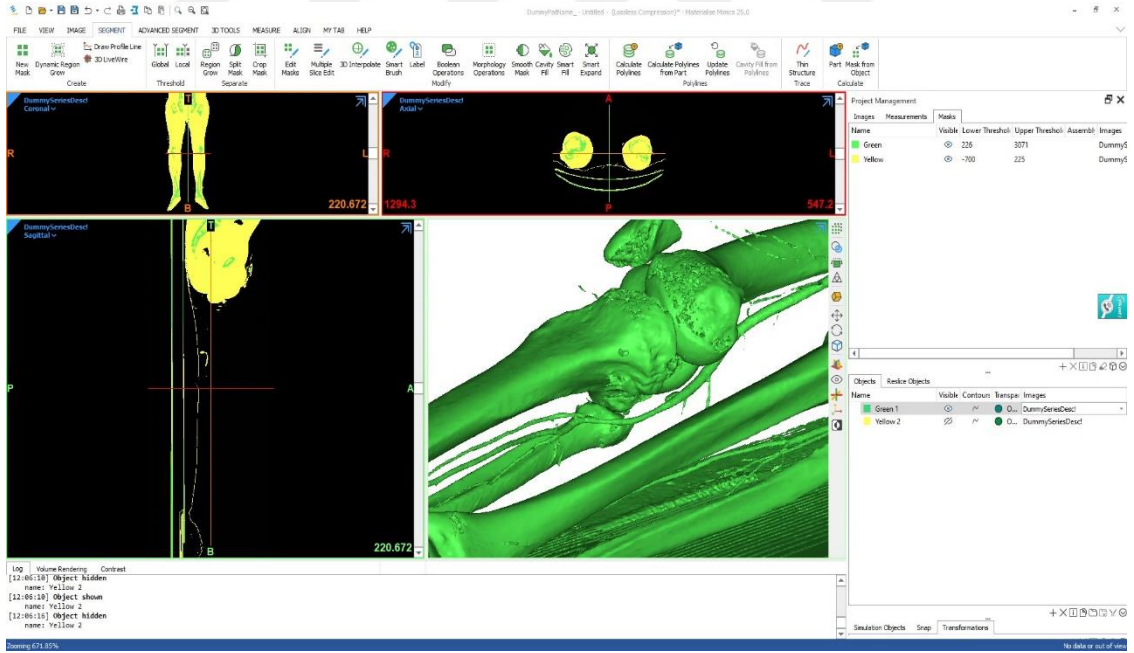
Şekil 2.2. HU değeri ayarlanması ve kemik dokuya yönelik eşikleme (*threshold*)

Kemik dokular için HU skala değeri belirlenirken kortikal ve trabeküler kemik yoğunluğuna göre ayarlamalar yapabilmek için, hastaların yaşları ve kemik gelişimleri de bu aşamada dikkate alınmıştır. Uygun HU değeri ayarlanmasının ardından segmentasyon işlemine geçilmiştir.

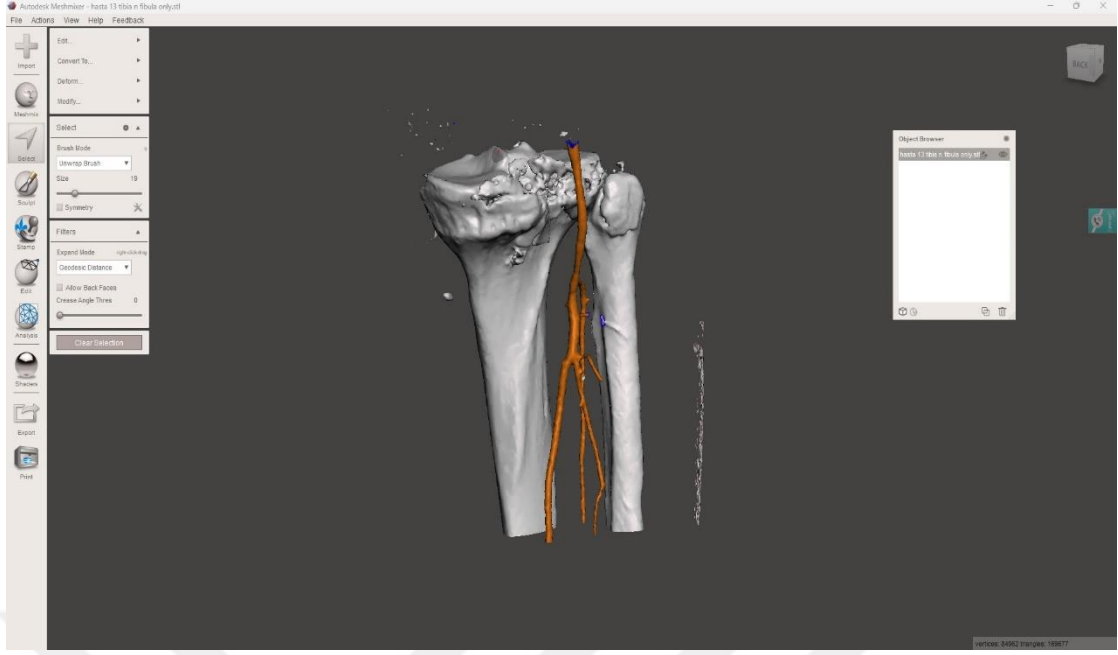


Şekil 2.3. Yumuşak dokuların dışlanıp kemik dokuların izole edilmesi.

Hastaların dolaşım sistemleri BT çekimleri esnasında kontrast madde (intravenöz, non-iyonik iyotlu kontrast madde, 350mg/100mg Kopaq veya Opaxol ardından 40 ml SF) ihtiva ettiğinden, yumuşak dokular threshold (eşikleme) yapma safhasında ekarte edilseler dahi kontrast madde içeren arter ve venler görüntülemeye kemiğe eşdeğer opozite ile kalmışlardır. Aynı şekilde travmaya bağlı hemoraj (kanama) görünüşleri izlenen hastalarda da kontrast maddeden dolayı kan kemik ile benzer radyo-opozite göstermiştir. Ayrıca yumuşak dokudan daha yüksek radyo-opozite/yoğunluk gösteren alçı, stel, sedye, plastik destekler, mermi çekirdeği ve benzeri diğer materyaller de ilk segmentasyonda yalnızca kemiklere odaklı eşikleme yapılsa dahi kemik dokularla birlikte görünür vaziyette kalmışlardır. Çalışmanın ilgi alanı olan travmalı kemikler veya kemik bölümleri Mimics yazılımı üzerinde VOI (volume of interest) alanına alınırken, bahsedilen bu yabancı öğeler de kemik doku bütünlüğünü farklı eşikleme ayarlarıyla bozmamak için daha sonraki safhada kullanılacak olan yazılımda dışlanmak üzere ilgi alanı ile birlikte dijital olarak kesilip alınmışlardır.



Şekil 2.4. Kontrast maddeden dolayı arterlerin de kemik ile birlikte görünmesi (Vaka 13)



Şekil 2.5. Femoral arterin Meshmixer yazılımı ile modelden ayrılması (Vaka 13)

2.4. Segmente Edilen Verinin Kırpılması ve 3B Ham Modellere Dönüştürülmesi

Her bir vakaya ait travmalı alan Mimics yazılımı ile, VOI (Volume of Interest) içerisine alınıp kesilerek STL (Standard Triangle Language) formatında kaydedilmiştir. Femur, tibia, fibula gibi uzun kemiklerde ve kostalarda baskı maliyetini ve baskı süresini azaltmak için, travmalı alanı etkilemeyecek ve kemiğin osteolojik olarak tanımlanmasını engellemeyecek bir bölgeden bu safhada ilk kırpma işlemi yapılmıştır. Bir sonraki adımda kesilerek oluşturulmuş ve kaydedilmiş olan STL formatındaki veri, Meshmixer (3.5.474, Autodesk) yazılımı ile açılmıştır.

Bu safhada Meshmixer yazılımı ile önce VOI içerisinde gelen kemik dokudan ayrı çapaklar, artefaktlar, kontrast madde ve arter/ven gibi diğer yapılar silinmiştir. Sonra kemiğe veya travmalı alana bitişik olan artefaktlar anatomik yapıya ve travmaya bağlı defektlere/fraktürlere müdahale edilmeden temizlenmişlerdir.

Dijital ortamda temizlenen modellerde, baskıyı engelleyecek açık uçlar (open boundries) ve katman hataları en az müdahale ile yine anatomik ve osteolojik standartlar gözetilerek doldurulmuştur (minimal fill/smooth fill). Modeller baskı aşamasına doğru temizlenerek hazırlanırken, Meshmixer yazılımı üzerinden “make solid” işlemi uygulanması

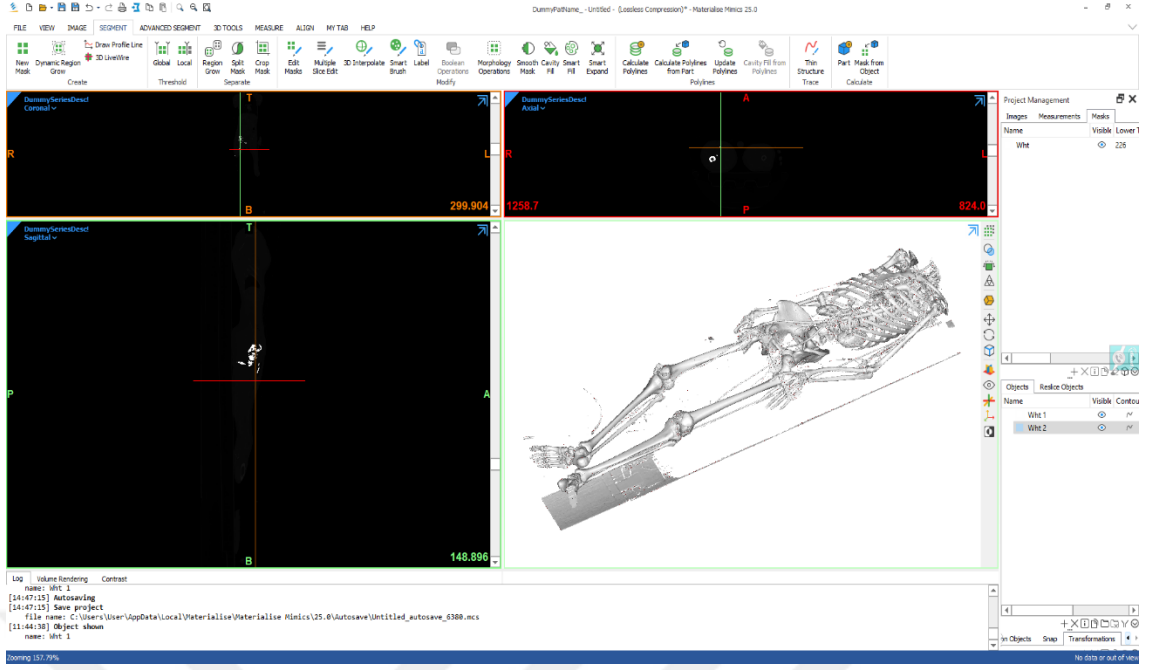
gereken modellerde ayarlar “*accurate*” ve “*sharp edge preserve*” şeklinde yapılmış, böylelikle kemiklerin anatomik dokularında gerçekçilik korunmuştur. Bu safhaların hiç birinde, modellerin orijinal tomografi verisindeki boyutlarına herhangi müdahalede bulunulmamıştır. Hazırlığı tamamlanan modeller 3 boyutlu baskı parametreleri ayarlanmak üzere, yine STL dosya formatında çıkarılarak (export işlemi) kaydedilmişlerdir.

Çizelge 2.1. Dosya formatlarının işlenme sırası ve her aşamada kullanılan yazılımlar ile sürümleri

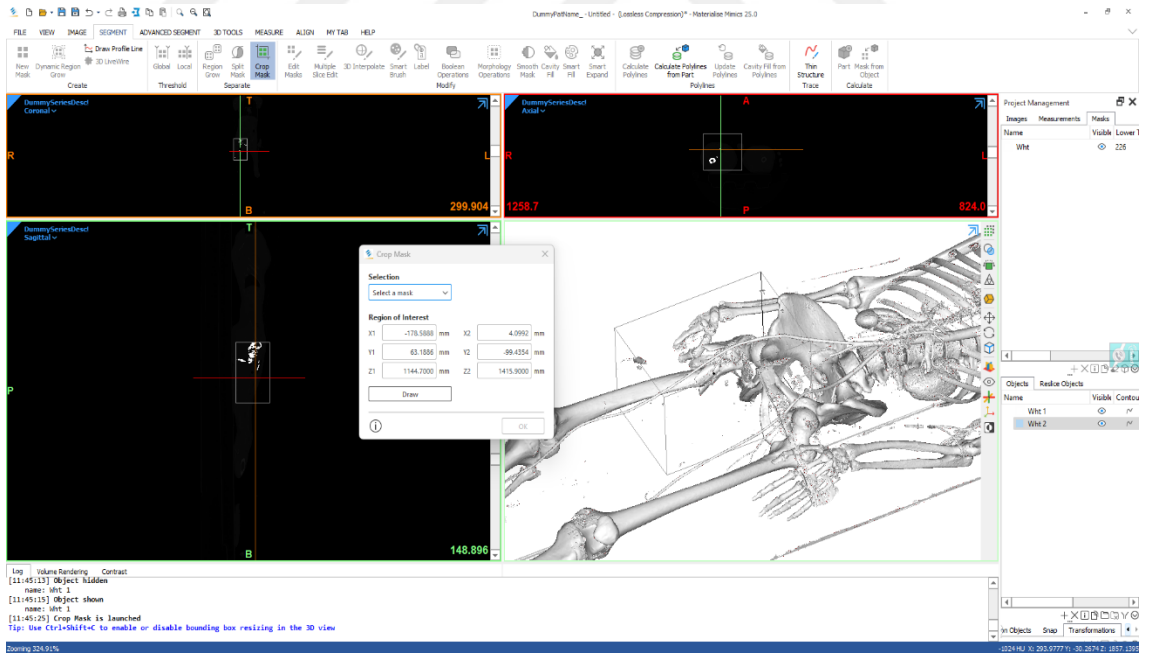
Dosya Formatı	Dcm	Mcs	Mix	Stl	GCODE
Çalışılan Yazılım	RadiAnt	Mimics	Meshmixer	Mimics + Meshmixer	Crealty Slicer
Yazılım Sürümü	2024.1	25.0.0550	3.5.474	-	4.8.2 (205)

Çizelge 2.2. Temel Baskı Parametreleri

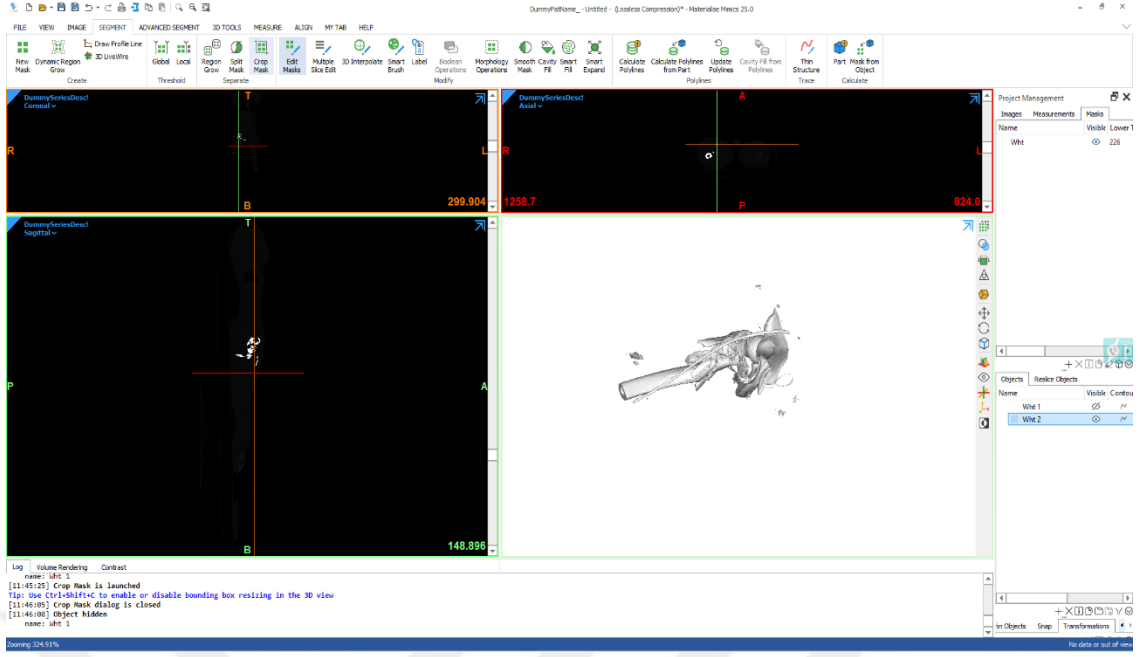
Katman Yüksekliği: 0,24mm,	Dolgu Şekli: Üçgenler
Hat Genişliği: 0,6mm	Dolgu Çakışma Oranı: %30
İlk Katman Hattı: %100,0	Yazdırma Sıcaklığı: 208 Santigrat Derece
Duvar Kalınlığı: 1,2mm	Tabla Sıcaklığı: 60 Santigrat Derece
Duvar Hattı Sayısı: 2	Yazdırma Hızı: 50mm/s
Üst/Alt Kalınlık: 0,96mm	Etkin Geri Çekme Mesafesi: 8mm
Yüzey Çakışma Oranı: %10,0	Geri Çekme Hızı: 70mm/sn
Yüzey Çakışması: 0,06mm	Fan Hızı: %100
Dolgu Yoğunluğu: %15	Destek Yapısı: Ağaç Tipi
Dolgu Hattı Mesafesi: 12,0mm	Destek Açısı: 45 Derece
Dilimleme Toleransı: Ortalayıcı	



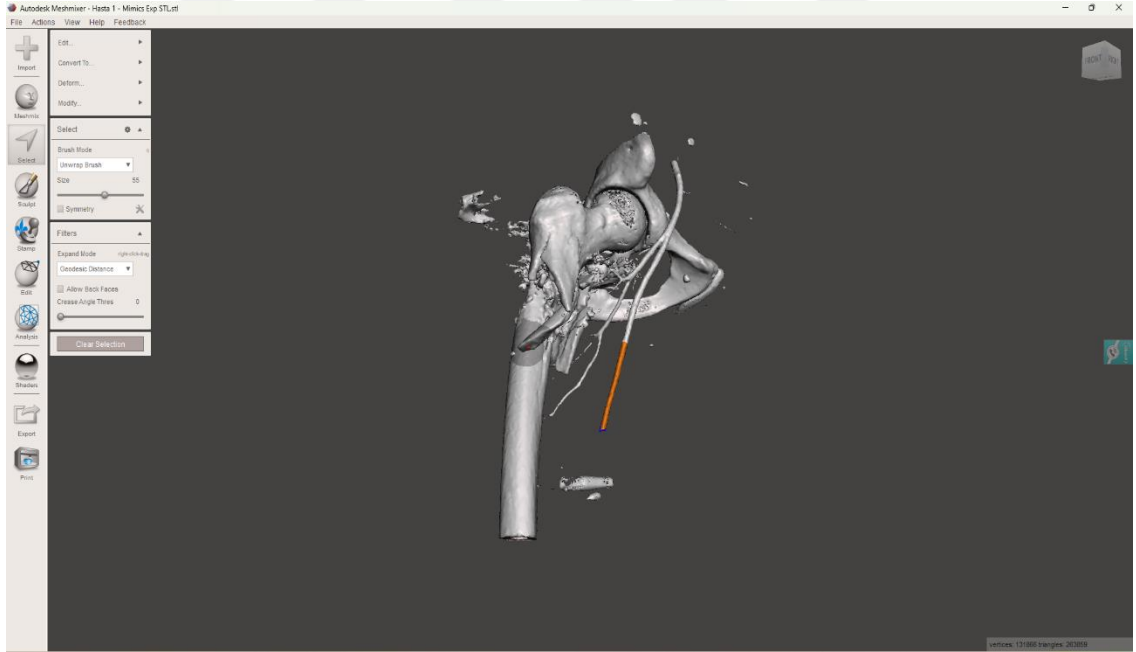
Şekil 2.6. Vaka 1'e ait segmentasyon işleminde tüm iskelet görünümü



Şekil 2.6.1. Vaka 1'e ait travma bölgesinin ROI ve VOI içerisine alınması



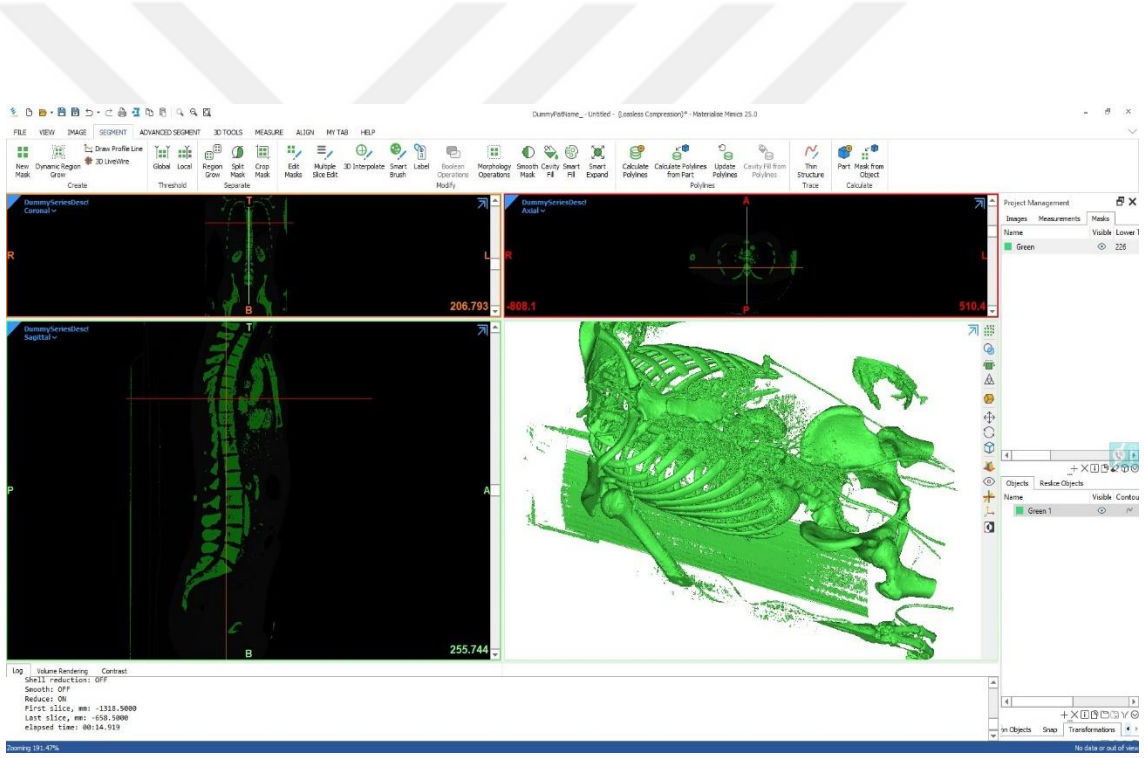
Şekil 2.6.2. Vaka 1'e ilişkin travmatik alanın izole edilmesi



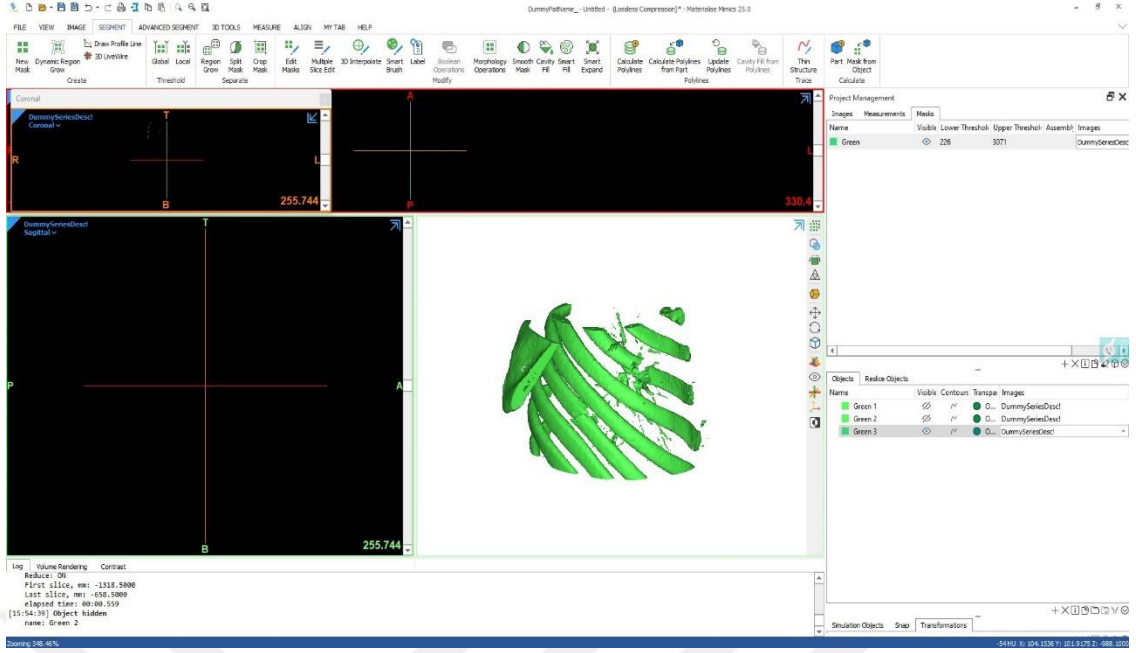
Şekil 2.6.3. Fazlalıkların Meshmixer ile temizlenmesi (Vaka 1)



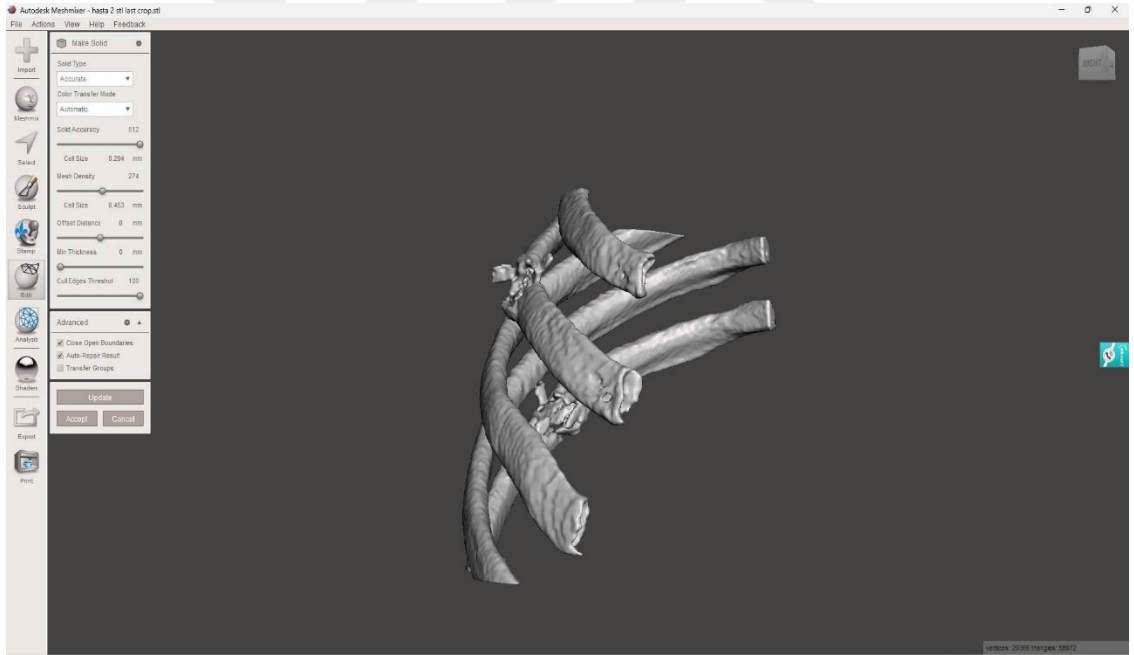
Şekil 2.6.4. Vaka 1'in 3B baskısı



Şekil 2.7. Vaka 2'nin kemik doku segmentasyonu



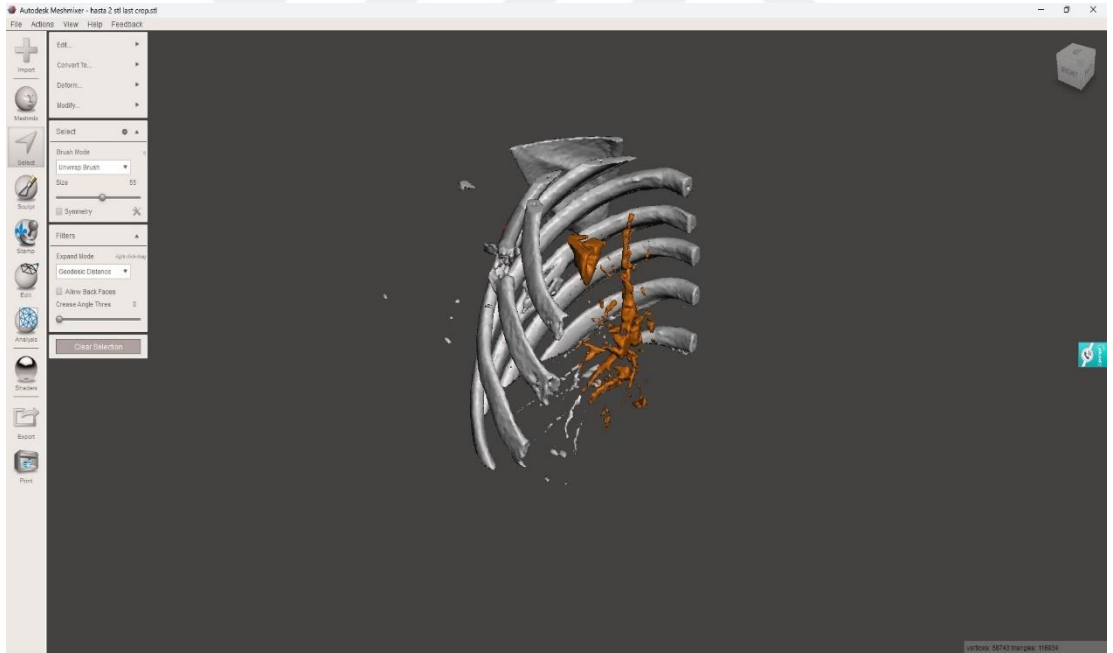
Şekil 2.7.1. STL modeli oluşturulması ve çapak giderme işlemi



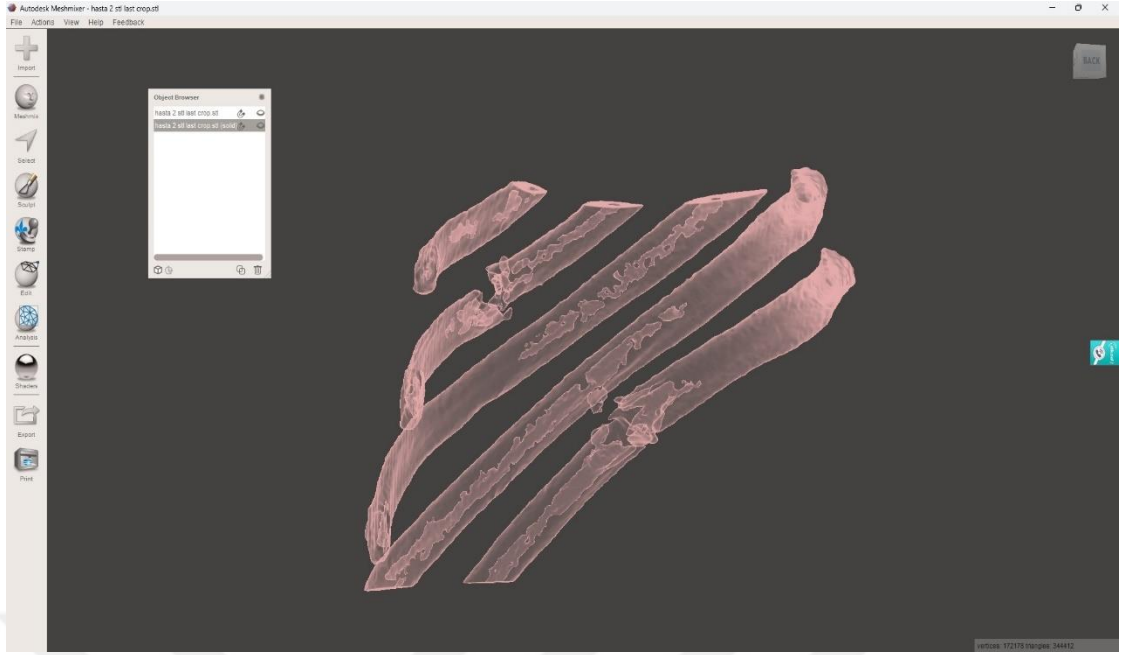
Şekil 2.7.2. Meshmixer yazılımı üzerinde STL modeli oluşturulması ve çapak giderme işlemi



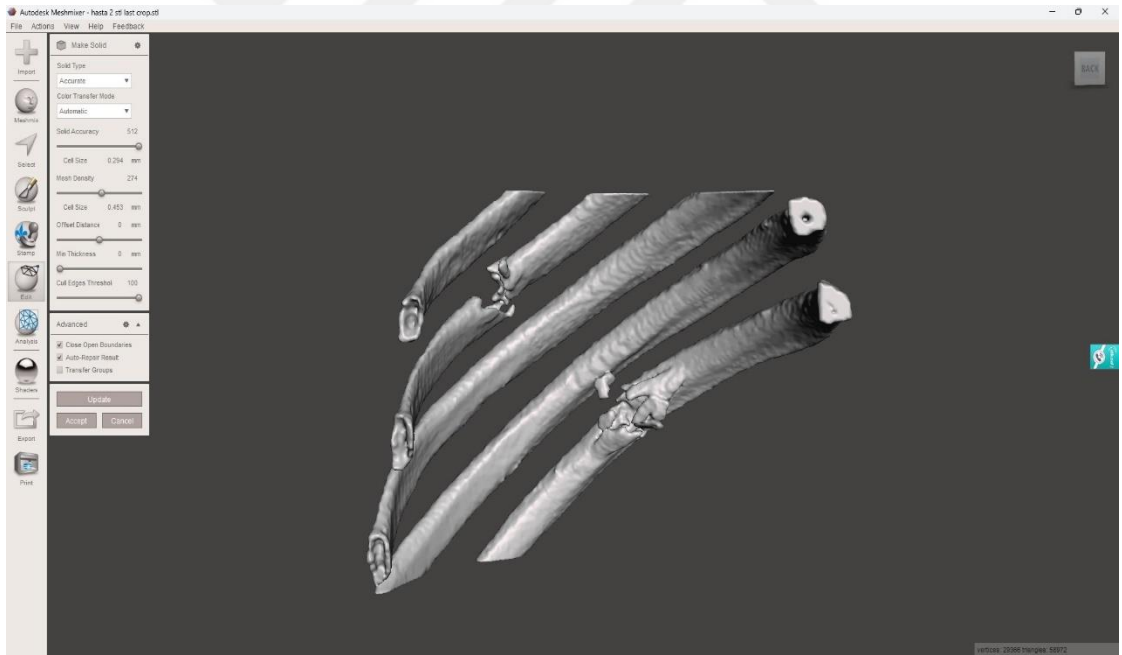
Şekil 2.7.3. STL dosyası oluşturulması ve modelleme



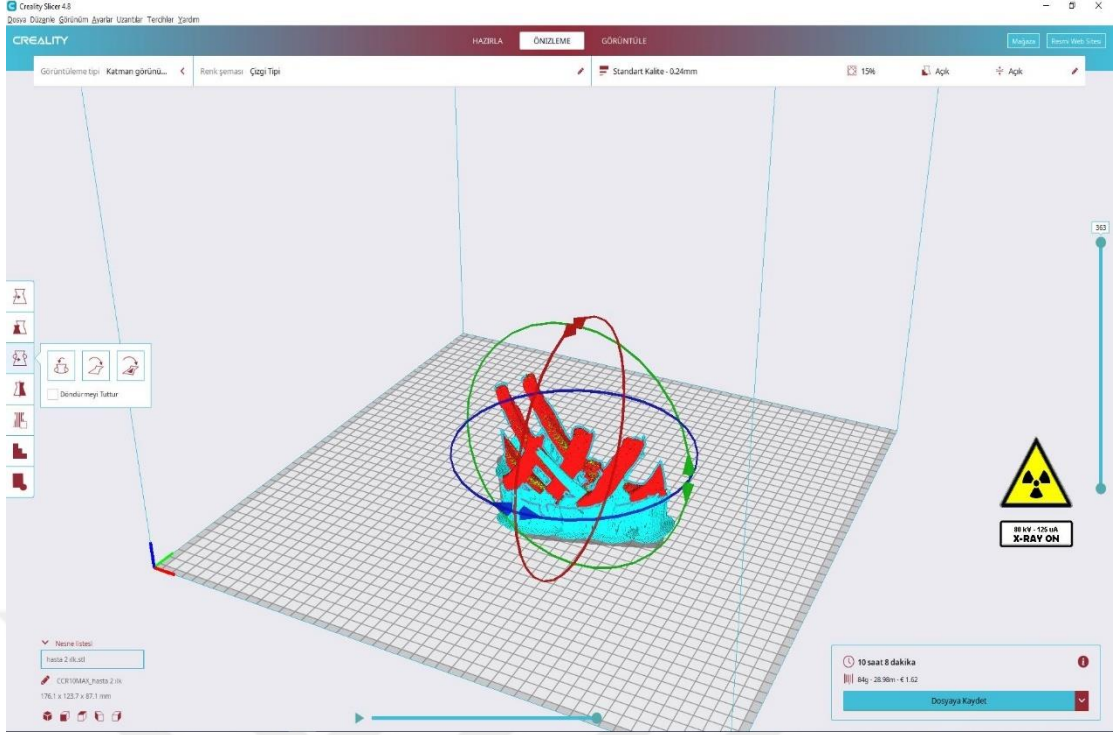
Şekil 2.7.4. İlgili alanı dışında kalan yapıların modelden temizlenmesi



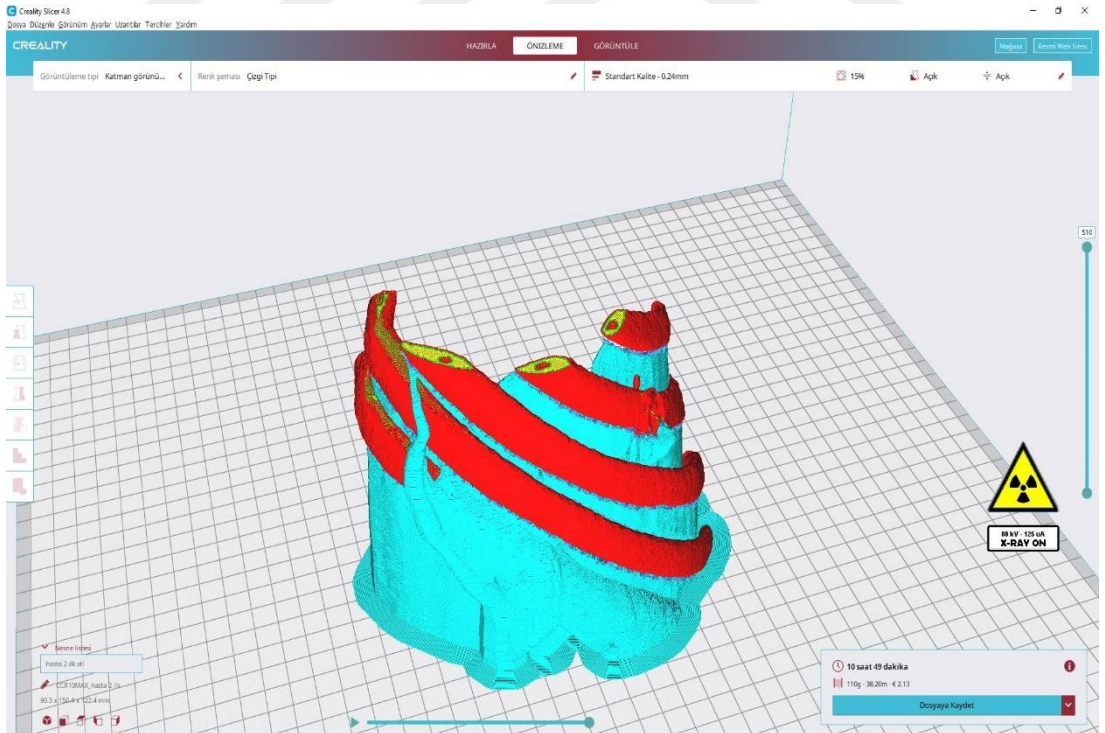
Şekil 2.7.5. Modelin transparan incelemesi



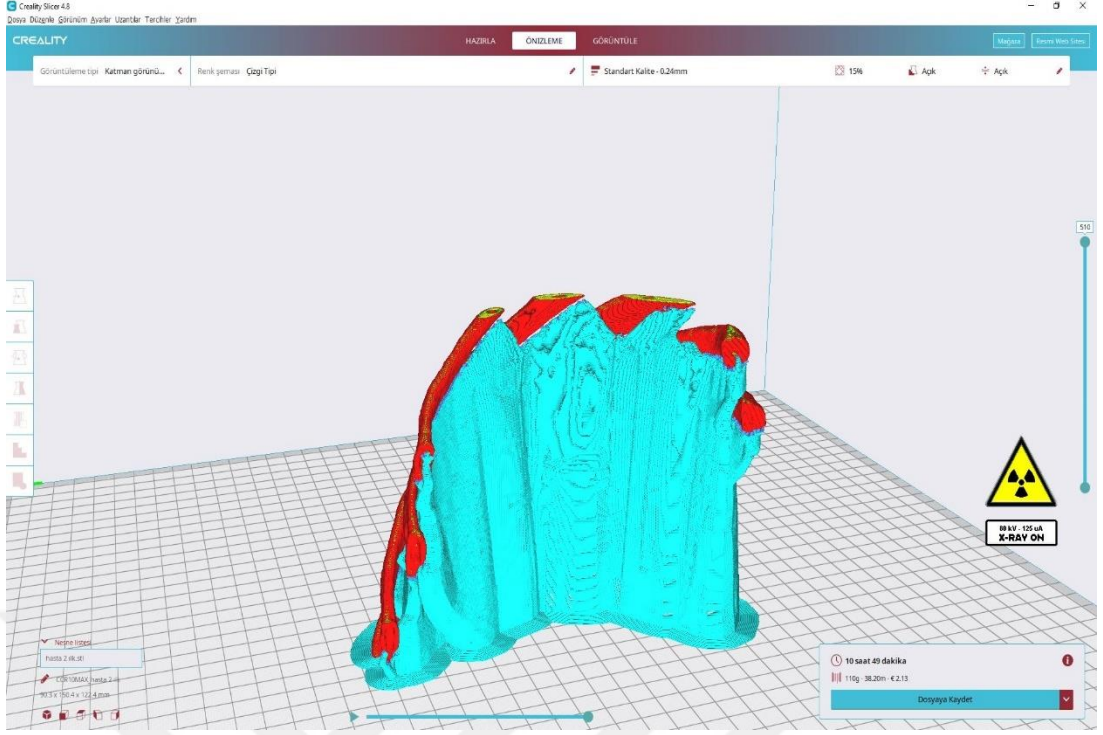
Şekil 2.7.6. Modelin STL formatındaki son hali



Şekil 2.7.7. Modelin Slicer yazılımı ile baskıya hazırlanması



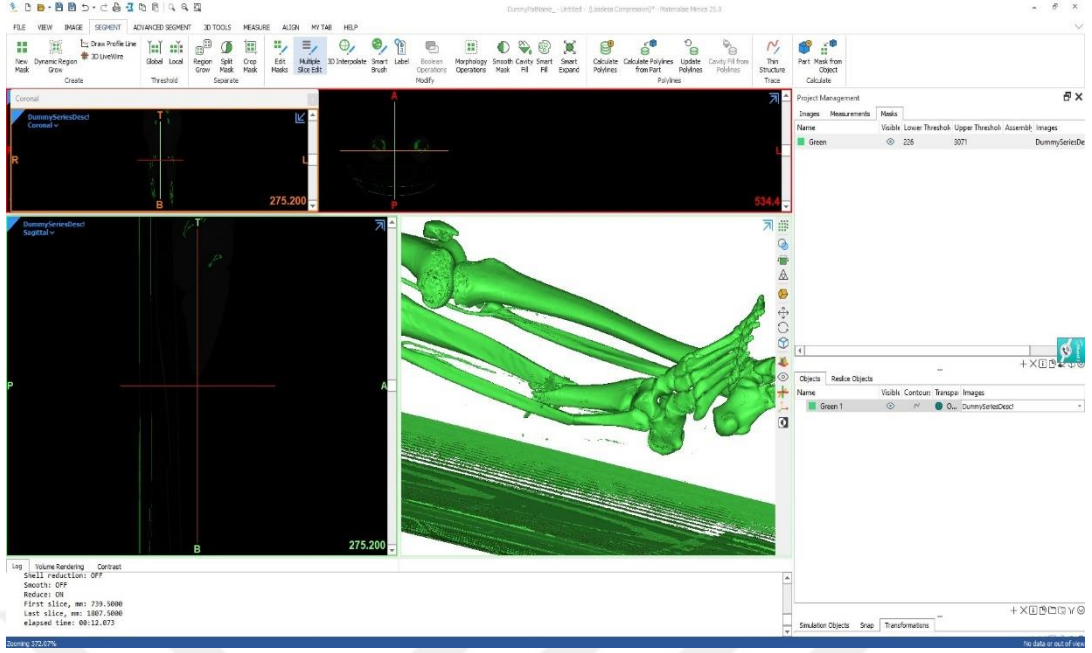
Şekil 2.7.8. Modelin destek (support) yapılarının ayarlanması



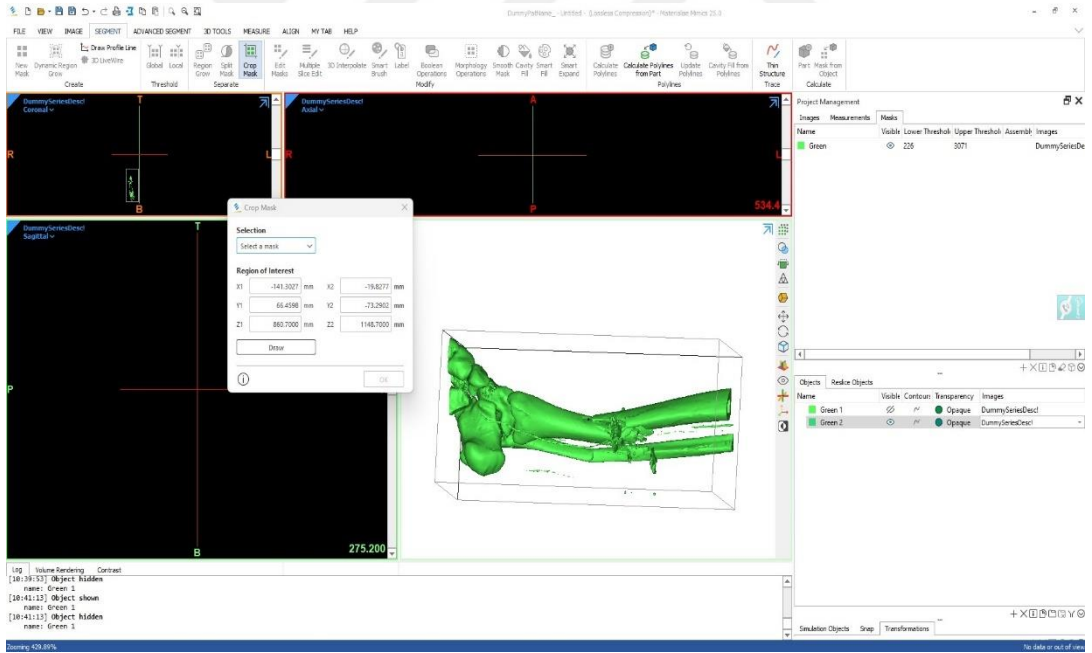
Şekil 2.7.9. Baskı aşamasından önce açıların ve parametrelerin ayarlanması (Vaka 2)



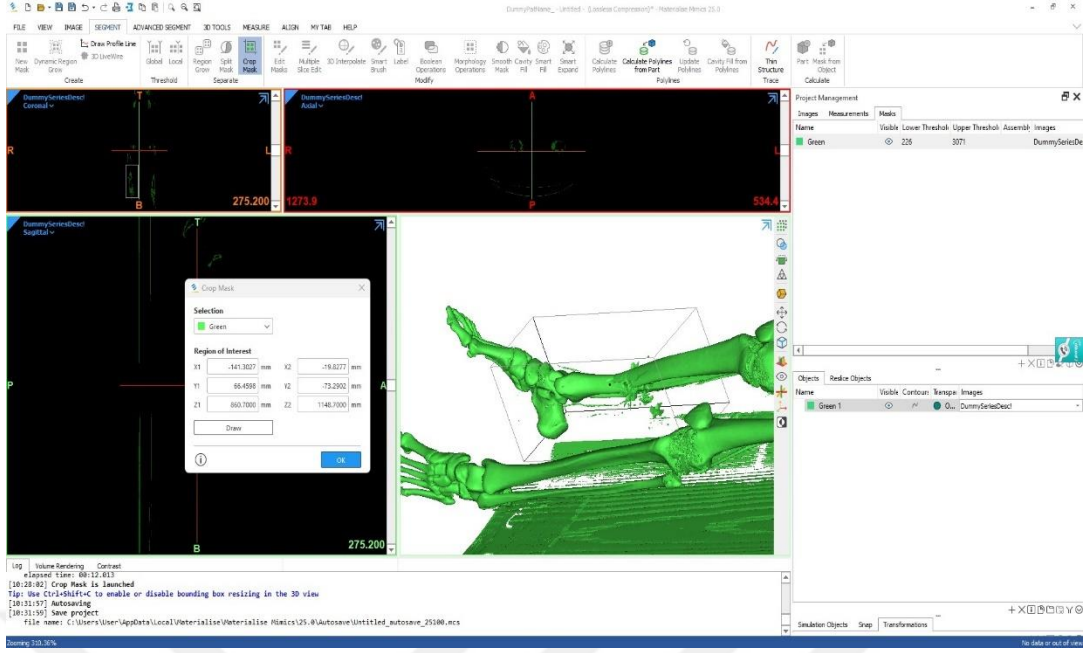
Şekil 2.7.10. Kostaların sternal uçlarından kumpas ile ölçüm yapılması (Vaka 2)



Şekil 2.8. Segmentasyon işlemi (Vaka 3)



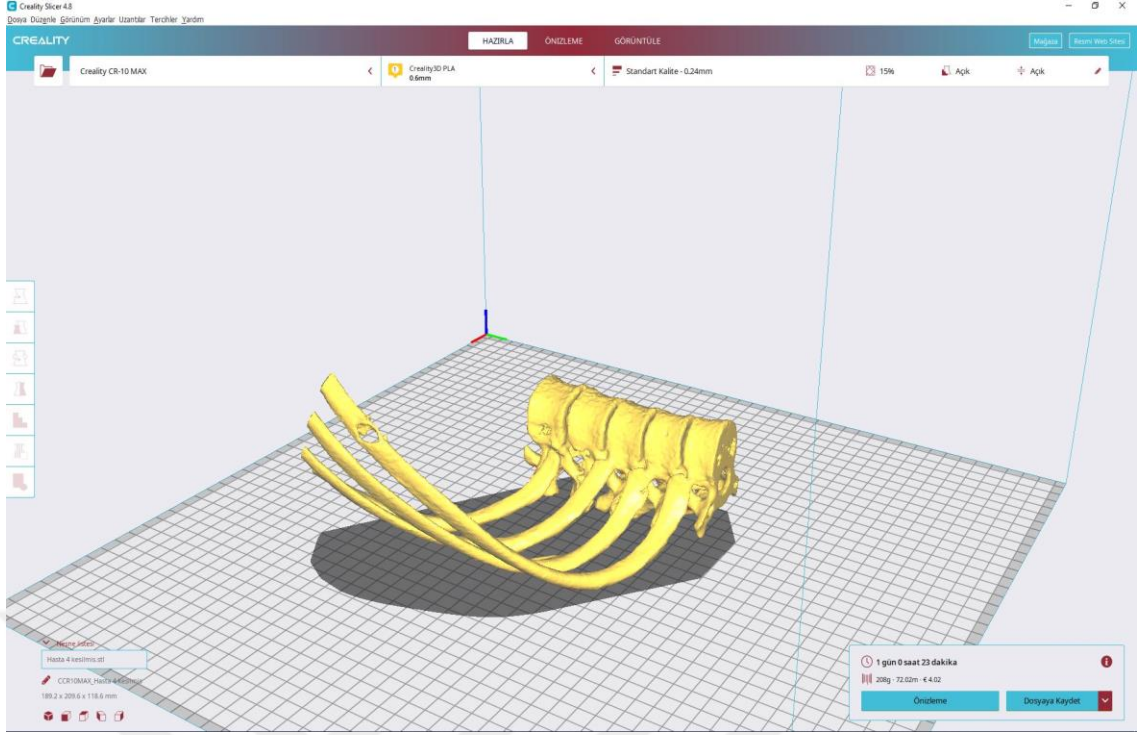
Şekil 2.8.1. Travma alanının izole edilmesi (Vaka 3)



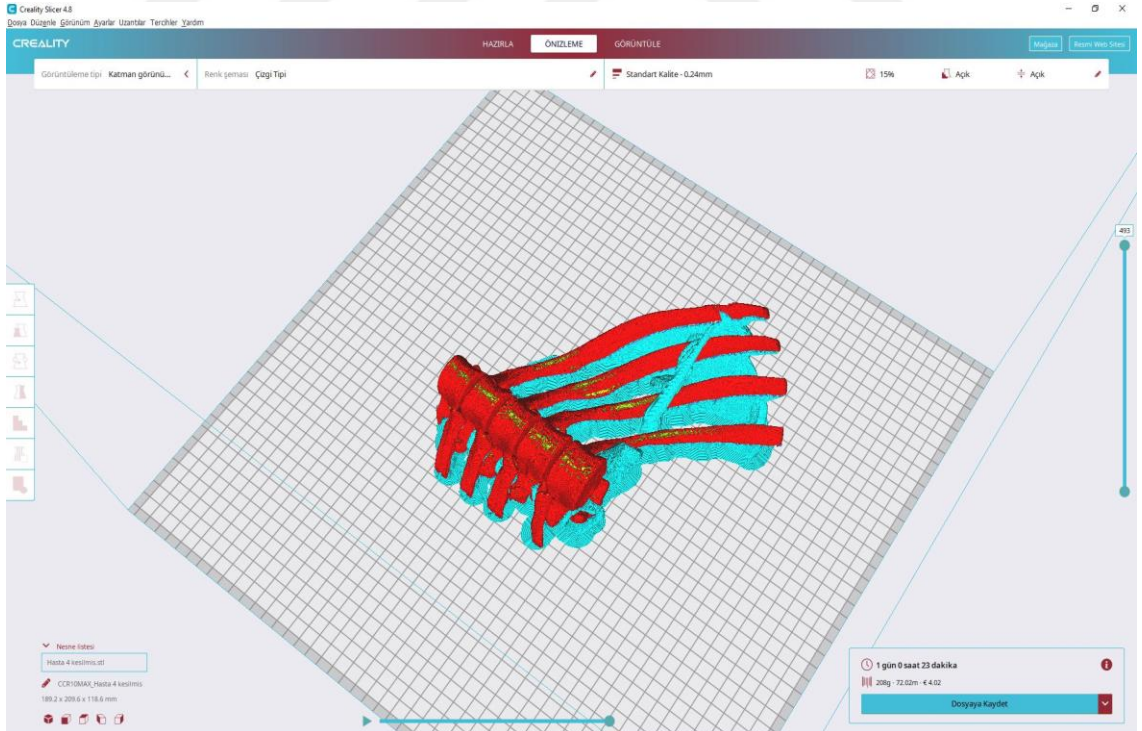
Şekil 2.8.2. Anatomik düzlemlerde VOI alanının belirlenmesi (Vaka 3)



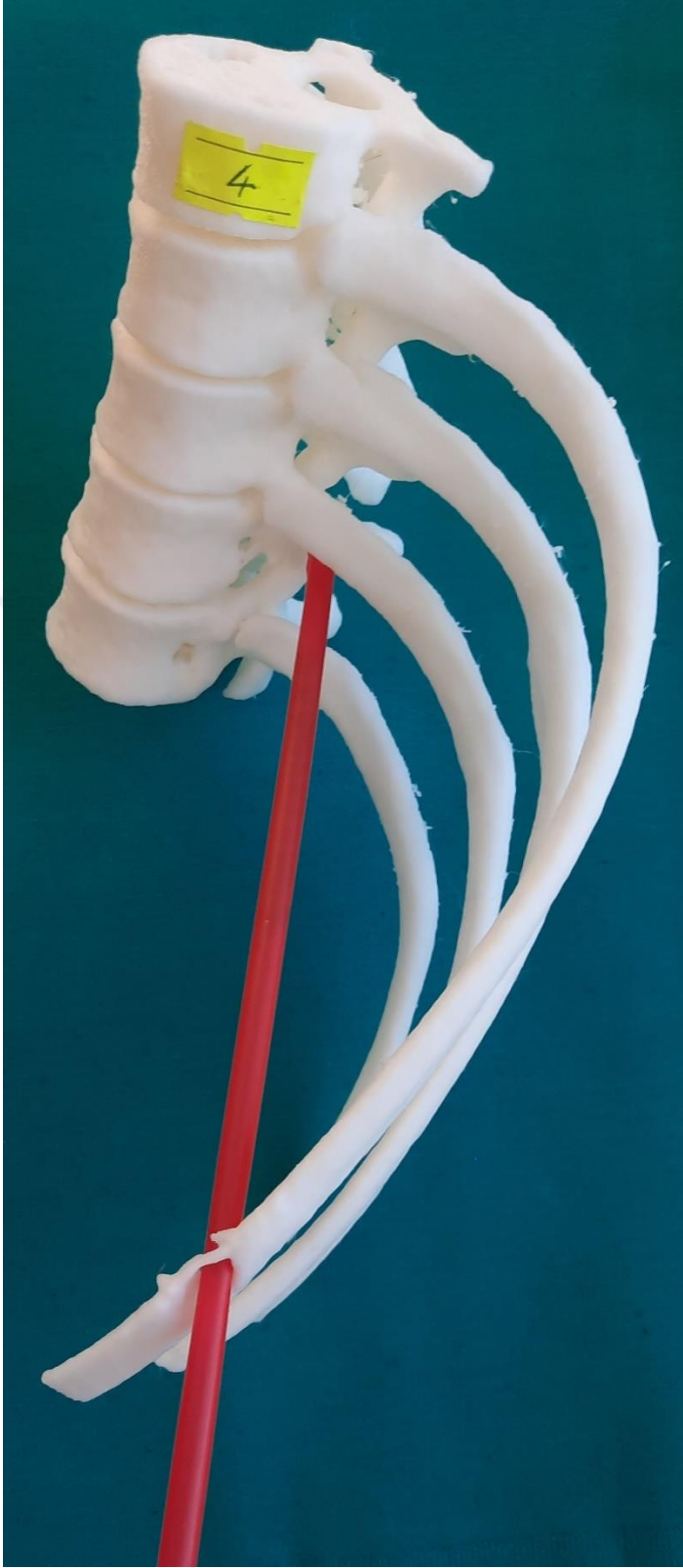
Şekil 2.8.3. Belirlenen noktalardan manuel ölçümlerin yapılması (Vaka 3)



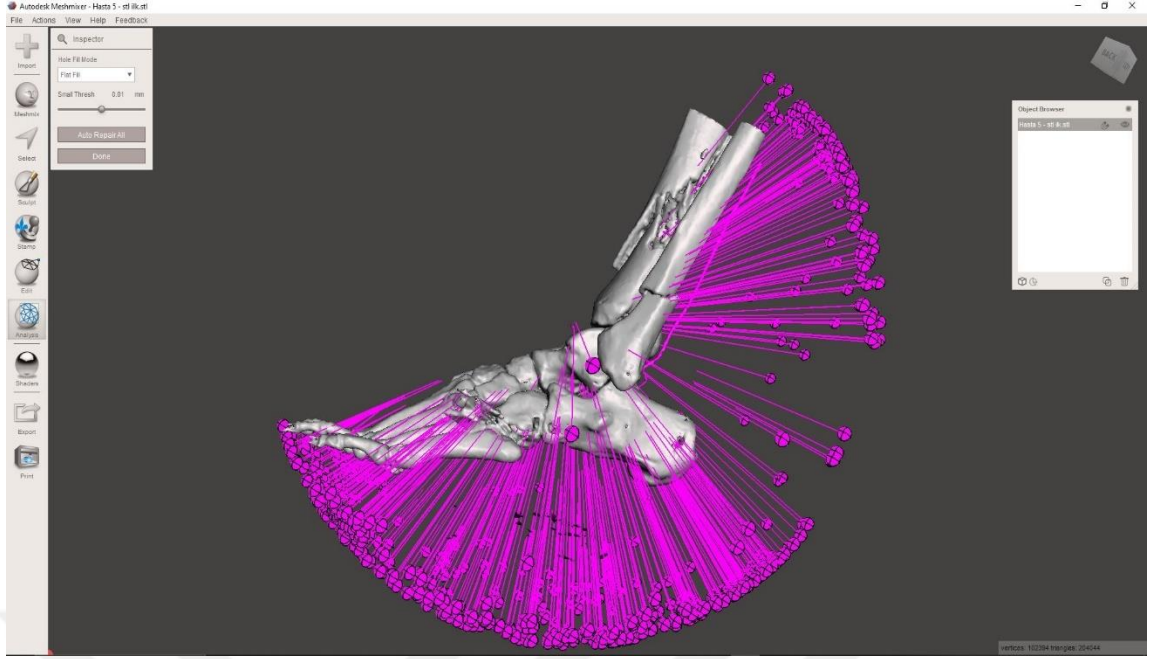
Şekil 2.9. Vakaya göre optimal baskı parametrelerinin hesaplanması (Vaka 4)



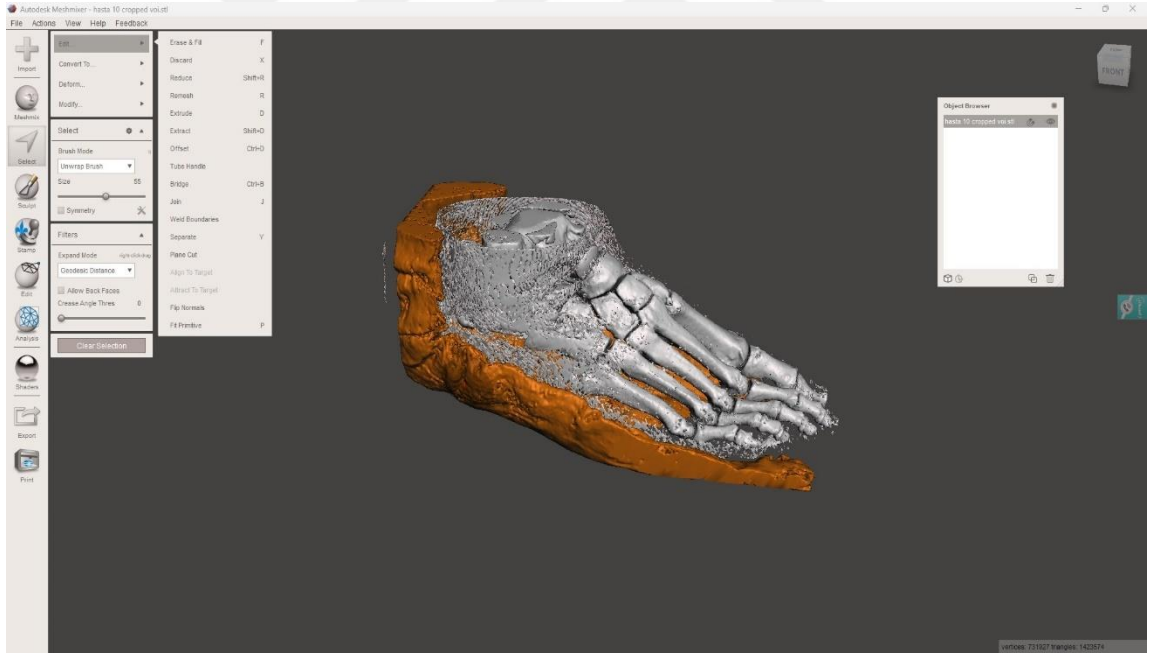
Şekil 2.9.1. Superior görünümünden destek yapılarının ayarlanması (Vaka 4)



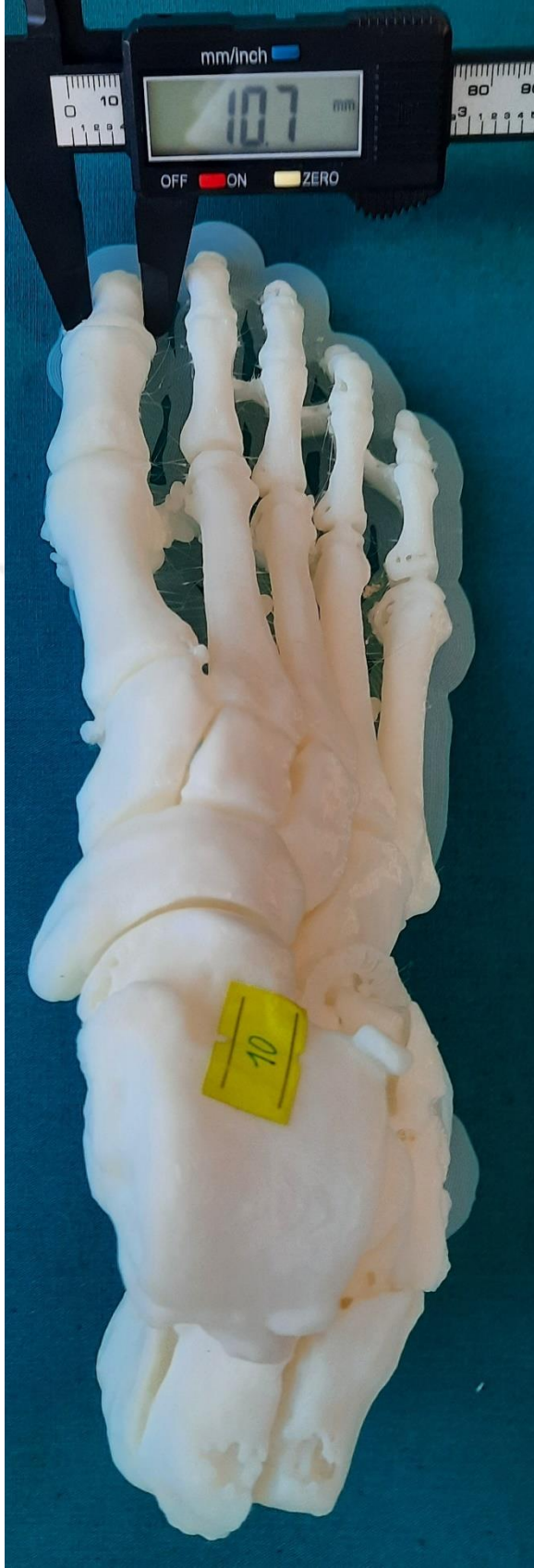
Şekil 2.9.2. Mermi geliş açısı ve trasesinin saptanması (Vaka 4)



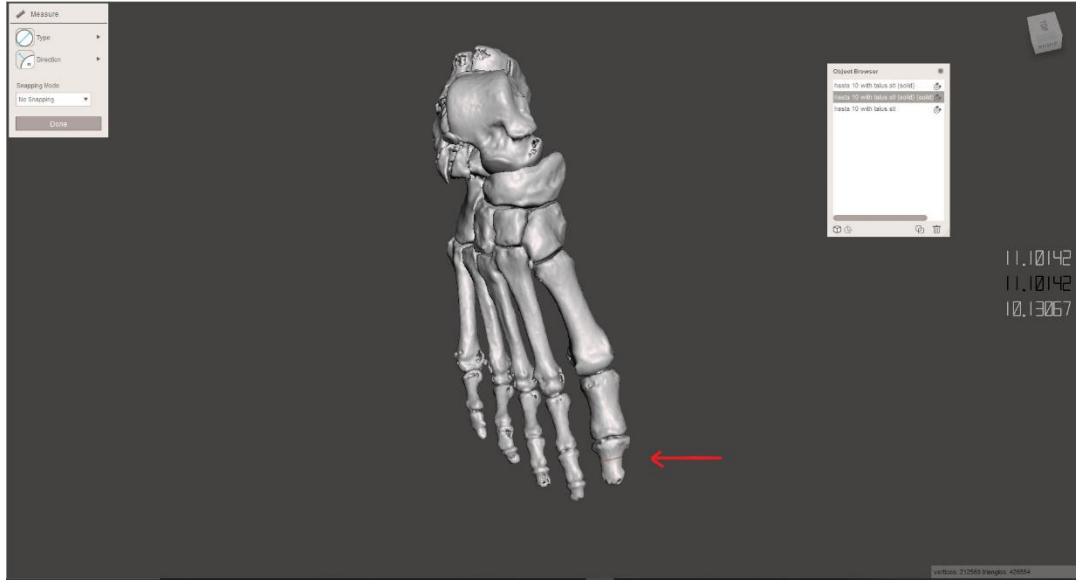
Şekil 2.10. Yüzey hatalarının minimal müdahale ile düzeltilmesi (Vaka 5)



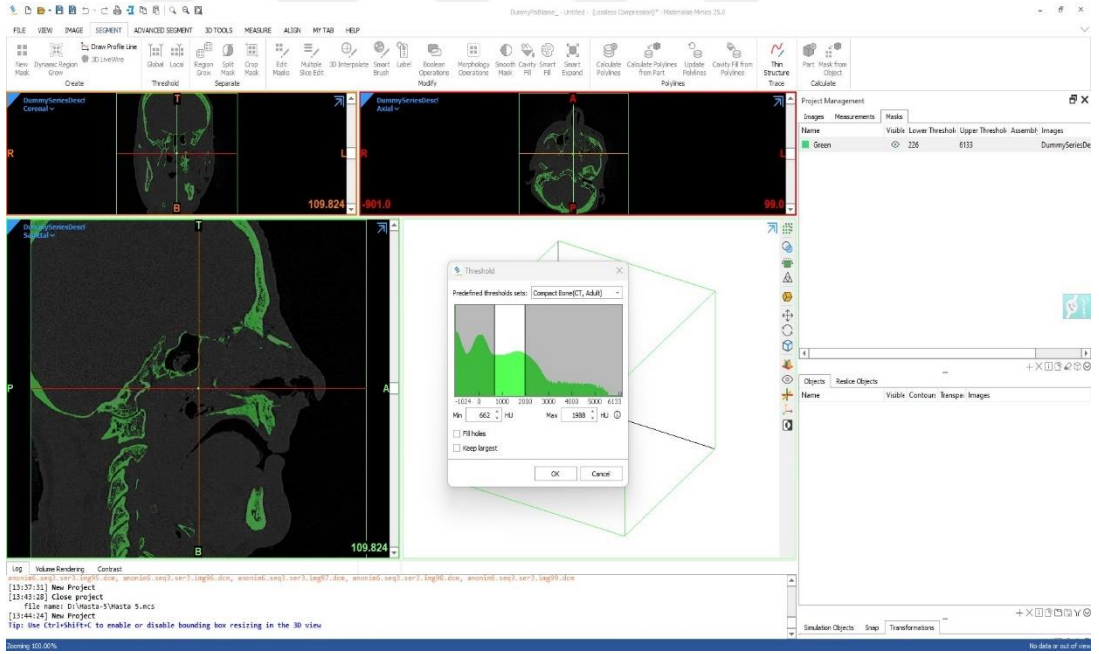
Şekil 2.11. Segmentasyon sonrası modelleme (vaka 10)



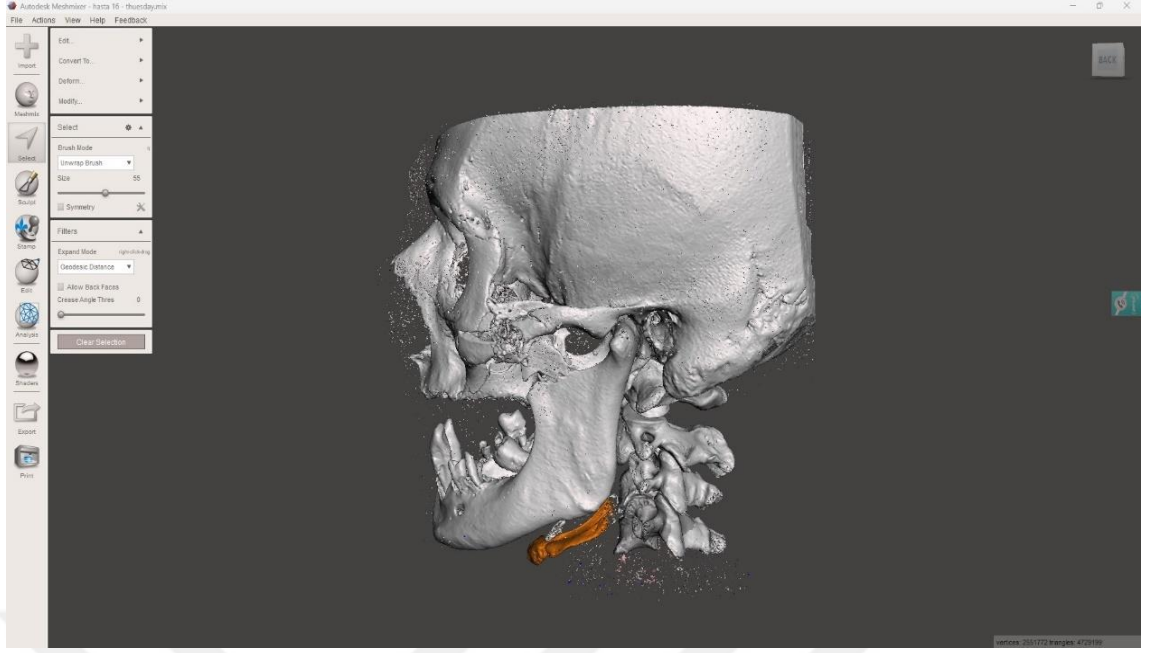
Şekil 2.11.1. Baskı sonrası distal falanksların kumpasla ölçülmesi (vaka 10)



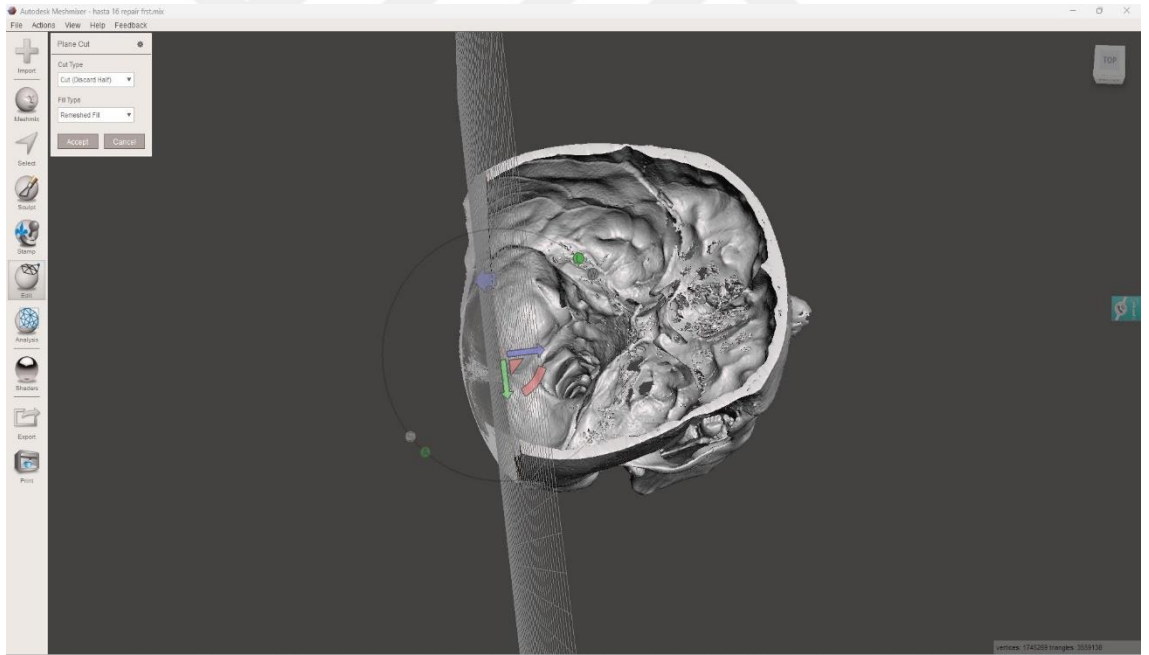
Şekil 2.11.2. Distal falanksların dijital veri üzerinden ölçülmesi (vaka 10)



Şekil 2.12. Vaka 16'nın segmentasyonu



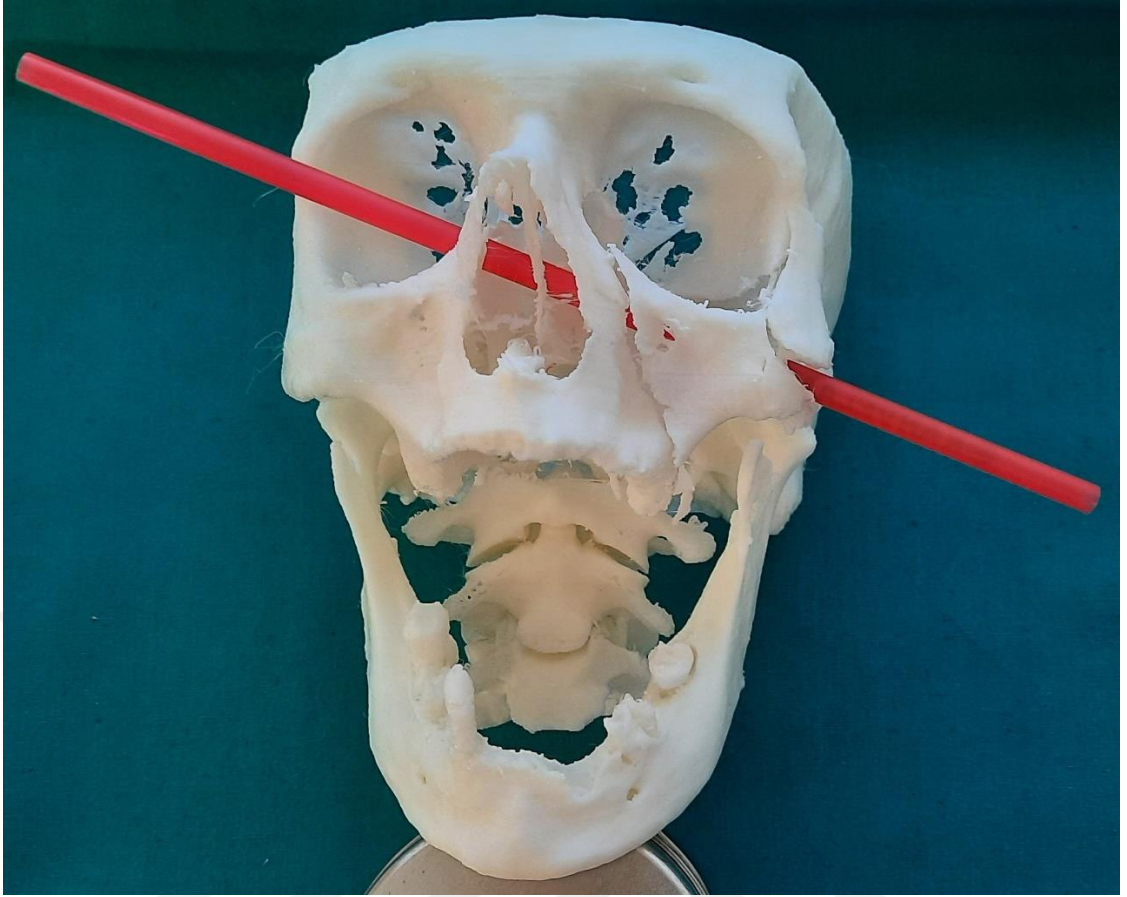
Şekil 2.12.1. Vaka 16 modelleme işlemi



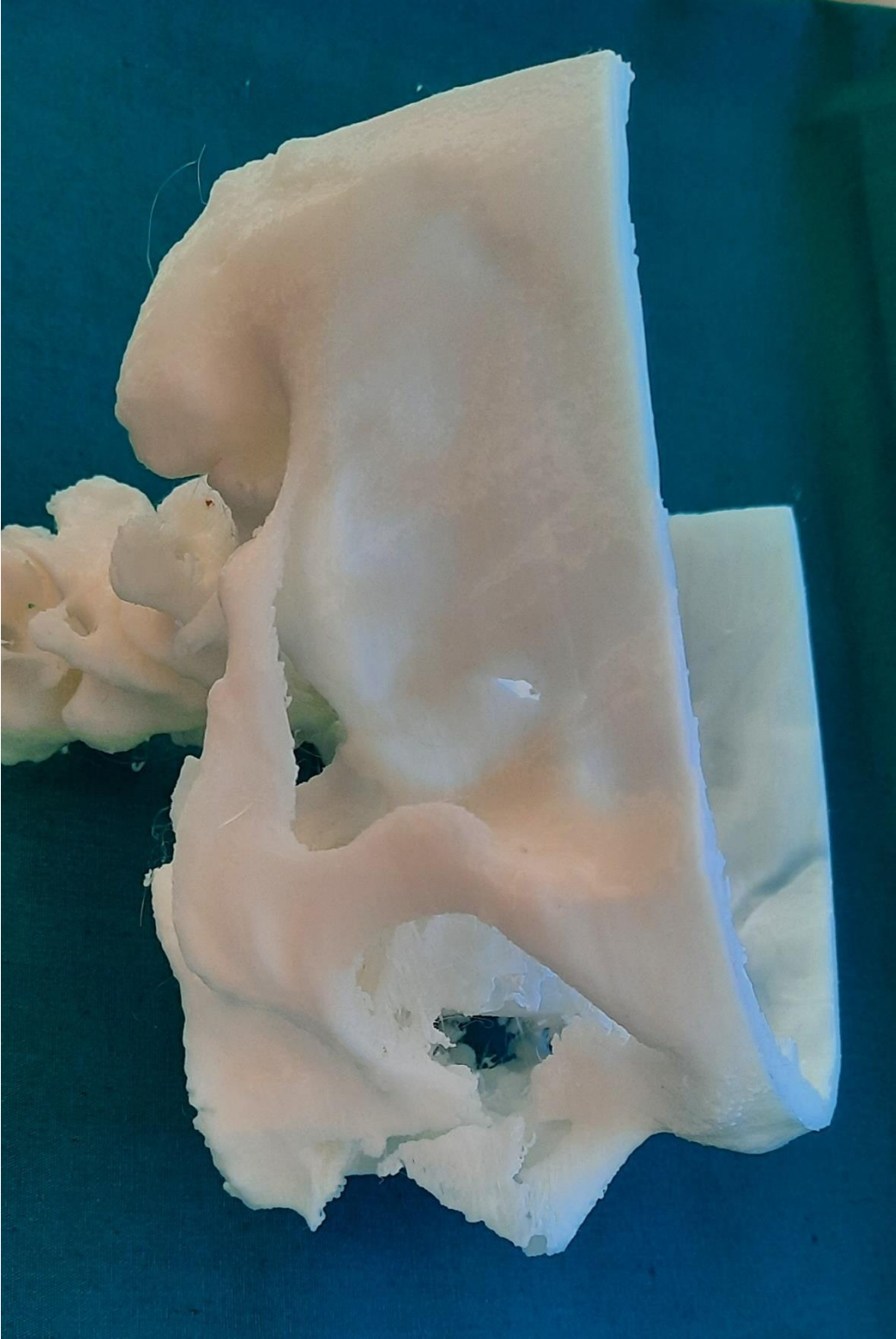
Şekil 2.12.2. İlgili alanı dışından “plane cut” ile kırpma işlemi (Vaka 16)



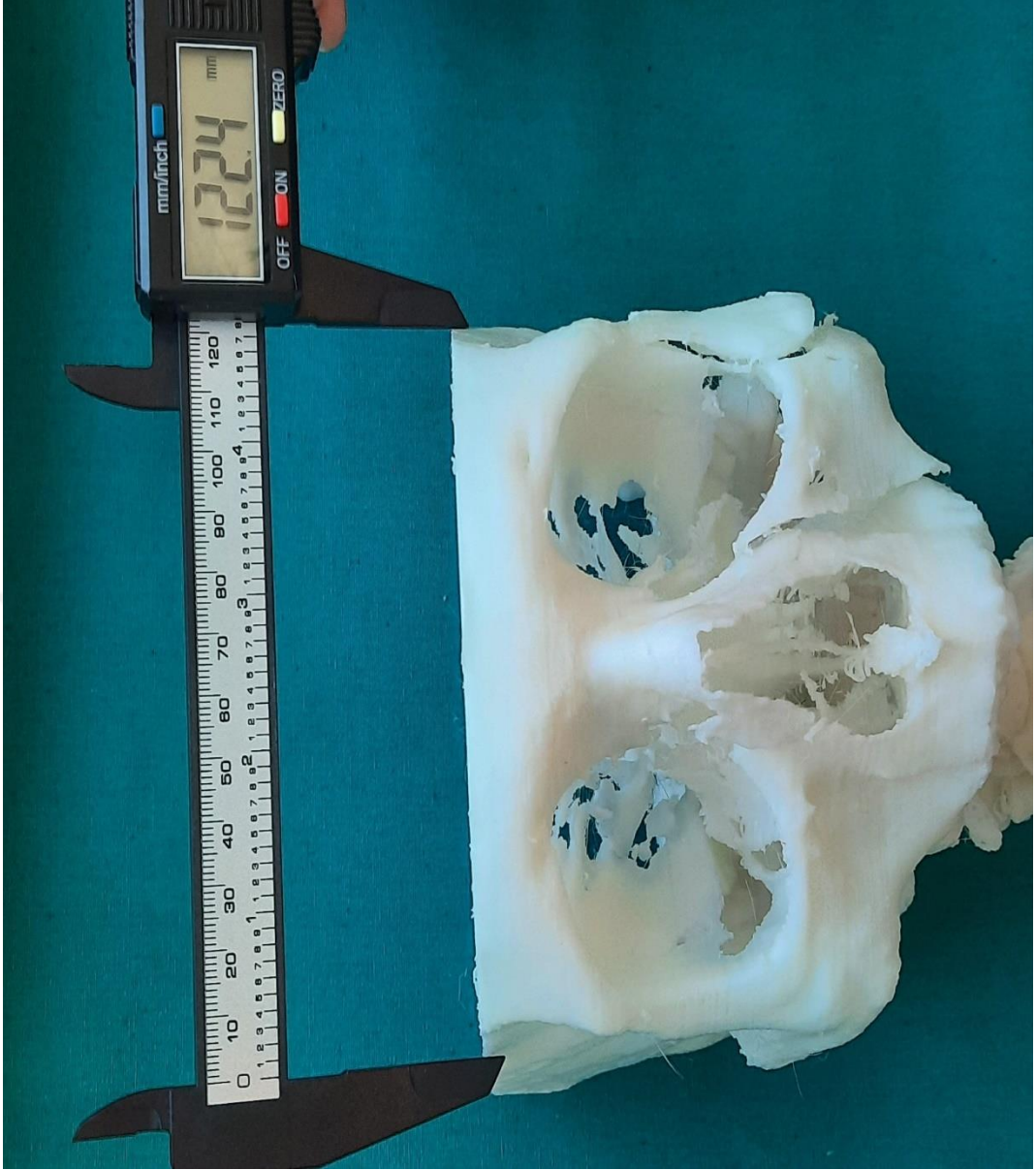
Şekil 2.12.3. Mandibuladaki (*coronoid process*) defektin izlenmesi (Vaka 16)



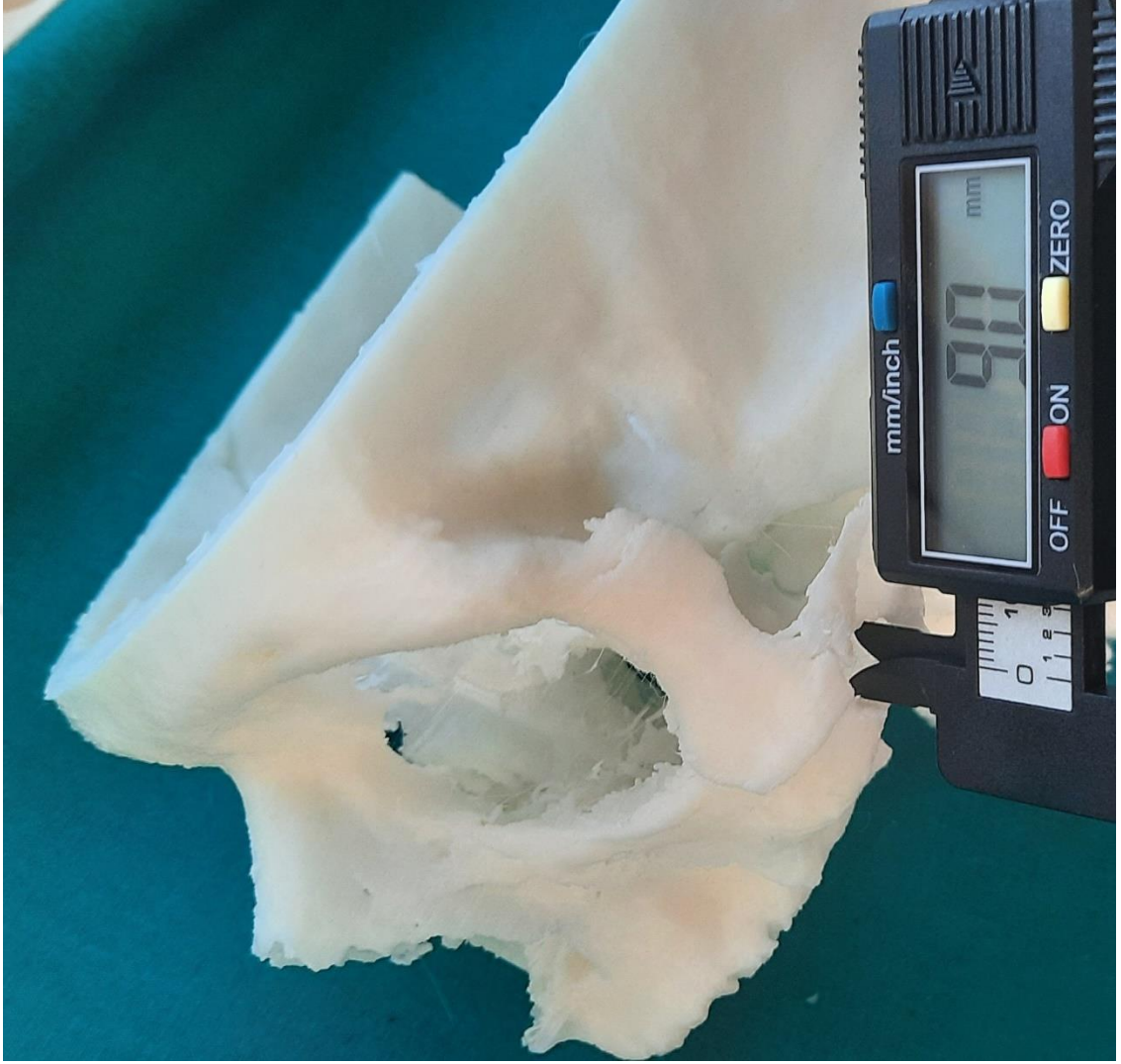
Şekil 2.12.4. Mermi trasesinin ve giriş-çıkış açısının saptanması (Vaka 16)



Şekil 2.12.5. Sağ orbita lateralinden giren merminin zigomatik hizasında çıkışı (Vaka 16)



Şekil 2.12.6. *Pterion* bölgeleri arası ölçümler (Vaka 16)



Şekil 2.12.7. Zigomatik arkta 9mm ölçülen mermi çıkış deliği.

3. BULGULAR

3.1. Karşılaştırmalı Ölçümler ve Saptamalar

Baskıların makroskopik olarak incelenmesi sonucu osteolojik yapılar ile travma alanlarında, tomografi verisi ve baskılar arasında tutarlılık olduğu gözlemlenmiştir. Kemikler üzerinde, her vakaya özgü osteolojik noktalar belirlenmiştir. Belirlenen noktaların literatürdeki osteometrik noktalardan ziyade vakaya özgü noktalar olarak belirlenmesinin nedeni; travma alanını merkeze alarak kemiklerin kırılmış olmalarıdır. Baskı süresini ve maliyetini düşürmek için, VOI alanı içerisine yalnızca travma bölgeleri ve kemikleri tanımlayabilecek karakteristik hatlar alınmıştır. Dijital ölçümlerin aksiyel kesitler üzerinden yapılmamasının nedeni de aynıdır. Ayrıca kesit kalınlıkları farklı olan verilerin ROI ve VOI alanları içerisine alınıp travmasız alanların kırılması suretiyle model oluşturulması da sanal ölçümlerin aksiyel kesitler üzerinden yapılmaması gerekçelerinden birisidir.

Çizelge 3.1. Vakaların numara, yaş, cinsiyet, travma bölgeleri ve ek bulguları (BT Acil KK 1mm'dir.)

Vaka No	Yaş	Cinsiyet	Bt Türü	Travma Bölgesi	Ek Bulgular
1	28	E	BT Acil	Sağ femurun proksimalinde travmaya bağlı fraksiyon.	Sol humerus ve radius bölgelerinde artefakt kaynağı intravenoz kontrast madde.
2	28	E	BT Acil	Sağ 3. kosta anterolateral ve 6. kosta lateral kesimde parçalı deplase fraktür.	Ek bulgu yok.
3	22	K	BT Acil	Sağ tibia ve fibula diyafiz kesiminde parçalı deplase fraktür.	Anterior tibial arterde distale kadar ulaşan kontrast madde .
4	26	E	BT Acil	Sol 8. kostada parçalı fraktür, merminin T10 düzeyinde spinal kanala yerleşimi.	T11 vertebra posterior-superior kesiminde mermi trasesinde parçalı fraktür .
5	46	E	BT Acil	Sol tibia ve fibulada parçalı deplase fraktür.	Aynı düzeyde metalik cisim kalıntısı.
7	40	E	BT Acil	Sol femur distal diyafizden metafize uzanan parçalı deplase fraktür hatları.	Aynı düzeyde kırık parçaları komşuluğunda artefakta neden olan saçma taneleri.
9	20	K	BT Acil	Sağ tibia korpus düzeyinde deplase parçalı fraktür.	BT taraması kısmen yetersizdir, ilgili kemik taramasında düşük çözünürlük.
10	37	E	BT Acil	Kalkaneusta deplase parçalı fraktürler.	Kemiğin ön kesiminde yaklaşık 1,5 cm çapında dens odak/

					mermi çekirdeği.
13	36	E	BT Acil	Sağ tibia ve fibula proksimal ucunda parçalı fraktür.	Posterior tibial arterde kontrast madde .
14	48	E	BT Acil	Sağ fibula diyafizinde parçalı deplase fraktür.	Aynı kesimde çok sayıda milimetrik dens materyal (saçma).
15	38	E	BT Acil	Sol femur distalinde eklem aralığına uzanan parçalı deplase fraktürler.	Sol femoral arterde kontrast madde .
16	54	E	0.5mm KK	Maksiller sinüs duvarlarında, nazal kemiklerde, sol zigomatik arkta, sol mandibula koronoid çıkıntıda, etmoidde, orbitanın medial duvarlarında deplase fraktürler.	Sol temporomandibular eklemdede dislokasyon.
17	44	E	BT Acil	Sağ superior pubik ramusun posteriorunda küçük kemik fragmanı.	Sağ ana iliak arterde kontrast madde.
18	22	E	3mm KK	Sol 3. ve 7. kostalarda fraktür.	Mermi giriş yeri sol anterior 2-3. interkostal aralıkta ve çıkış yeri sol 7. kosta posteriorda.
19	35	E	2.5mm KK	Sol tibia diyafizinde deplase parçalı fraktür.	Aynı bölgede kontrast madde kaynaklı artefakt.

Çizelge 3.2. Belirlenen noktalardan mm cinsinden kumpas ölçümleri

Vaka 1		Vaka 2		Vaka 3	
Anatomik Nokta 1	Femur	Anatomik Nokta 2	Costa	Anatomik Nokta 3	Tibia+Fibula
Femoral uç medular kavite	13.8	Enine çatlak Egy	17.6	Posterior distal tibia epifizi egy	45.7
Femoral uç kortikal Egy	29.7	6. kosta sternal (kesik)	14.3	Posterior distal fibula epifizi egy	16.5
Obturator foramen Egy	57.0	5. kosta sternal (kesik)	15.4	Tibia (çatlak açıklığı) Egy	42.8
Obturator foramen en dar dikey	36.5	4. kosta sternal (tam)	17.0	Tibia medular kavite	16.0
En dar krestler arası	80.2	3. kosta sternal (kesik)	16.6	Tibia kortikal kalınlık	31.3
		2. kosta sternal (kesik)	12.6	Fibula medular kavite	-
		6. kosta enine çatlak egy	12.6	Fibula kortikal kalınlık	16.1
Vaka 4		Vaka 5		Vaka 7	
Anatomik Nokta 4	Kosta+Vertebra	Anatomik Nokta 5	Metatarsal	Anatomik Nokta 7	Femur
Tüm Vertebral Anterior	122.5	Proksimal tibia kortikal Egy	32.2	Patella Egy	46.1
En alt Torakal Dikey - Anteior	25.6	Tibia medular kavite	12.8	Posterior dikey Egy	36.0
En alt Torakal yatay korpus	33.0	Proksimal fibula Egy	16.1	Korpus içten Egy	14.8
T8 vertebra dikey	23.7	Proksimal fibula iç Egy	5.7	Korpus dıştan Egy	34.0
T9 vertebra yatay	30.3	Kalkaneus lateral orta dikey	35.9	Distal femur medial kondil Egy	30.8
T10 Vertebra dikey	21.9	Kalkaneus lateral orta yatay	91.0	Distal femur lateral kondil Egy	29.5
T10 Vertebra yatay	27.9			Epifiz distal egy	85.6
T11 dikey	20.5				
T11 yatay	27.6				
T12 dikey	20.1				
T12 yatay	25.9				
En alt Torakal Kostal Uç	12.1				
Vaka 9		Vaka 10		Vaka 13	
Anatomik Nokta 9	Tibia	Anatomik Nokta 10	Kalkaneus	Anatomik Nokta 13	Tibia + Fibula
Tam boy dikey	143.9	Distal falanks orta	10.7	Tibia medular kavite	16.1
Proksimal kortikal kalınlık	32.7	Kalkaneus superior	35.3	Tibia shaftı kortikal	38.3
Proksimal medular kavite	18.8	Kalkaneus posterior Egy	44.6	Fibula shaftı medular kavite	6.2
Distal kortikal Egy	27.4			Fibula shaftı kortikal	20.7
Distal medular Egy	25.9			Tibia-fibula epifiz	103.6
Kırık hattı Egy	22.2			Tibia anterior posterior Egy	64.3
Boy orta	22.4				

Çizelge 3.2. Devam

	Vaka 14
Anatomik Nokta 14	Fibula
Tam boy dikey	141.2
Proksimal Egy	15.4
Distal kortikal Egy	16.5

	Vaka 15
Anatomik Nokta 15	Tibia
Şaft medular kavite Egy	15.2
Şaft kortikal Egy	33.7
Epifiz Egy medial - distal	86.9

	Vaka 16
Anatomik Nokta 16	Kafatası
Sol orbita fronto-maksiller orijin ve dacryon arası	42.4
Sağ orbita fronto-maksiller orijin ve dacryon arası	42.7
Sfeno-frontal süturlar arası	122.4
Zigomatik mermi çıkış çap 1	9.3
Zigomatik mermi çıkış çap 2	12.4
Mandibula bikondüler genişlik Egy	122.8
Mandibula bigonyal genişlik egy	94.9

	Vaka 17
Anatomik Nokta 17	Pubis
Femoral uç medular kavite	15.5
Femoral uç kortikal Egy	31.5
En dar krestler arası	85.4
Obturator foramen Egy	48.3
Obturator foramen dikey Egy	41.2

	Vaka 18
Anatomik Nokta 18	Kosta
T3 foramen vertebra dikey	18.1
T3 foramen vertebrae yatay	15.3
T3 korpus superior Egy	40.7
T3 processus spinosus	Yok
Sol transvers proses Egy	16.3
T4 transvers proses sol Egy	16.0
T5 transvers proses sol Egy	14.3
T6 transvers proses sol Egy	13.6
T7 transvers proses sol Egy	13.0
T8 foramen vertebra dikey	19.6
T8 foramen vertebra yatay	16.0
T8 transvers proses Egy	13.4
T8 korpus superior Egy	31.1
T8 processus spinosus	63.0
T3 Kostal uç	14.4 x 7.2
T4 Kostal uç	14.8 x 6.4
T5 Kostal uç	13.1 x 7.7
T6 Kostal uç	11.9 x 8.9
T7 Kostal uç	15.6 x 9.0
T8 Kostal uç	12.5 x 6.8

	Vaka 19
Anatomik Nokta 6	Tibia
Tam boy dikey	142.7
Kırık hattı Egy	54.2

Çizelge 3.3. Belirlenen noktalardan mm cinsinden dijital ölçümler

Vaka 1		Vaka 2		Vaka 3	
Anatomik Nokta 1	Femur	Anatomik Nokta 2	Costa	Anatomik Nokta 3	Tibia+Fibula
Femoral uç medular kavite	13.5	Enine çatlak Egy	17.2	Posterior distal tibia epifizi egy	45.6
Femoral uç kortikal Egy	29.5	6. kosta sternal (kesik)	14.8	Posterior distal fibula epifizi egy	16.2
Obturator foramen Egy	56.9	5. kosta sternal (kesik)	16.8	Tibia (çatlak açıklığı) Egy	42.4
Obturator foramen en dar dikey	36.1	4. kosta sternal (tam)	16.5	Tibia medular kavite	15.8
En dar krestler arası	79.9	3. kosta sternal (kesik)	16.3	Tibia kortikal kalınlık	31.1
		2. kosta sternal (kesik)	12.2	Fibula medular kavite	-
		6. kosta enine çatlak egy	12.2	Fibula kortikal kalınlık	15.9
Vaka 4		Vaka 5		Vaka 7	
Anatomik Nokta 4	Kosta+Vertebra	Anatomik Nokta 5	Metatarsal	Anatomik Nokta 7	Femur
Tüm Vertebral Anterior	122.1	Proksimal tibia kortikal Egy	32.0	Patella Egy	45.7
En alt Torakal Dikey - Anteior	25.2	Tibia medular kavite	12.7	Posterior dikey Egy	36.0
En alt Torakal yatay korpus	32.6	Proksimal fibula Egy	15.8	Korpus içten Egy	14.4
T8 vertebra dikey	23.4	Proksimal fibula iç Egy	5.5	Korpus dıştan Egy	33.8
T9 vertebra yatay	30.1	Kalkaneus lateral orta dikey	35.5	Distal femur medial kondil Egy	30.8
T10 Vertebra dikey	21.9	Kalkaneus lateral orta yatay	90.7	Distal femur lateral kondil Egy	29.2
T10 Vertebra yatay	27.5			Epifiz distal egy	85.5
T11 dikey	20.4				
T11 yatay	27.4				
T12 dikey	19.8				
T12 yatay	25.7				
En alt Torakal Kostal Uç	11.7				
Vaka 9		Vaka 10		Vaka 13	
Anatomik Nokta 9	Tibia	Anatomik Nokta 10	Kalkaneus	Anatomik Nokta 13	Tibia + Fibula
Tam boy dikey	143.7	Distal falanks orta	10.5	Tibia medular kavite	15.8
Proksimal kortikal kalınlık	32.4	Kalkaneus superior	35.3	Tibia shaftı kortikal	38.0
Proksimal medular kavite	18.4	Kalkaneus posterior Egy	44.5	Fibula shaftı medular kavite	5.9
Distal kortikal Egy	27.2			Fibula shaftı kortikal	20.5
Distal medular Egy	25.5			Tibia-fibula epifiz	103.5
Kırık hattı Egy	22.0			Tibia anterior posterior Egy	64.2
Boy orta	22.1				

Çizelge 3.3. Devam

	Vaka 14
Anatomik Nokta 14	Fibula
Tam boy dikey	140.8
Proksimal Egy	15.1
Distal kortikal Egy	16.4

	Vaka 15
Anatomik Nokta 15	Tibia
Şaft medular kavite Egy	14.8
Şaft kortikal Egy	33.4
Epifiz Egy medial - distal	86.8

	Vaka 16
Anatomik Nokta 16	Kafatası
Sol orbita fronto-maksiller orijin ve dacryon arası	42.3
Sağ orbita fronto-maksiller orijin ve dacryon arası	42.7
Sfeno-frontal suturelar arası	122.2
Zigomatik mermi çıkış çap 1	9.3
Zigomatik mermi çıkış çap 2	12.2
Mandibula bikondüler genişlik Egy	122.7
Mandibula bigonyal genişlik egy	94.9

	Vaka 17
Anatomik Nokta 17	Pubis
Femoral uç medular kavite	15.3
Femoral uç kortikal Egy	31.3
En dar krestler arası	85.3
Obturator foramen Egy	48.0
Obturator foramen dikey Egy	41.0

	Vaka 18
Anatomik Nokta 18	Kosta
T3 foramen vertebra dikey	17.8
T3 foramen vertebrae yatay	15.1
T3 korpus superior Egy	40.5
T3 processus spinosus	Yok
Sol transvers proses Egy	16.2
T4 transvers proses sol Egy	15.9
T5 transvers proses sol Egy	14.1
T6 transvers proses sol Egy	13.6
T7 transvers proses sol Egy	13.0
T8 foramen vertebra dikey	19.6
T8 foramen vertebra yatay	16.0
T8 transvers proses Egy	13.3
T8 korpus superior Egy	30.9
T8 processus spinosus	63.0
T3 Kostal uç	14.4 x 7.0
T4 Kostal uç	14.6 x 6.3
T5 Kostal uç	12.9 x 7.7
T6 Kostal uç	11.8 x 8.8
T7 Kostal uç	15.3 x 9.5
T8 Kostal uç	12.5 x 6.7

	Vaka 19
Anatomik Nokta 6	Tibia
Tam boy dikey	142.5
Kırık hattı Egy	54.0

Vakaların yaş ortalaması 34,9 olarak hesaplanmıştır. Travmaların yoğunluklu olarak dağıldığı bölge alt ekstremité olup en sık travma görülen kemikler femur ve tibiadır.

Çizelge 3.4. Travma patternleri

Vaka No	Travma Bölgesi	Travma Patterni
1	Sağ femur proksimal metafiz - diyafiz kesimi	Radyal kırık, multi-fragmentasyon ve büyük ölçekli plastik deformasyon
2	Sağ 3. Ve 6. kostalar lateral kesim	3. kostada radyal kırık ve multi-fragmentasyon, 6. Kostada dış bevelling ve deplase kırık
3	Sağ tibia ve fibula diyafiz kesimi	Tibiada radyal ve konsantrik multi-fragmentasyon, fibulada lineer düzgün hatlı deplase kırık
4	Sol 8. kosta ve T10 – T11 vertebralar arası insisura	8. kostada giriş deliği ve konsantrik kırık hatları, vertebralar arasında oyuk ve mermi çekirdeği oturması
5	Sol tibia ve fibula distali	Tibia posteriorunda oldukça uzun hatlı ışınsal kırık ve fibulada düzgün lineer hatlı deplase kırık
7	Sol femur distal metafiz – diyafiz kesimi	Dış bevelling etkisi ve transversal konsantrik kırık, yoğun plastik deformasyon
9	Sağ tibia shaftı	Konsantrik ve radyal kırıklar, kelebek patterni
10	Kalkaneus	Kemiği simetrik olarak 4'e bölen lineer kırık hatları
13	Sağ tibia ve fibula proksimal uçlar	Notch ve anterior bevelling
14	Fibula shaftı	Multi-fragmentasyon, radyal ve konsantrik kırık hatları
15	Tibia proksimal kesimi	Radyal kırık ve transvers konsantrik kırık
16	Sol maksiller sinüs duvarları, nazal kemikler, sol temporal ön kesimi, sol zigomatik ark, sol mandibula koronoid proses ve etmoid	Nazal kemiklerde multi-fragmentasyon kırık, çıkış deliği olan zigomada konsantrik kırıklar, mandibulada ekstra artiküler deplase kırık
17	Sağ superior pubik ramus posterior	Çentik (lateral notch)
18	Sol 6. kosta laterali	Yuvarlak delik ve çember defekti
19	Sol tibia diyafizi	Kelebek ve yıldız patterni

3.2. İstatistiksel Analiz

Her vakada belirlenen noktalardan yapılan 3B baskı üzerindeki ölçümler ile aynı noktalardan yapılmış olan dijital ölçümler SPSS (IBM, sürüm: 26.0.0.0) yazılımında öncelikle fark ortalaması ve standart sapma betimsel istatistikleri için analiz edilmişlerdir. Testin başarısızlık oranı %5 fark olarak belirlenmiştir. Ölçümlerin ve farkların normal dağılıma uygun olup olmadığını saptamak için *Shapiro-Wilk* testi uygulanmış, verilerin normal dağılım göstermemesi sonucunda analiz için *Wilcoxon İşaretili Sıralar (Wilcoxon Signed-Rank)* testi uygulanmıştır. Baskı yapılan cihazın nozül çapı dikkate alınarak, $\pm 0.6\text{mm}$ tolerans kontrolü değişkeni eklenmiştir. Ölçümlerin %98.91'i cihaz toleransı ($\pm 0.6\text{mm}$) dahilindedir. Dijital ve manuel ölçüm yöntemleri arasındaki uyum, cihaz toleransı doğrultusunda değerlendirildiğinde ölçümler arasındaki farklar cihaz hassasiyeti ile açıklanabilecek düzeydedir. Bu sonuçlar ışığında iki grup arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Çizelge 3.5. İstatistiksel analiz sonuçları

Metric	Digital Measurements	Manual Measurements	Differences (Digital - Manual)
Mean	37.32 mm	37.52 mm	-0.19 mm
Standard Deviation	32.98 mm	32.98 mm	0.23 mm
Minimum	5.50 mm	5.70 mm	-0.50 mm
Maximum	131.00 mm	131.20 mm	1.40 mm
Test	Statistic		p-value
Wilcoxon Signed-Rank	158.5		2.27e-12

4. TARTIŞMA

Bu çalışmanın ana amacı, ateşli silahlardan kaynaklı travmaya maruz kalmış insan kemiklerindeki hasarların analizinde 3B baskı teknolojisinin etkinliğini değerlendirmek, adli ve hukuki süreçlerde, medikal alanlarda üretilen bu modellerin kullanıma uygun olup olmayacağını ve anatomik olarak tutarlı olup olmadıklarını irdelemektir. Bulgular; bilgisayarlı tomografi verileri kullanılarak üretilmiş olan 3B baskı modelleri ile dijital verilerden elde edilen ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermektedir. Bu durum, adli antropoloji ve balistik bilimlerinde teknolojik yeniliklerin potansiyel katkısını vurgulamakta ve özellikle adli soruşturmalarda 3B baskı metotlarının uygulanabilirliğini desteklemektedir.

3B baskı teknolojisi, adli bilimlerde devrim yaratabilecek nitelikte yeniliklerden biridir. Carew ve Errickson (2020) çalışmalarında, 3B baskının adli bilimlerdeki somut ürünleri incelemeyi kolaylaştırdığı ve bu teknolojinin hem hızlı hem de oldukça düşük maliyetli bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Buna benzer şekilde, Edelmers vd. (2021), anatomik doğruluk ve optimizasyon ele alındığında, 3B baskının çok önemli bir potansiyel taşıdığını ifade etmişlerdir. Bu çalışmanın bulguları da bu görüşleri desteklemekte olup; özellikle kemiklerin yapısal hasarının analizinde hem dijital hem de fiziksel modellerin oldukça benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ateşli silah yaralanmalarına bağlı travmalarının insana ait kemik dokuya etkileri ele alındığında; yara balistiği, ateşli silah yaralanmalarının etkilerini inceleyen multi-disipliner bir alan olup hem mermi çekirdeğinin hem de hedef dokunun fiziksel özelliklerini ele almaktadır. Bu bağlamda Schwab vd. (2024), balistik travmaların uzun kemiklerde özel bir kırılma paterni oluşturduğuna dikkat çekmiştir. Bu çalışmada, 3B baskı yöntemiyle üretilen modellerin, söz konusu patternlerin öngörülmesi ve analiz edilmesinde önemli bir yardımcı aracı olabileceği görülmektedir.

Ayrıca, Uzar vd. (2019) tarafından yapılan bir başka çalışmada, penetran olarak nitelendirilen ateşli silah travmalarında merminin kinetik enerjisinin, hedef dokuda oluşturduğu travmanın şiddetini belirleyen ana faktör olduğunu belirtilmiştir. Bu çalışmada da benzer bulgular elde edilmiş olup travma seviyesine ve kırık dağılımına bakılarak, mermi çekirdeğinin hızı ile anlamlı bir ilişki olabileceği gözlemlenmiştir.

Dijital verilerin güvenilirliği, kolay saklanması ve gerektiğinde kolay paylaşılması gibi sağladıkları kolaylıklar bağlamında, çağımızda adli bilimlerde dijital teknolojilerin kullanımı, geleneksel yöntemlere göre hızlı ve ucuz alternatifler sağlamaktadır. Day ve Speers (2019) çalışmalarında, 3B baskı teknolojisi ile dijital ölçümler arasındaki uyumu işaret etmişlerdir. Bu uyum, dijital teknolojilerin bu alanda kullanımı açısından güvenilirliğini teyit etmektedir. Çalışmamızda,

dijital veriler üzerinden yapılan ölçümler ile fiziksel modellerden elde edilen sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaması, bu görüşü desteklemektedir.

Balistik analizler ve araştırmalar; kullanılan kitler, araçlar, koruyucu ekipmanlar vb. düşünüldüğünde son derece yüksek maliyetli olabilmektedirler. Kemikleri şimdilik boyutsal ve hacimsel olarak doğru bir şekilde replika eden çalışmamız, ileride bu parametrelere gerçek kemiğe yakın hatta birebir dayanım, ağırlık ve esneklik gibi özellikler de kazandırabilecek metotlar ve malzemeler geliştirilmesine öncülük edebilir. Her ne kadar 3B baskı ve dijital analiz teknolojileri adli bilimlerde yenilikçi çözüm önerileri sunsalar da bu teknolojilerin bazı sınırlamaları da mevcuttur. Fina vd. (2017), seçici lazer sinterleme (SLS) gibi 3B baskı yöntemlerinin hassasiyet sorunlarına yol açabileceğini belirtmiştir. Bu çalışma, 3B baskı ile üretilen modellerin doğruluğunu ve güvenilirliğini teyit etmiş olsa da özellikle detaylı mikroskobik incelemelerde daha ileri teknolojilere ihtiyaç duyulabileceğini göstermiştir. Çalışmamız 3B baskı teknolojilerinin adli bilimlerdeki potansiyelini vurgulamakta ve ateşli silah travmalarının analizinde dijital verilerin uyumlu bir biçimde fiziksel materyale dönüştürülebileceğini ortaya koymaktadır. Literatürde hem ülkemizde hem de dünyada az sayıda benzer çalışma olsa da bu çalışmaların incelediği vaka veya numune sayısının örneklem büyüklüğü bakımından oldukça yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada örneklem büyüklüğü tasarlanırken, vaka sayısının istatistiksel bir sonuç verebilecek çoklukta olmasına dikkat edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırma, adli antropoloji alanında radyoloji ve modelleme gibi dijital teknolojilerin önemini ve bu teknolojilerin geleneksel yöntemlere sağlıklı bir biçimde nasıl entegre edilebileceğini vurgulamaktadır. Özellikle adli vaka olabilecek biyolojik materyalin rekonstrüksiyonunda ve incelenmesinde, fiziksel 3B baskılar ve dijital modellerin kombine biçimde kullanılması yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlayabilir. Bu çalışma, insan kemikleri üzerindeki ateşli silah defektlerinin değerlendirilmesinde, dijital 3B modelleme ve 3B baskı teknolojisinin, bilgisayarlı tomografi kombinasyonu ile güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Ürettiğimiz anatomik olarak tutarlı oldukları görülen bu replika modeller ileri soruşturmalarda, maktulün veya bireyin iskeletleştiği durumlarda feth-i kabir (mezar açma) işlemlerine gerek duyulmadan eldeki tomografi verileriyle yüksek doğruluklu modeller oluşturmaya olanak sağlayabilirler. Kullanılan cihazlar ve sarf malzemelerinin ilerleyen zamanlarda muhakkak gelişeceği de göz önüne alınırsa, gelecekte bu modelleri daha da yüksek doğruluk oranları ve gerçekçilik ile üretmenin mümkün olabileceği düşünülmektedir. İnceleme lokasyonu neresi olursa olsun, bu teknolojiler sayesinde artık hastanın/vakanın dijital verilerinin istenilen zamanda ilgililere, uzmanlara, mahkemelere ve adli makamlara elle tutulur somut numunelere dönüştürülebilecek şekilde gönderilebilmesinin mümkün olduğu bildirilebilir.

KAYNAKLAR

- Baş, H., Yapıcı, F., & İnanç, İ. (2022). Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(4), 1354-1361.
- Carew, R. M., & Errickson, D. (2020). An overview of 3D printing in forensic science: The tangible third-dimension. *Journal of Forensic Sciences*, 65(5), 1461–1471. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14442>
- Çeker, D. (2017). İnsan kemiklerinin analizi ve adli antropoloji’de kimliklendirmede önemi. *MASROP E-Dergi*, 11(17), 1-13.
- Çeker, D., Sevim Erol, A., & Plümer Küçük, G. (2022). Adli antropoloji ve kimliklendirme – Sahada ve laboratuvarında popüler metotlar (ss. 238-246). Nobel Yayınları.
- Çınar, T., Alkan, N., Büyük, Y. (2002). Adli Tıp Kurumu 1. İhtisas Şubesine Yansıyan Ateşli Silah Olguları. *İstanbul Tıp Fakültesi Mecmuası*, 65:1.
- Day, P. J., & Speers, S. J. (2019). The assessment of 3D printer technology for forensic comparative analysis. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 51(5), 579–589. <https://doi.org/10.1080/00450618.2019.1609088>
- Edelmers, E., Kazoka, D., & Pilmane, M. (2021). Creation of anatomically correct and optimized for 3D printing human bones models. *Applied System Innovation*, 4(3), 67. <https://doi.org/10.3390/asi4030067>
- Egemen, Y. (2021). *Balistik: Roma İmparatorluğu'ndan modern balistiğe*. Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Dairesi Başkanlığı. <https://www.egm.gov.tr/kriminal/balistikuzmanlik>
- Errickson, D., Thompson, T. J. U., & Rankin, B. W. J. (2014). *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 2, 132-137.
- Fina, F., Goyanes, A., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2017). Selective laser sintering (SLS) 3D printing of medicines. *International Journal of Pharmaceutics*, 529(1–2), 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.06.082>
- Güvener, O., (2021). *Üç Boyutlu Baskı Kafatası Modelleri Üzerine Karşılaştırmalı Anatomik Çalışmalar* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi
- Love, J. C., & Wiersema, J. M. (2016). Skeletal trauma: An anthropological review. *Academic Forensic Pathology*, 6(3), 463–477. <https://doi.org/10.23907/2016.047>
- Maines, E. M., Porwal, M. K., Ellison, C. J., & Reineke, T. M. (2021). Sustainable advances in SLA/DLP 3D printing materials and processes. *Green Chemistry*, 23.
- Özer, G. (2008). *Dış balistik analizinde izdüşüm alanı etkilerinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Sf: 4-7. Kırıkkale Üniversitesi.
- Özgüder, O., Özbay, M., & Adin, H. (2017). Namılu içi balistik davranışın sonlu elemanlar yöntemiyle analizi. *Makine Mühendisliği Dergisi*, 22(1), 1-10. <https://doi.org/10.23907/2017.022>

Philip, J. W., Bouman, C., Carmignato, S., Cnudde, V., Grimaldi, D., Hagen, C. K., Maire, E., Manley, M., Du Plessis, A., & Stock, S. R. (2021). Nature, 4, 1-18.

Sarısoy, T. (2010). Bilgisayarlı tomografi. KOÜTF Göğüs Cerrahisi Kliniği Arşivi, 208.

Schwab, N., Jordana, X., Monreal, J., Garrido, X., Soler, J., Vega, M., Brillas, P., & Galtés, I. (2024). Ballistic long bone fracture pattern: An experimental study. International Journal of Legal Medicine, 138(4), 1685–1700. <https://doi.org/10.1007/s00414-024-03191-6>

Thomas, P. (2003). Forensic anthropology: The growing science of talking bones. Facts On File Inc.

Uzar, A. İ., Ögünç, G. İ., & Özer, M. T. (2019). Ateşli silah yaralanmalarının özellikleri ve balistik bilimi. *Türkiye Klinikleri, Jinekoloji ve Obstetrik Dergisi*, 29(1), 1-6. <https://doi.org/10.5336/gynobstet.2018-63547>

Uzar, A. İ., Ögünç, G. İ., & Özer, M. T. (2019). Penetran ateşli silah yaralanmalarında yara balistiği. *Güvenlik Bilimleri Dergisi, IDEF Özel Sayı*, 53–77. <https://doi.org/10.28956/gbd.551748>