

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
ADLİ TIP ANABİLİM DALI**

**ADLİ TIP UYGULAMALARINDA 3D (ÜÇ BOYUTLU)  
TEKNOLOJİNİN KULLANIMI**

**UZMANLIK TEZİ**

**DR. MEHMET ZAHİT SARITAŞ**

**DANIŞMAN  
DOÇ.DR. BORA BOZ**

**DENİZLİ - 2015**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
ADLİ TIP ANABİLİM DALI**

**ADLİ TIP UYGULAMALARINDA 3D (ÜÇ BOYUTLU)  
TEKNOLOJİNİN KULLANIMI**

**UZMANLIK TEZİ**

**DR. MEHMET ZAHİT SARITAŞ**

**DANIŞMAN  
DOÇ.DR. BORA BOZ**

**DENİZLİ - 2015**

Doç. Dr. Bora BOZ danışmanlığında Dr. Mehmet Zahit SARITAŞ tarafından yapılan "Adli Tıp Uygulamalarında 3D (Üç Boyutlu) Teknolojinin Kullanımı" başlıklı tez çalışması 13/07/2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonrası yapılan değerlendirme sonucu jürimiz tarafından Adli Tıp Anabilim Dalı'nda TIPTA UZMANLIK TEZİ olarak kabul edilmiştir.

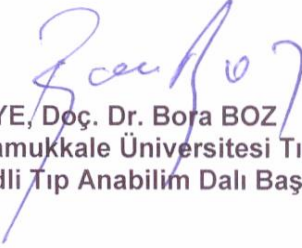
BAŞKAN, Prof. Dr. Ufuk KATKICI  
Adnan Menderes Üniversitesi Tıp Fakültesi  
Adli Tıp Anabilim Dalı Başkanlığı



ÜYE, Prof. Dr. Kemalettin ACAR  
Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi  
Adli Tıp Anabilim Dalı Başkanlığı



ÜYE, Doç. Dr. Bora BOZ  
Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi  
Adli Tıp Anabilim Dalı Başkanlığı



Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.  
13/07/2015



Pamukkale Üniversitesi  
Tıp Fakültesi Dekanı 

## **TEŐEKKÜRLER**

*Uzmanlık eğitimime başladığım ilk günden itibaren  
bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım,  
Adli Tıp Anabilim Dalı'nın değerli öğretim üyeleri,  
Tez danışmanım Doç. Dr Bora BOZ'a,  
Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Kemalettin ACAR'a ve  
Doç. Dr. Ayşe KURTULUŐ DERELİ'ye,  
Tez çalışmamda teknik bilgilerini benimle paylaşan E.E Müh. Ali BOZ'a  
Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum asistan arkadaşlarıma,  
Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anneme, babama ve kardeşlerime,  
Tez çalışmam sırasında benimle birlikte yorulan ve emek harcayan eşim Dilek'e,  
Denizli Adli Tıp Şube Müdürlüğü çalışanlarına  
Sonsuz Teşekkürlerimi Sunarım...  
Dr. Mehmet Zahit SARITAŞ*

<b>İÇİNDEKİLER</b>	
	<b>Sayfa No</b>
<b>ONAY SAYFASI</b>	<b>II</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>III</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>IV</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b>	<b>VI</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>VII</b>
<b>ÖZET</b>	<b>X</b>
<b>İNGİLİZCE ÖZET</b>	<b>XI</b>
<b>GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>GENEL BİLGİLER</b>	<b>3</b>
<b>RADYOLOJİ</b>	<b>3</b>
X-ışınları	<b>4</b>
Bilgisayarlı Tomografi	<b>5</b>
Manyetik Rezonans Görüntüleme	<b>6</b>
Hastane Bilgi Yönetim Sistemi	<b>6</b>
PACS	<b>6</b>
DICOM	<b>7</b>
<b>TERSİNE MÜHENDİSLİK</b>	<b>8</b>
<b>3D MODELLEME</b>	<b>10</b>
<b>3D TARAMA</b>	<b>10</b>
MIP (Maksimum İntensite Projeksiyon)	<b>12</b>
MPR (Multiplanar Reconstruction)	<b>12</b>
<b>3D FOTOGRAMETRİ</b>	<b>12</b>
<b>GÖRÜNTÜ SAYISALLAŞTIRMA</b>	<b>13</b>
Yüzey Oluşturma (Surface Rendering-SSD)	<b>15</b>
Hacim Oluşturma (Volume Rendering-VRT)	<b>15</b>
Görüntü Bölütleme (Segmentasyon)	<b>16</b>
<b>TRİTOP/ATOS III SİSTEMİ</b>	<b>19</b>
<b>3D YAZICILAR</b>	<b>19</b>
<b>MEDİKAL ALANDA 3D KULLANIMI</b>	<b>19</b>
<b>ADLİ TIP UYGULAMALARINDA 3D KULLANIMI</b>	<b>21</b>
Yara Rekonstrüksiyonu	<b>61</b>
Ateşli Silah Trase Rekonstrüksiyonu	<b>61</b>

<b>Olay Yeri Rekonstrüksiyonu</b>	<b>25</b>
<b>Şekilli Lezyonlara Neden Olan Suç Aletinin Rekonstrüksiyonu</b>	<b>26</b>
<b>Fasiyal Rekonstrüksiyon</b>	<b>28</b>
<b>Kan lekesi model analizi</b>	<b>29</b>
<b>3D Osteometrik Ölçümler</b>	<b>30</b>
<b>Postmortem 3D Görüntüleme</b>	<b>31</b>
<b>Yaş Tayini (Yaşlandırma)</b>	<b>33</b>
<b>GEREÇ VE YÖNTEM</b>	<b>34</b>
<b>BULGULAR</b>	<b>38</b>
<b>TARTIŞMA</b>	<b>60</b>
<b>SONUÇ/ÖNERİLER</b>	<b>68</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>70</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BT: Bilgisayarlı Tomografi

MR: Manyetik Rezonans Görüntüleme

3D: Üç Boyut

3D-BT: Üç Boyutlu Bilgisayarlı Tomografi

VRT: Volume Rendering

SSD: Surface Rendering

HBYS: Hastane Bilgi Yönetim Sistemi

PACS: Picture Archiving and Communication System

DICOM: Digital Imaging and Communications in Medicine

CAD: Computer Aided Design

<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>		
		<b>Sayfa No</b>
<b>Şekil 1</b>	Tersine mühendislik tekniklerinin sınıflandırılması	9
<b>Şekil 2</b>	Üçgenleme prensibine dayalı modelleme	14
<b>Şekil 3</b>	Kafatasında triangüler meshleme	17
<b>Şekil 4</b>	Eşikleme (Thresholding)	18
<b>Şekil 5</b>	Histogram eşitleme	18
<b>Şekil 6</b>	Kişiyeye özel 3D yöntemler kullanılarak oluşturulan protez	20
<b>Şekil 7</b>	Abdominal aort anevrizmasına ait 3D görünüm	20
<b>Şekil 8</b>	3 boyutlu detaylı yara rekonstrüksiyonu	21
<b>Şekil 9</b>	Ateşli silah yaralanmasına bağlı olay yeri rekonstrüksiyonu	22
<b>Şekil 10</b>	Ateşli silah olay yeri rekonstrüksiyonu	22
<b>Şekil 11</b>	Mermi çekirdeği trasesi 3D rekonstrüksiyonu	23
<b>Şekil 12</b>	Mermi çekirdeği trase rekonstrüksiyonu	23
<b>Şekil 13</b>	Namlu ucu ile giriş yaralarının 3D balistik rekonstrüksiyonu	24
<b>Şekil 14</b>	Kaza mı yoksa cinayet mi olduğu konusunda şüpheli ateşli silah olay yeri 3D rekonstrüksiyonu	25
<b>Şekil 15</b>	Olay yeri 3D rekonstrüksiyonu	26
<b>Şekil 16</b>	Potansiyel suç aletinin çakıştırma/eşleştirme yöntemiyle rekonstrüksiyonu	26
<b>Şekil 17</b>	Şekli ekimozun fotogrametrik 3D analizi ile plastik merminin 3D rekonstrüksiyonu	27
<b>Şekil 18</b>	Isırık izinin 3D rekonstrüksiyonu	28
<b>Şekil 19</b>	3D fasiyal rekonstrüksiyon	29
<b>Şekil 20</b>	4 veya 5 yerden orjin alan kan lekelerinin 3D analizi	30
<b>Şekil 21</b>	Frontal ve sol paryetal bölgede 3D kemik ölçümü	30
<b>Şekil 22</b>	Sol hemitorakstan 13 kez bıçaklanan bir kadının kostalarının 3D rekonstrüksiyonu	31
<b>Şekil 23</b>	Servikal vertebraların 3D rekonstrüksiyonu	32
<b>Şekil 24</b>	Kömürleşmiş cesette yumuşak dokuların 3D rekonstrüksiyonu	32
<b>Şekil 25</b>	Kraniyotomi uygulanan şahsın 3D Dimviewer programında 3D rekonstrüksiyonu	38
<b>Şekil 26</b>	Kraniyotomi uygulanan şahsın 3D Slicer programında 3D rekonstrüksiyonu	38



<b>Şekil 27</b>	3D Doctor programında kafatası 3D modelleme (yandan görünüm)	39
<b>Şekil 28</b>	3D Doctor programında kafatası 3D modelleme (önden görünüm)	39
<b>Şekil 29</b>	Seg 3D programında cilt altı saçma tanesi MR görüntüsü 3D modelleme	40
<b>Şekil 30</b>	Ateşli silah yaralanması Seg3D programında 3D modellemesi	41
<b>Şekil 31</b>	Ateşli silah yaralanması 3D Doctor programında 3D modellemesi (önden görünüm)	41
<b>Şekil 32</b>	Ateşli silah yaralanması 3D Doctor programında 3D modellemesi (alttan görünüm)	41
<b>Şekil 33</b>	Ateşli silah yaralanması 3D Slicer programında 3D modellemesi	42
<b>Şekil 34</b>	Ateşli silah yaralanması 3D-BT ile 3D modellemesi	42
<b>Şekil 35</b>	Yüz travması 3D modelleme	43
<b>Şekil 36</b>	Yüz travması yumuşak doku 3D modellemesi	43
<b>Şekil 37</b>	Künt cisim travması sonrası kafatası 3D modelleme (sol yandan görünüm)	44
<b>Şekil 38</b>	Künt cisim travması sonrası kafatası 3D modelleme (sağ yandan görünüm)	44
<b>Şekil 39</b>	Trafik kazası sonrası kafa travmasına bağlı kemik kırıklarının 3D modellemesi (sağ yandan görünüm)	45
<b>Şekil 40</b>	Trafik kazası sonrası kafa travmasına bağlı kemik kırıklarının 3D modellemesi (sağ yandan görünüm)	45
<b>Şekil 41</b>	Aort diseksiyonu 3D modellemesi	46
<b>Şekil 42</b>	Alt ekstremitte ateşli silah yaralanması 3D modellemesi (önden görünüm)	47
<b>Şekil 43</b>	Alt ekstremitte ateşli silah yaralanması 3D modellemesi (yandan görünüm)	47
<b>Şekil 44</b>	Cilt altı saçma tanelerinin 3D modellemesi	48
<b>Şekil 45</b>	Akciğerlerin ve hava yollarının 3D modellemesi	48
<b>Şekil 46</b>	Atelektazik akciğerlerin BT görüntülerinin 3D modellemesi	49
<b>Şekil 47</b>	Diseksiyona bağlı sağ karotis internada oluşan darlığın 3D modellemesi	50
<b>Şekil 48</b>	Asendan aorta anevrizmasının 3D modellemesi	51

<b>Şekil 49</b>	Sol humerus başı ve boynu kırığının 3D modellemesi	51
<b>Şekil 50</b>	Normal damarsal yapıların VRT tekniği ile 3D Slicer programında 3D modellemesi	52
<b>Şekil 51</b>	Kosta kırığının 3D modellemesi	52
<b>Şekil 52</b>	Kosta kırığının 3D modellemesi	52
<b>Şekil 53</b>	Derin ve yüzeysel femoral damarsal yapılar ile dallarının İnvosalius programında 3D modellemesi	54
<b>Şekil 54</b>	Mandibula kırığı olan şahsın 3D-BT ile rekonstrüksiyonu	54
<b>Şekil 55</b>	Sol radius distal uçta lineer kırığı olan şahsın el bileğinin 3D-BT ile görüntülenmesi	55
<b>Şekil 56</b>	Sol oksipital kemik ve sol mandibula kırıklarının 3D-BT ile rekonstrüksiyonu	55
<b>Şekil 57</b>	Sağ zygomatik arkta parçalı deplase kırığın 3D-BT'de rekonstrüksiyonu	56
<b>Şekil 58</b>	Sol orbita lateral ve inferior duvarı ile maksilla lineer fraktür hatlarının rekonstrüksiyonu	57
<b>Şekil 59</b>	Yüz kemik kırıklarının 3D-BT ile rekonstrüksiyonu	57
<b>Şekil 60</b>	Kemiklerin blender programında meshlenmesi	58
<b>Şekil 61</b>	Kemiklerin blender programında meshlenmesi	59
<b>Şekil 62</b>	Kemiklerin blender programında meshlenmesi	59
<b>Şekil 63</b>	8500 yıllık kafatasına ait kemiklerden 3D yazılımlar ile 3D tarayıcı kullanılarak yapılan fasiyal rekonstrüksiyon	69
<b>Şekil 64</b>	Anadolu popülasyonun yüz doku kalınlıkları ile yeniden yüzlendirme (ABAB Metodu)	69

## ÖZET

### **Adli Tıp Uygulamalarında 3D (Üç Boyutlu) Teknolojinin Kullanımı**

**Dr. Mehmet Zahit SARITAŞ**

Adli Tıp uygulamalarında üç boyut/bilgisayar destekli tasarım adli vakalarda önemli bir rol oynamaktadır. Trafik kazaları, cinayet, intihar gibi adli olayların analizi canlı veya ölmüş kişilerde eksternal ve internal bulgulara dayanmaktadır. Bu nedenle ileri teknolojik yöntemlerin önemi adli bilimlerde giderek artmaktadır. Adli bilimlerin önemli görevlerinden biride olayları belgelemek ve tüzel kişilere, yargı mensuplarına ve tıbbi kökenli olmayan kişilere medikal bulguları anlaşılabilir bir şekilde sunmaktır. Bu nedenle bu çalışmada kesitsel görüntüleme yöntemleri ve 3D lazer tarayıcı kullanılarak adli olguların görselleştirilmesi amaçlanmıştır.

Aynı zamanda 3D tarayıcı ve/veya 3D tasarım yazılımları adli bilimlerde hızla gelişmektedir. Bizim çalışmamızda MR, BT ve 3D-BT tarayıcı verilerine dayanmaktadır. Çalışmamızda 2012-2014 yılları arasında Pamukkale Üniversitesi Radyoloji Anabilim Dalına başvuran hastaların görüntüleri kullanıldı. Elde edilen BT, MR, DICOM görüntüleri ve 3D-BT tarayıcı verileri 3D yazılımlar ve 3D render programları ile analiz edildi. BT ve MRG görüntülerinin rekonstrüksiyonu hacim ve yüzey oluşturma teknikleri ile elde edilmiştir.

Çalışmamızın amacı son yıllarda 3 boyutlu görüntüleme tekniklerindeki ilerlemenin adli bilimlerde 3D teknolojiler kullanılarak 3D rekonstrüksiyon, 3D modelleme ve bağımsız gözlemci ile tekrarlanabilirlik/çoğaltılabilirlik oluşturmanın önemini değerlendirmektir.

**Anahtar Kelimeler:** Adli üç boyut, bilgisayar destekli tasarım, üç boyutlu tarayıcı, üç boyutlu görüntüleme

## **ABSTRACT**

### **The Use Of 3D (Three Dimensional) Tecnology İn Forensic Science Applications**

**Dr. Mehmet Zahit SARITAŞ**

Forensic three-dimensional/computer aided design (CAD) plays an important role in the field of the documentation of forensic relevant injuries. The analysis of forensically relevant events, such as traffic accidents, criminal assaults and homicides are based on external and internal morphological findings of the injured or deceased person. For this approach high-tech methods are gaining increasing importance in forensic investigations. A main goal of forensic medicine is to document and to translate medical findings to a language and/or visualization that is readable and understandable for judicial persons and for medical laymen. Therefore we made an examination with the new radiological modalities of cross-section techniques and 3D scanners.

At the same time, 3D scanners and/or 3D design software are rapidly developing in the field of forensic sciences. Our study based on CT, MRG and 3D-BT data. We used the computerize tomography, magnetic resonance imaging which has applied Radiology Department of Pamukkale Üiversity Medical Center in Denizli Turkey, in 2012-2014. The obtained CT and MRG scans were evaluated using the 3D software program, performing 3D rendering of the DICOM images. Three-dimensional CT-MRI reconstructions were obtained with the volume-rendering and surface rendering technique.

The aim of our study was to evaluate whether the progress in 3D imaging techniques over the last years has made it possible to 3D reconstruction, 3D modeling and establish an observer-independent and reproducible forensic assessment using 3D Technologies.

**Keywords:** Forensic three dimensional, computer aided design, three dimensional scanners, three dimensional imaging.

## 1. GİRİŞ

1895 yılında Wilhelm C. Röntgen'in ilk fizik Nobel ödülünü (1901) almasını sağlayan X-ışınlarını buluşu tıpta yeni bir dönemin başlamasına neden olmuştur. X-ışınlarının hukuk sistemindeki ilk kullanımı bu tarihten çok kısa bir süre sonra Kanada Montreal'de bacağında vurulan bir kişide 45 dakika süren pozlama ile kurşunun yeri belirlenmiş ve kovuşturma aşamasında önemli bir gelişme sağlanmıştır (1). 1896 yılında İngiltere de bir ceza davasında ilk kapsamlı radyografi kullanılmıştır (2). Kadavra üzerinde ilk radyolojik çalışma 1898 yılında yapılmıştır (1). Bu gelişmeler ışığında radyolojik gelişmeler devam etmiştir ve farklı yöntemler ortaya çıkmıştır. 1970'lerde bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans (MR), ultrason (USG) ve nükleer görüntüleme yöntemleri bulunarak kullanılmaya başlanmıştır (3). BT görüntülerinin adli uygulamalardaki ilk kullanılışı 1977 yılında Wullenweber tarafından intrakranial ateşli silah yaralanmasında uygulanmıştır (4). Bilgisayarlı tomografinin matematik prensiplerinin 20.yy başlarında Radon tarafından ortaya konmuş olmasına rağmen, teknolojik uygulamalarına daha geç başlanmıştır. 1960'ların sonlarına ve 1970'lerin başlarına doğru G. Hounsfield ve Cormack, İngiltere'de ilk ticari X-ışınlı BT sistemini (Bilgisayar Destekli Tomografi) tarayıcısını geliştirmiştir (5).

Üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinin geliştirilmesi yine aynı tarihlerde başlamıştır. İlk 3D görüntülerini içeren bilgisayar grafikleri 1960 yıllarında vektör animasyonları ile bulunmuştur. 1969 yılında insanların 3D animasyon şekilleri kalem ile çizilen seri kesitleri fotoğraflanarak oluşturulmuştur (6). Grafik destekli bilgisayar sistemlerinin gelişmesiyle bilgisayarlı tomografi görüntülerinden oluşturulan 3D rekonstrüksiyonlar tümör boyut ölçümleri, cerrahi-dental implantlar, kraniofasial deformitelerde ve antropometrik ölçümler gibi farklı klinik uygulamalarda kullanılmaya başlamıştır (7).

Biyomedikal alandaki gelişmeler, bilişim teknolojilerinin gelişimi ile paralellik göstermektedir. Sağlık sektöründe kullanılan ölçüm ve görüntüleme yöntemleri, test, analiz ve izleme cihazları hızla gelişmekte ve çoğalmakta, bunun sonucunda tıp literatürü gün geçtikçe zenginleşmektedir. Yeni tanı ve tedavi yöntemlerinin çoğunun kullanımı bilgisayarlara bağlıdır. Biyomedikal alanda her ne kadar cihazlar ön planda olsa da bu cihazlardan elde edilen sekansların nasıl işlediği, nasıl yapılandırıldığı, birbiriyle nasıl tutarlı hale getirildiği ve kullanılan dijitalerin hangi kriterler de olması gerektiği büyük önem taşımaktadır

Radyoloji canlı ve ölmüş kişilerde bulguların görselleştirilmesi ve kayıt altına alınmasında yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Radyolojik görüntüleme tümör tipini belirlemek gibi detaylı patolojik süreçler hakkında yeterli bilgi vermese de adli tıp araştırmalarıyla sıkı bir korelasyon halindedir (8). Yaralanan kişilerde daha sonra mahkemelerde tartışılmak üzere mevcut direk morfolojik değerlendirme söz konusu olmamaktadır. Bu nedenle klinik adli vakalarda bilgisayarlı görüntüleme yöntemleri ancak güvenilir bilgiyi sağlayabilmektedir. Bu tür adli olguların 3 boyutlu değerlendirilmesi otopsiye yakın bilgiler edinmemizi sağlayacaktır. 3D ile işlenen yüzey görüntüleri dokular arasındaki mekansal ilişkileri özellikle perspektif sanal rotasyon hareketleri ile daha iyi görselleştirecektir (9). Ölüm yaralanmadan uzun bir süre sonra oluştuysa yaralanma mekanizmasının başarılı bir şekilde açıklanabilmesi için klinik görüntüleme yöntemlerinden elde edilen datalar büyük önem taşımaktadır. Bazı vakalarda kemik gibi sert dokularda oluşan şekilli kırıkların 3D rekonstrüksiyonunun değerlendirilmesi ile olay sırasında kullanılan aletin analizi yapılabilmektedir (10).

Adli tıp pratiğinde çalışılan materyal bazen tek bir kemik, kısmi iskelet kalıntıları bazen de bütün bir iskelet kalıntısı olabilir. Bu tür örneklerin analizi mezar açma olgularında, müze çalışmalarında, kitlesel felaketlerde, tarihsel kadavralarda ve insansı fosiller gibi değişik alanlarda gerekebilir. Adli hekim, adli patolog ve adli antropolog bu gibi geniş farklı konularda 2 boyutlu görüntüleme yöntemlerinden elde ettiği datalar ile oluşturduğu 3D modelleme ile, karşılaştırmalı-rekonstrüktif kimliklendirmede ve lezyon tayininde başarılı bir değerlendirme olanağı kazanmaktadır (11).

Bizim çalışmamızda vücudunda herhangi bir nedenle travma oluşmuş adli vakaların (ateşli silah yaralanması, kesici-delici alet yaralanması, düşme, trafik kazaları...vb) hastaneye başvuru anındaki ve tedavi sürecindeki deforme olmuş vücut bölgelerinin medikal görüntü dataları tersine mühendislik yöntemiyle rekonstrükte edilerek 3D modelleri oluşturulmuştur. Böylelikle travmatik olgularda 3D model oluşturmanın adli tıp rutinindeki yeri, avantajları, dezavantajları ve kısıtlılıklarının tartışılması amaçlanmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 RADYOLOJİ

Radyoloji, modern tıbbın en önemli branşlarından biridir. Radyoloji biliminin tıp alanında uygulandığı ilk yıllarda, Amerikan Radyoloji Heyeti'nce 'Radyoloji; X-ışını, Radium ve diğer radyoaktif maddelerin hastalıkların tanı ve tedavisinde kullanımını konu alan bilim dalı' olarak tanımlanmıştır. Radyoloji camiasının ilk derneği olan 'Amerikan Radyoloji Derneği' 1900 yılında kurulmuş. İlk radyoloji kürsüsü 1917'de Stockholm'de kurularak radyoloji eğitime başlandı. 'Uluslararası Radyoloji Kongresi' ilk olarak 1925'de Londra'da, ikincisi ise 1928'de Stockholm'de düzenlendi. Stockholm'deki kongre'de, Röntgen (R) 'Uluslararası Radyasyon Ölçü Birimi' olarak kabul edildi (12).

Röntgen, 28 Aralık 1895 senesinde Wüzburg Bilimler Akademisi'nde 'Leber eine neue Art von Strahlen 'Yeni bir ışın üzerine' isimli makalesiyle, keşfini ilim alemine açıkladığı sıralarda Berlin'de tahsil yapan Dr. Ziya Nuri Birgi (1872-1936), 'İcmal-i Tıbbi' (27 Kasım 1895) ve 'Muallim Röntgen'in X Eşyası Hakkında Mütalaat' (27 Aralık 1895) başlıklı yazılarını tercüme ederek meslektaşlarına göndermiştir. Bu keşif sayesinde iç organlardaki patolojik durumları ve tümörleri tespit edilebileceğini umut etmektedir (13). X- ışınlarının keşfini "La Samaine Medical" isimli Fransız gazetesinden öğrenen Esat Fevzi ve Rıfat Osman'ın, Gülhane Askeri Tıbbiye Hastanesi'nde Crookes gazlı katot ışını tüpü, Ruhmkorft bobini ve fizik-kimya laboratuvarında yaptıkları pilleri kullanarak basit bir Röntgen Cihazı yaptıkları bildirilmiştir. Üretilen bu cihazı Yıldız Hamidiye Sultan İmparatorluk Hastanesi Cerrahi Bölüm Başkanı Prof. Dr. Cemil Topuzlu Paşadan izin alarak hastaneye kurmuşlardır. 1897 yılında Türk-Yunan Harbinde Selanik'te yaralanan asker Boyabatlı Mehmet Efendi'nin el radyografisini çekerek sağ bileğindeki şarapnel parçasını tespit ettikleri, daha sonra bu şarapnel parçasının Baş Cerrah Prof. Dr. Cemil Topuzlu Paşa tarafından ameliyatla çıkartıldığı belirtilmektedir. Bu uygulamanın, dünyada ve ülkemizde Röntgen tekniğinin savaş yaralanmalarında ilk kez kullanıldığı tıbbi uygulama olduğu bildirilmiştir (14).

Radyoloji tıpta bir uzmanlık dalıdır. Bu uzmanlık dalında birçok ileri teknoloji ürünü modern makine ve araç-gereç bulunur. Bu makinelerin görevi vücudun organ ve dokularını bir fotoğraf şeklinde görüntülemektir. Bu görüntülerin iki işlevi vardır:

1. Organ ve dokuların hasta olup olmadığını belirlemek; yani hastalıkları saptamak ve tanı koymak (teşhis etmek),

2. Bu görüntülerin kılavuzluğunda hastalıklı bölgeden iğne ile parça almak ya da tedavi amacıyla o bölgeye müdahale etmek (15).

- *Tanısal (Diyagnostik) Radyoloji;* Röntgen (fluoroskopi, radyografi), Bilgisayarlı Tomografi, Manyetik Rezonans, Ultrasonografi.
- *Girişimsel Radyoloji;* Diyagnostik radyoloji yöntemlerinin kılavuzluğunda hastalıklı bölgeye, tedavi amacıyla dışarıdan müdahale edilir (16).

Röntgende ve BT'de kullanılan enerji x-ışını, MR'de kullanılan enerji radyofrekans ve manyetizma, US'de ise yüksek frekanslı sestir. Medikal görüntü çekiminde görüntülenen, röntgende ve BT'de x-ışınlarının vücudu geçerken tutulma farklılıkları, MR'de hidrojen çekirdeklerinin miktarındaki ve radyofrekans enerjisini geri verme süresindeki farklılıklar, USG'de ise sesin doku yüzeylerinden yansıma farklılıklarıdır (16).

Adli radyoloji yaşayan kişilerde ve cesetlerde, kimlik belirtimi için eski kırıkları ve protezleri araştıran, yaş tayini amacıyla kemikleşme noktalarını belirleyen, travmalar sonrası ne tür lezyonlar meydana geldiğini saptayan, meydana gelmiş lezyonlar ile travmanın uyumluluğunu araştıran, ya da vücutta kalmış metalik cisimleri belirleyen, vücuttaki mermi çekirdeklerinin ne tür silahtan atıldığına yönelik araştırmalar yapan ve son zamanlarda ortaya konulan virtual otopsi teknikleri ile ölüm sebeplerini açıklamakta yararlanan bir bilim dalıdır (17).

### **2.1.1 X-IŞINLARI**

X-ışınları görülebilir ışıktan çok daha yüksek enerjiye sahip olan dalga boyları 0,1-100 Å arasında değişen elektromanyetik radyasyonun bir formudur. Medikal görüntüleme için yüksek voltajlı vakum tüpleriyle sıcak katot tarafından ortama yayılan elektronlara yüksek bir hız kazandırılarak x-ışınları oluşturulmaktadır. Bu elektronların yüksek bir hızla hedef metale çarpmasıyla da anot x-ışınları üretmektedir. X-ışını tüpleri içerisinde volfram mevcut olup mamografik görüntülerde daha düşük enerji elde etmek için molibden kullanılmaktadır (18).

X-ray görüntüleme dokuların kısmi yarı saydamlığına ve x-ışını fotonlarına bağlıdır. Tek bir x-ışını foton enerjisi 2 elektronvolttur (eV). Medikal görüntülemede 20-150 keV aralığında foton enerjisi kullanılır. İnsan vücudu değişik atom ağırlığında ve değişik kalınlık ve yoğunlukta dokulardan oluştuğundan, x-ışınının absorpsiyonu da farklı olacaktır. Farklı absorpsiyon ve gerginlik sonucu, röntgen filmi üzerine değişik oranlarda düşen x-ışınları geçtikleri vücut parçasının bir görüntüsünü



oluştururlar. Birçok faktörün katkısı olmasına rağmen x-ışınları bir dokunun küçük bir parçasında ilerlerken ilk ışın demetinden ayrılmalar olur. Bu ayrılan miktara x-ışını zayıflama (soğurma) katsayısı ( $\mu$ ) denir. Bu sayı doku tipine ve radyasyon dozuna bağlıdır. Oluşan görüntülerdeki doku hacimleri her hastanın kendine özgü  $\mu$  değerine bağlıdır (19).

Konvansiyonel radyografi, bilgisayarlı tomografi ve floroskopide kullanılan x-ışınlarına bağlı görüntüleme, klinik uygulamalarda en iyi ve en hızlı sonuçları veren teknik olmasının yanı sıra hastalıkların morfolojilerini anlamada benzersiz bir kavrama olanağı sağlar (20).

### **2.1.2 BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ**

Kullanılan enerji x-ışınlarıdır. Vücudu kesitler şeklinde görüntüler. Röntgenogramlardaki üst üste düşme ortadan kaldırılmıştır. BT, x-ışınının bilgisayar teknolojisi ile birleşmesinin ürünüdür. Bir BT kesiti oluşturabilmek için, kesit düzlemindeki her noktanın x-ışınını zayıflatma değerini bilmek gerekir. Bu değerler, kesit düzleminin çepeçevre her yönünden x-ışını geçirilerek yapılan çok sayıdaki ölçümün güçlü bilgisayarlarla işlenmesi ile bulunur. Bulunan bu sayısal değerler, karşılığı olan gri tonlarla boyanarak kesit görüntüleri elde edilir (21). BT'de görüntüler aslında iki boyutlu değildir; bizim tarafımızdan belirlenen bir kalınlıkları vardır. BT'de ölçüm yapılan birimler piksel değil, tabanını pikselin, yüksekliğini kesit kalınlığının yaptığı dikdörtgen prizmalardır. Bu prizmalara hacim elementi anlamına gelen voksel adı verilir. Vokselin sayısal değeri vokselin içerisine giren tüm yapıların ortalama değeridir. Bir BT kesitinde gördüğümüz piksellerin rengi, aslında ait olduğu vokselin ortalama rengidir. Dijital röntgende ise pikselin rengi, x-ışınının geçtiği tüm kalınlığın x-ışınını tutma değerinin karşılığıdır. BT görüntüleri tümüyle dijitaldir ve sayısal verilerden oluşması nedeniyle, görüntüler işlenebilir ve istenilen bölgelerin yoğunlukları ölçülebilir (22).

Spiral ve multislice taramanın geliştirilmesiyle BT, transaksiyelden gerçek bir volümetrik görüntüleme cihazına ilerlemiştir. 3 boyutlu görüntüleme teknikleri BT taramada elde edilen bir dizi aksiyel kesitler üzerine kuruludur. Bu kesitler daha sonra ileri işleme ve manipülasyona tabi tutulabilen bir data volümü oluşturmak üzere bilgisayarda üst-üste bindirilir. Çok kesitli BT data kümeleriyle izotropiğe yakın rezolüsyon standarttır ancak imajlarda gürültü sorunu ortaya çıkar. ÇKBT'de üç boyutlu görüntüleme teknikleri MPR, THIN-SLAB, MIP, MiniP, VRT'den oluşmakta olup, aslında üç boyutlu anatomik yapıların iki boyutlu görüntülenmesini sağlayan anjiyografi benzeri görüntülerin elde edilmesini sağlarlar (23).

### **2.1.3 MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME**

MR'nin kullandığı enerji radyo dalgalarıdır. MR, BT gibi bir kesit görüntüleme yöntemidir. Dijital olan bu görüntüler, bilgisayar teknolojisinden yararlanılarak işlenir ve üç boyutlu görüntüler yapılabilir. MR yönteminin önemli bir avantajı hastanın pozisyonunu değiştirmeden her düzlemde görüntü alabilmesidir. Çeşitli yazılım paketleri ile MR görüntüleri yeniden biçimlendirilerek üç boyutlu görüntülerin elde edilmesiyle çeşitli alanlarda çalışma imkânı sunmaktadır. Örneğin; yazılım paketleri vücudun veya bireysel yapıların ilgilenilen belirli bölmesinin daha basit ve daha gelişmiş ölçüm yapma ve inceleme olanağı sunmaktadır (24).

### **2.1.4 HASTANE BİLGİ YÖNETİM SİSTEMİ (HBYS)**

Hastane Bilgi Yönetim sistemi (HBYS), bazı yazarlar tarafından hastane yönetim bilgi sistemi (HYBS), bazı yazarlar tarafından hastane bilgi sistemi (HBS), bazı yazarlar tarafından hastane otomasyonu olarak ifade edilir.

Hastane bilgi yönetim sistemi hastane, işletmelerinin çeşitli düzeylerdeki karar alıcılarına yardımcı olmak amacıyla, bilgi toplama ve bilgi yayma fonksiyonlarını üstlenen, değişik kaynaklardan elde edilen verileri bütünleyebilen bir sistem olarak, hizmetlerin bilgisayar aracılığı ile gerçekleştirilmesi, elektronik ortamda bilgi alışverişinin otomatik olarak yapılması, tıbbi-finansal/mali hizmetler açısından ortaya çıkan ayrıntılı bilgilerin bilgisayara dayalı bir enformasyon sistemi ile kaydedilerek bilgiye dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır. Hastane bilgi yönetim sistemi, kısmen bilgisayarlarla, temel olarak insanla ve onun sosyal davranışıyla ilgili olduğu için, hastanenin sosyo teknik alt yapı sistemidir (25).

Hastane bilgi yönetim sistemi herhangi bir sağlık kuruluşuna başvurduğu zaman otomatik olarak hastane bilgi yönetim sistemi işleme başlar. Hastanın sağlık kuruluşuna adım atması ile birlikte fiziki muayene bilgileri, doktor tarafından istenen laboratuvar testleri ve sonuçları, bilgisayar ortamında girişleri yapılarak önceki test sonuçları ile birlikte değerlendirilir. Doktora ve uzmana telefonla aynı zamanda bilgiler danışılır. Elde edilen bilgiler ileride tekrar kullanılmak üzere ana bellekte depolanır. Böylece hasta ile ilgili kayıtlara istenildiği zaman ulaşılabileceği gibi, hastaya uygulanacak olan medikal tedavide hangi ilaçlara karşı alerjisinin olduğu gibi bilgiler belirlenmiş olmaktadır. Otomatik olarak verilen hizmetin maliyeti, geri ödemesi ortaya konulmuş olur (26).

### **2.1.5 PACS**

Hastane bilgi sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte hastaya ait görüntülerinde bilgisayar ortamında arşivlenmesi sağlanmıştır. PACS (Picture Archiving and

Communication System) sistemleri, yüksek kayıt kapasitesi isteyen medikal görüntülerin saklanması ile ilgili olan sorunu aşmak amacı ile ortaya çıkmıştır. Yükseltilebilir kayıt kapasitesi sunabilen PACS sistemleri beraberinde iyi bir görüntü arşiv sistemi olmanın işlevlerini de icra etmektedir (27).

PACS sistemi hastane içerisinde bulunan pek çok elektronik cihazların bağlanmasıyla oluşan bir sistemdir. Bu sistemde donanımsal pek çok şey yer almaktadır. MR, röntgen, ultrason, ağ cihazları, baskı makineleri, sunucu ve istemci bilgisayarlar bunlardan bazılarıdır. PACS sistemi şu zamanda bir hastanenin en önemli teknik donanımdır. PACS sisteminde meydana gelebilecek herhangi bir arıza hastanenin tümüne etki edebilir.

### **2.1.6 DICOM**

Tıpta sayısal görüntüleme ve iletimi anlamına gelen DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) radyoloji departmanlarında kullanılan donanımsal cihazların kullandığı standart bir resim dosyası formatıdır. Sayısal resimlerin, radyolojide kullanımının artması sonucunda ACR (American College of Radiology) ve NEMA (National Electrical Manufacturers Association) 1983'te tıbbi görüntüleri depolamak ve iletmek için bir standart oluşturmak amacıyla bir araya gelerek komite kurdular. Bu komite 1993'te DICOM 3.0 standardını yayınladı. Yakın zamandaki gelişmelerle birlikte tıbbi görüntü içeren dosyaların farklı üretici firmaların ürettiği cihazlardan oluşan ortamda iletimine izin verildi. Bu durum, PACS ve dijital görüntüleme ara yüzleri gibi tıbbi bilişim sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağladı (28).

Bu standart, farklı yerlerde bulunan ve farklı işlevlere sahip olan hastanelerin ve doktorların, ortak bir dilde paylaşım sağlayabilecekleri bir yapıya ihtiyaç duymalarından dolayı ortaya çıkmıştır. Yine Medikal Görüntülerin elde edildiği cihazların üreticilerinin rekabet şanslarının var olacağı ortak bir platformun yaratılabilmesi için özellikle önerilen bir standarttır. Bu standardın olmadığı düşünüldüğünde, cihazın ürettiği medikal görüntüyü işlemek için yine cihazın mecbur tuttuğu yazılımlara bağımlı kalınmış olunur. Ayrıca ortak bir yapının oluşması, bilginin hızlı ve kolay bir şekilde ihtiyaç sahipleri tarafından elde edilip işlenebilmesini sağlamaktadır.

Medikal görüntü formatı olan DICOM üzerinde gerçekleştirilen okuma ve yazma işlemleri, onaltılık (hexadecimal) sayı sistemi ile icra edilmektedir. DICOM dosyası içerisinde veriler bir biri ardına sıralanan bir yapıda yer alır. DICOM verisi arka arkaya sıralanmış veri kümelerinden oluşmaktadır. Veri kümeleri yapısal olarak

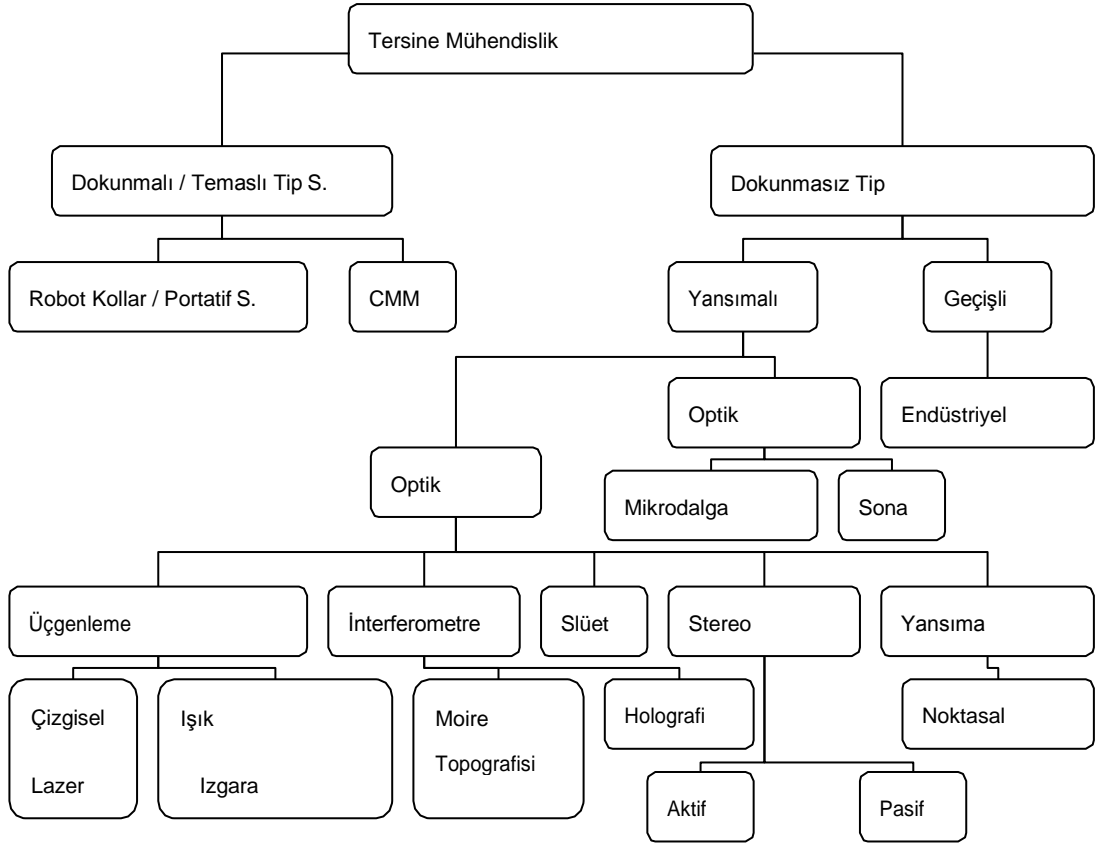
aynı tiptedir. Ancak içerdiği veri farklıdır. Bu veri kümelerine Veri Elemanı (Data Element) denilmektedir. Her verinin bağlı bulunduğu bir değer topluluğu vardır. Bu değer topluluğu içerisinde veri elemanının taşıdığı bilgi bulunmaktadır. Değer topluluğu ne ise veri bilgisi de o gruba ait bir veridir.

## **2.2 TERSİNE MÜHENDİSLİK**

Günümüzde insanlar daha özel ve kişiselleştirilmiş ürünleri talep etmektedirler. ürünlerin kaliteli olması ve pazardaki yerlerini en kısa zamanda alması ise işletmelere rekabet açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu hedefi gerçekleştirmek kolay olmadığı gibi, bu iş için işletmelerin kitlesel üretim ve yalın üretimden çok daha güçlü olan çevik, tepkisel ve bileşik üretim/yönetim felsefelerine ihtiyaçları vardır. Tasarımdan üretime ve üretimden de pazarlamaya değin akıp giden tüm süreçlerin her zaman başlangıç noktası olması nedeniyle "ürün tasarımı ve geliştirilmesi" alt süreci performansının tüm bu modern yöntemlerin başarılarında en büyük rolü oynadığı anlaşılmış bulunmaktadır. Ürün geliştirme zamanının azaltılması; esnekliğin, çabukluğun, çevikliğin ve tepkiselliğin bir ön şartı durumuna gelmiştir (29). Ürün geliştirme zamanının azaltılması için işletmelere mükemmel bileşik (eş zamanlı) mühendislik fırsatları sunar. Tersine mühendisliğin temel uygulamaları şu şekilde sıralanabilir;

- Yeni bir parçanın tasarımı,
- Var olan bir parçanın kopyalanması,
- Yıpranmış veya hasar görmüş parçaların kurtarılması, düzeltilmesi ve yeniden tasarlanması,
- Model hassasiyetinin ve doğruluğunun geliştirilmesi,
- Nümerik modellerin denetlenmesi (30).

Tersine mühendislik uygulamalarında CAD/CAM alt yapısı kullanılır. CAD (computer aided design) bilgisayar destekli tasarım, CAM (computer aided manufacturing) bilgisayar destekli imalat anlamına gelmektedir. CAD için birçok Auto-CAD, Mechanical Desktop gibi programlar kullanılırken CAM için CNC (computer numeric control) cihazları kullanılmaktadır.



**Şekil 1.** Tersine mühendislik tekniklerinin sınıflandırılması. Görür ve ark. (2005)'dan alınmıştır (31).

Tersine mühendislik yöntemiyle 3D modelleme aşamaları aşağıdaki basamakları içerir;

- Veri toplama,
- Çoklu nokta bulutlarını birleştirme,
- Üçgenleştirme/sadeleştirme,
- Segmentasyon,
- Yüzey örülmesi,
- Yüzey ve çizgisel kalıp oluşturma,
- Pürüzsüz çoklu alanlar oluşturma,
- Komşu grafikler oluşturma,
- Sınırları ve bağlantıları belirginleştirme,
- Model oluşturma ve meshleme,
- Yazdırma (32).

Piyasada bazı güçlü-ticari tersine mühendislik yazılımları bulmak mümkündür. *CappsNT, Geomagic Studio, RapidForm, CopyCAD, Imageware* ve

CATIA bunlardan bazıları olup, tersine mühendislik ve kitlesel özel üretim konusunda dünyanın en çok tavsiye edilen yazılım paketleri arasındadır.

### **2.2.1 3D MODELLEME**

3D modelleme 2 boyutlu görüntülerin sayısallaştırılmış kümesinden 3 boyutlu görüntü elde işlemini içerir. 3D model oluşturma 3 şekilde yapılabilir; poligonal meshleme, yüzey tabanlı modelleme ve volumetrik modelleme. Bu modellemeler 3 boyutlu uzayda x,y,z koordinatları ile tanımlanabilir (33).

Poligonal meshleme açık veya kapalı yüzeylerin rastgele topolojisini temsil eder, bu hassas olarak numaralandırılmış köşe ve kenarlara bağlıdır. Poligonal meshlemede 2 tür bilgi edinilir; geometri ve bağlanabilirlik (connectivity). Geometrik bilgi köşelerin uzaysal pozisyonunu tanımlarken bağlanabilirlik bu pozisyonların bağlantılarını tanımlar. Grafik oluşturma ve 3D modellemede bu yöntem en popüler olanıdır. Çünkü basit cebirsel işlemleri kesişme (intersection), çarpışma algılama (collision detection), görüntü oluşturma algoritmalarında basit ve hızlı modelleme sağlar (33).

Yüzey tabanlı modellemede bir nesnenin sınırları yüzeyinin bir kısmı veya birçok kısmı alınarak oluşturulur. Bu tür modelleme; parametrik, örtülü ve bölünmüş yüzeylerde kullanılmaktadır (33).

Volümetrik modellemede kompleks 3 boyutlu nesne basit parçalara ayrıştırılır ve daha sonra bu parçalar farklı işlemler için kullanılır. Bu tür basitleştirmede amaç nesnelerin yapısal modellerini endekslemek ve algılamaktır (33).

#### **2.2.1.1 3D TARAMA**

3 boyutlu tarama var olan bir parça ya da modelin 3 boyutlu tarama cihazlarıyla sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmasıdır.

Yersel lazer tarayıcılar çok kısa bir zaman dilimi içinde milyonlarca noktanın 3 boyutlu koordinatlarını kayıt ederler. Bu sistemler lazerin taradığı yüzeydeki nokta kümelerinin doğrudan ölçümlerini elde etmektedirler. Nesnelerin 3 boyutlu modelleri nokta bulutlarının kaydedilmesi, birleştirilmesi, inceltilmesi, poligonal üçgen ağı oluşturulması, boşlukların doldurulması ve yüzey geçirilmesi ile elde edilmektedir (34). Kameralar gibi 3 boyutlu tarayıcıların da koni biçimli görüş alanları vardır ve yalnızca bulanık ve silik olmayan yüzeyler ile ilgili bilgi toplayabilirler. Objenin tüm görünüşleri ile ilgili bilgi elde etmek için genelde pek çok yönden birden fazla tarama gerekir. Bu taramalar ortak bir referans sistemine getirilmek zorundadır ki bu işleme çakıştırma adı verilir ve ardından tam bir model oluşturmak için birleştirilir. Tek bir aralık eşlemeden tüm modele kadar uzanan tüm bu proses 3D tarama adını alır. 3

boyutlu tarayıcılar temaslı ve temassız olmak üzere iki tiptir. 3 boyutlu tarayıcı ile oluşturulan nokta bulutları genellikle doğrudan kullanılmaz. Pek çok uygulama nokta bulutları yerine poligonal 3 boyutlu modelleri kullanır. Bir nokta bulutunu poligonal bir 3 boyutlu modele dönüştürme prosesine rekonstrüksiyon adı verilir. Rekonstrüksiyon, kesintisiz bir yüzey oluşturmak için komşu noktaları bulma ve birbirine bağlama işlemlerini içerir (35).

3 boyutlu tarayıcılar ile elde edilen nokta bulutu, sayısal ortama aktarılan ve birbirine yakın olarak bulunan pek çok sayıda noktadan oluşan üç boyutlu bir yapıdadır. Bu yapıyı oluşturan ve yapılan çalışmanın niteliğine göre binlerce hatta on binlerce üç boyutlu koordinatı bulunan noktalardan oluşan nokta bulutu, alımı yapılan yüzeyi en iyi şekilde temsil etmeli ve ideal olarak modellenmelidir. Bir lazer tarayıcı sistemi (TLS) şu bileşenlerden oluşur; tarama ünitesi (tarayıcı), kontrol ünitesi, güç kaynağı, tripod ve sehpa.

3 boyutlu taramada, cisim, bir veya daha fazla kamera ile 2 boyutta taranır. Sonra 3 boyutlu koordinat sistemine aktarılır. Bilgisayar yardımı ile cismin referansları veya yüzeylerinin ve formlarının nokta bulutu şeklinde ölçümlendirilmesi mümkündür. Optik ölçüm (metrology) aktif ve pasif metotlar olmak üzere farklılık gösterir.

**Optik üçgenleme (Optical Triangulation):** Bir lazer pointer ve optik dedektör üçgensel bir yapıda düzenlenir, sonuç olarak üçgensel dayanak noktası olarak adlandırılan, üzerine lazerle ışık düşürülen noktanın uzaklığı dedektör tarafından belirlenir.

**Işık kesiti (light section) teknikleri:** Işık kesiti tekniği, optik üçgenlemenin geliştirilmiş halidir. Bu teknikte cismin üzerine düşürülen bir çizgi ve optik dedektör yardımı ile cismin 3 boyutlu profili düzlemde elde edilir.

**Fringe izdüşümü (fringe projection, ızgara izdüşümü) teknikleri:** Fringe izdüşümü tekniği ışık kesiti tekniğinin gelişmiş halidir. Bu yöntemde çoklu ışık kesitleri başka bir deyişle siyah ve beyaz şeritler halindeki desenler cismin yüzeyine düşürülerek ve bir ya da daha fazla yüksek çözünürlükteki kamera yardımı ile bilgisayar ortamına aktarılarak 3 boyutlu yüzey bilgisi elde edilir.

**Pasif metodlar:**

- Stereometri (3D)
- Fotogrametri (3D)

**Stereometri:** Ölçümü yapılacak olan cismin yüzeyi üzerine herhangi bir ışık kesiti (fringe) düşürülmez. Bunun yerine cismin 3 boyutlu yüzeyi, iki kameradan alınan üst üste binen görüntülerden hesaplanarak elde edilir.

**Fotogrametri:** Bu yöntemde taranan obje bir kamera ile farklı açılardan görüntülenip üzerindeki indeksmarklar yardımı ile referansları bilgisayar ortamında 3 boyutlu nokta bulutu halinde aktarılır (35).

#### **2.2.1.2 MAKSİMUM İNTENSİTE PROJeksiYON (MIP)**

MIP, istenilen dokuyu bulunduğu ortamdan ayrı incelemek için farklı düzenleme metotlarının kullanıldığı 3D rekonstrüksiyon tekniklerinden birisidir. MIP tekniği, hacim datalarından maksimum voksel değerini seçerek yüksek intensitedeki yapıların görüntülenmesini sağlayan bir veri değerlendirme yöntemidir. MIP görüntülerinde ki görüntü kontrastı, ilgilenilen yapının BT numaralarına, bu BT numaraları arasındaki farka ve arka plan baskılanmasına bağlıdır (36). MIP daha sıklıkla BT ve MR görüntülerinden anjiyografik 3 boyutlu görüntü elde etmek için kullanılmaktadır. Postmortem damar yaralanmasının görüntülenmesinde fayda sağladığı gibi katater görüntülenmesi, koroner stent yerleştirme durumlarında kolaylık sağlamaktadır (37).

#### **2.2.1.3 MULTİPLANAR RECONSTRUCTION (MPR)**

Multiplanar rekonstrüksiyon en basit rekonstrüksiyon metodudur. Aksiyel kesitleri istifleyerek hacim oluşturmaktadır. Sonra rekonstrüksiyon yazılımı ile hacim farklı bir düzlemde (sıklıkla ortogonal) kesitlere ayrılır. MPR genellikle vertebral kolonun değerlendirilmesinde kullanılır. Vertebral kolonun aksiyel görüntülenmesinde tek bir vertebra görüntülediğinden vücudun longitudinal eksenini boyunca oluşan kompresyon fraktürlerini göstermede yetersizdir. Hacim biçimlendirmeye yapısal elemanları görüntülemek ve vertebral kolon ile olan pozisyonunu saptamak daha kolay hale gelmiştir (37).

#### **2.2.1.4 3D FOTOGRA METRİ**

Fotogrametri bilimde ve sanatta kullanılan cisimlerin görüntülerini ölçen ve yorumlayan metrik 2 veya 3 boyutlu rekonstrüksiyona olanak sağlayan bir yöntemdir (86). 3D/CAD destekli adli fotogrametri küçük cisimlerin yüzey taramasına olanak sağlayarak bilgilerin sanal ortamda kaydedilmesine ve dokümantasyonuna olanak sağlamaktadır. Bu yöntemle ilgili olaylar kolaylıkla rekonstrükte edilmektedir. Bu şekildeki bir prosedür ciltteki, yumuşak dokudaki ve kemikte oluşan şekilli lezyonlar ile eşleşen suç aletlerinin şekilleri, boyutları ve köşeleri hakkında değerlendirme yapmaya olanak sağlamaktadır (38).



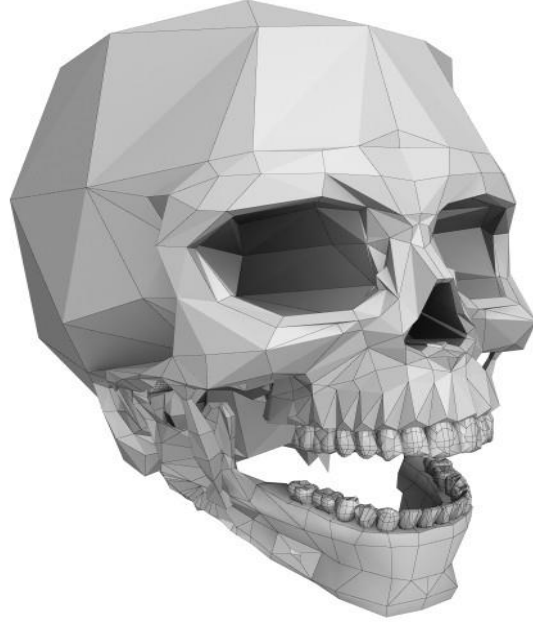
## 2.3 GÖRÜNTÜ SAYISALLAŞTIRMA

İstatistik hesaplama ve grafik çizimi için sağlanan uygun yazılım bilgisayar ortamında R ile ifade edilir. 2 boyutlu görüntüler tanımlanırken ışın yoğunluğu fonksiyonuna göre  $f(x,y)$  şeklinde tanımlanır, öyle ki x ve y uzaysal (düzlemsel) koordinatları  $(x, y) \in R^2$  şeklinde tanımlanırken, f'nin ve  $(x,y)$ 'nin amplitüdünü yoğunluk ve gri renk seviyesi belirler ( $f \in R$ ). Üç boyutlu görüntülerde fonksiyon  $f(x,y,z)$  şeklinde tanımlanır. X,y,z ve f'nin farklı değişkenlere sahip olması durumunda dijital görüntüden bahsedilir (39).

Sayısal görüntü işlemede görüntü ayırık olmalıdır. Bu sebeple, sürekli tonlu görüntünün parçalanarak ayırık veriler haline getirilmesi gerekir. Bu işleme örnekleme (sampling) adı verilir. Burada örneklenecek olan boyutlar, uzayın sürekli bir fonksiyonu olan parlaklık 4 seviyeleridir. Örneklemenin sonucunda görüntü kare ızgaralara (grid) ayrıklaştırılır ve bu ayrıklaştırma sonucunda oluşan her bir ızgaradaki elemana görüntü elemanı adı verilir. Ayrıklaştırılmış bu görüntü elemanları da buldukları yeri belirten bir çift sayıyla etiketlenir. Bu koordinatın ilk elemanı görüntünün satır numarasını, ikincisi ise sütun numarasını gösterir. Sözü edilen görüntü elemanı piksel olarak tanımlanır. Ayrıklaştırma işlemi görüntünün parlaklık seviyeleri üzerinde gerçekleştirilir. Siyah-beyaz görüntüde sürekli tonlu gri seviyeler ayrıklaştırılır. Genlikteki ayrıklaştırma işlemine nicelendirme (quantization), koordinat değerlerinin ayrıklaştırma işlemine ise örnekleme denir. 8-bitlik sistemde, belirtilen gri renk tonu yelpazesi 256X256 farklı gri renk seviyesine sahiptir (40).

3D sayısallaştırma/tarama sistemleri iki ana gruba ayrılır; dokunmalı ve dokunmasız sistemler. Bu sistemlerle yüzey bilgisi değil istenen belirli sayıda noktanın koordinatları elde edilebilmektedir. Dokunmalı ya da diğer adıyla problu sistemler, birkaç eksenli mekanik kolun ucuna takılmış bir ölçüm probu sayesinde, koordinatları istenen noktaya dokundurulan prob ile noktanın koordinatları hassas biçimde ölçülür. Dokunmasız optik tarama sistemlerinden lazer çizgili sistemler, cismin üzerine bir lazer kesiti düşürülmesi ve bu kesitin cismin üzerinde hareket ettirilmesi prensibi ile çalışırlar. Ölçüm metodu lazer kesitinin cisim üzerinde deformasyona uğraması ve bu deformasyon bilgisinin CCD dijital kamera vasıtası ile alınması şeklindedir.

Tüm teknikler optik üçgenleme (optical triangulation) prensibini temel alır. Kelime anlamı belli sayıda noktanın konumunu kesin olarak tespit edebilmek için, bu noktaları tepe olarak kabul ederek bir alanı üçgenlere bölme işi olan "üçgenleme (triangulation)" tüm 3 boyutlu ölçme/tarama tekniklerinin kullandığı yöntemdir.



**Şekil 2.** Üçgenleme prensibine dayalı modelleme

Histogram; sayısal görüntülerde, piksel değerlerinin ağırlığının grafiksel bir gösterim ile belirtir. Histogramlarda frekans bilgisi bulunmaktadır, konum bilgisi yer almamaktadır. Gri seviyedeki (0-255) bir resme ilgili bir değer seçilerek maskeleme yapmak mümkündür. Histogram eşitlemede amaç, renklerin 5 frekanslarının histogram üzerinde bir noktada yığılma olmadan, düzgün bir şekilde dağılmasını sağlamaktır (41).

Maskeleme; görüntü işlemede netleştirme, bulanıklık giderme, kenar çıkarma ve diğer görüntü etkileri için sıkça kullanılan bir yöntemdir. İşlemin uygulanmasında kullanılan yapısal eleman kısaca maske olarak adlandırılır. Maskeleme olarak da adlandırılan konvülasyon işlemi, bir görüntüdeki tüm piksellerin diğer pikseller yardımıyla yeniden hesaplanarak gösterilmesidir (42).

*Filtreleme*; görüntüdeki ayrıntıları, keskin geçişleri belirginleştirmek, bulanıklaştırılmış görüntülerdeki ayrıntıları yeniden ortaya çıkarmak için kullanılır. Endüstriyel ve askeri alanda, tıbbi çalışmalarda ve diğer birçok alanda yararlıdır. Keskinleştirme, sayısal farkların alınması ile gerçekleştirilir (diferansiyel türev). Fark alma, resimdeki kenarları, süreksizlikleri (gürültü gibi) belirginleştirir (keskinleştirir) ve küçük gri düzey değişimleri olan resim bölgelerini solgunlaştırır (43).

*Komşuluk (konnektivite)*; tüm görüntü topluluğunda segmentasyon için tüm vokseller aynı yoğunluğa getirilir. Büyüyen çekirdekler algoritmasıyla nesnelere ayarlanır. Bu algoritma benzer vokselleri kendi ve komşu görüntülerindeki bağlantı noktalarını bulmaya çalışır (44).

### **2.3.1 YÜZEY OLUŞTURMA (SURFACE RENDERİNG-SSD)**

3 boyutlu bilgiler 2 boyutlu görüntülere dönüştürülürken en önemli nokta hacimsel bilgileri çok fazla kaybetmemektir. 2 boyutlu görüntülerin en küçük parçası olan sayısal üçlü nokta grubuna piksel denir, piksel kavramının karşılığı 3 boyut görüntüleme vokselidir. En iyi 3D modellemeyi elde etmek için voksellerin ölçüleri izotropik olmalıdır, yani her 3 eksendeki koordinatları eşit olmalıdır (44).

3D yüzey oluşturmak için görüntülerde 2 boyutlu segmentasyon işlemi yapılır. BT ve MR ile yapılan segmentasyon işleminde istenilen bölgelerde eşikleme, maskeleme, sınırları belirleme, bölgeleri seçme ve kümeleme algoritmaları yapılır. Segmentasyon işleminde istenilen bölgelerdeki vokseller aynı danielere getirilir. Bu işlemde sonra vokseller bağlanabilirlik ile birbirlerine bağlanır ve otomatik bir şekilde istenilen bölgenin üçgen tabanlı tel çerçeve görüntüsü çıkarılır. Yürüyen küpler algoritmasıyla tüm kübik hücreler kesiştirilir. Ardından pürüzsüzleştirme yapılır ve 3D yüzey görüntüsü oluşturulur (44).

Yüzey oluşturma, rekonstrüksiyon işlemlerinde hızlı ve kolay uygulanabilir olması avantaj oluşturmaktadır. Bu yöntemle küçük kemikleri, kafa tabanı yapılarını ve kranial sütürleri daha iyi tanımlamak mümkün olmaktadır (37).

### **2.3.2 HACİM OLUŞTURMA (VOLUME RENDERİNG-VRT)**

Hacim, 3 boyutlu gridlerin (bilgisayar kare kümeleri) düzenlenmiş veri noktalarının kümelenmiş dizisidir. Gridler düzenli, doğrusal, kavisli, blok yapılı, veya bunların karışımı şeklinde olabilir. Medikal alanda yaygın olarak düzenli gridler kullanılmaktadır, çünkü bilgisayarlı tomografide en iyi yüksek çözünürlüklü datalar XY düzleminde elde edilirken Z düzleminde daha düşük çözünürlüklü datalar elde edilmektedir. Hacim oluşturma tarama işlemi sırasında elde edilen tüm gri seviyeleri içerir. Yüzey oluşturmadan farklı olarak; geometriye başvurmayı gerektirmez, zayıf ve güçsüz yüzeylerin görüntülenmesini sağlar. 2 şekilde hacim hesaplaması yapılabilir;

- Geri beslemeli yansıtma veya sıralı görüntü geçişi: görüntü düzlemindeki her bir piksel sanal ışınlama ile hacim üzerine geçirilir ve ışınların izlediği yol piksellerin değerini belirler,
- İleri beslemeli yansıtma veya sıralı nesne geçişi: hacim bilgilerinin geçişi sağlanır ve hacim üzerindeki her bir voksel görüntü düzlemine yansıtılır (45).

Hacim oluşturma (VRT) sanal bronkoskopide ve kolonoskopide özel kullanım alanına sahiptir (37).

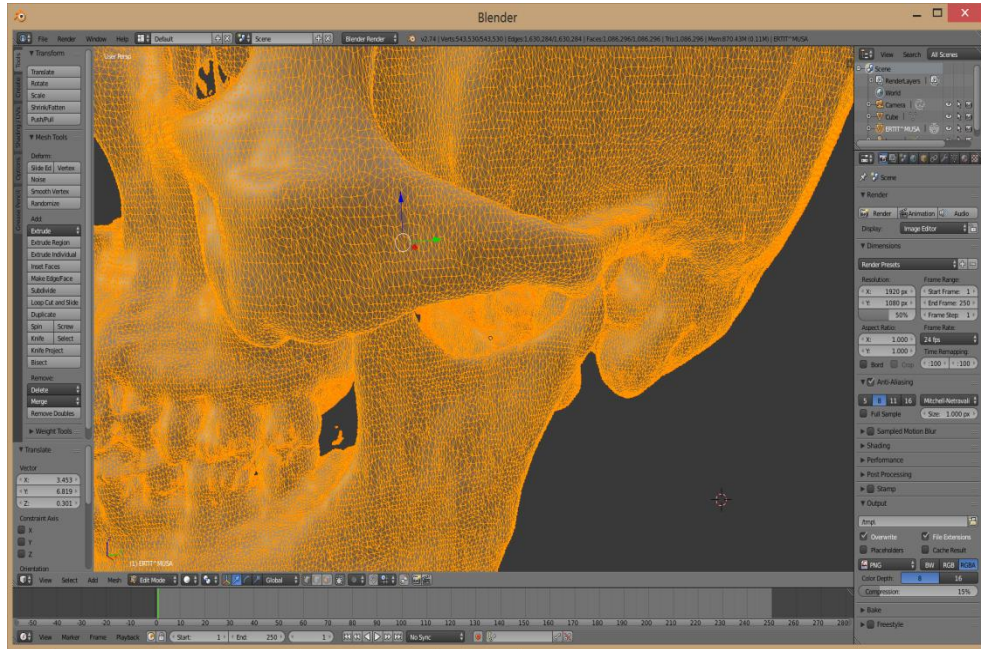
### 2.3.3 GÖRÜNTÜ BÖLÜTLEME (SEGMENTASYON)

Görüntü bölütleme, görüntüdeki ilgili nesnenin arka plandan ayrıştırılması işlemidir. Bölütlemenin amacı piksellerden görüntü gösterimini basitleştirmek, değiştirmek, gerçek dünyada anlamlı bir nesneye karşılık gelecek kümeler oluşturmaktır (46). Görüntü bölütleme, görüntüyü farklı alanlara, her bir alanın homojen olduğu fakat yakın iki alanın birleşimlerinin homojen olmadığı bölme işlemidir. Medikal görüntü bölütleme, anatomik parçaların görselleştirilmesi, anormalliklerin tespiti, dokuların ölçümü, yüzey tescili için önışleme, görüntü tescili için önışleme ve bunların sınıflandırılması ile ilgilenir. Bu işlem BT veya MR görüntülerinden kemiklerin, organların veya arterlerin ayrıştırması olabilir (47).

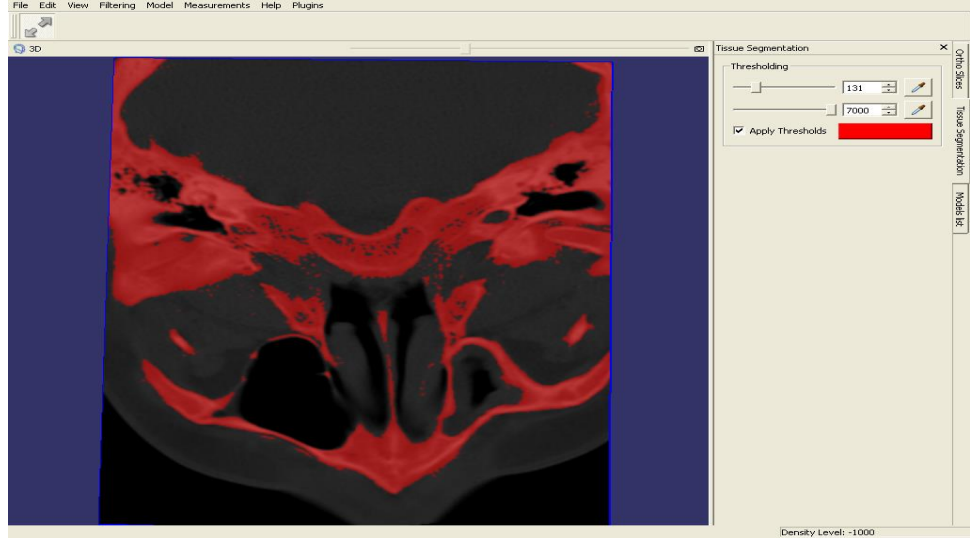
*Eşikleme (Thresholding)*; Eşikleme genel olarak yüksek kontrastlı yapıların segmentasyon işleminde kullanılır. Eşiklemenin amacı sayısal görüntünün özelliklerini belirlemede kolaylık sağlamaktır. Eşiklemede her bir imajın intensite değerleri kısıtlanır ya da görüntü topluluğunda belirli bir aralığa getirilir. Bu yöntemle görüntülenmek istenen bölgenin yoğunluğu korunmaya çalışılırken istenmeyen bölgedeki ardışık olmayan aralıklar elimine edilmektedir. Özellikle BT'de görüntüler Hounsfield ünitesi voksel yoğunlukları ile tanımlanmışsa belli yapıların segmentasyon işlemi kolay bir şekilde yapılabilir. Örneğin BT'de kemik yapıların voksel değerleri belli bir dansiteye getirildiğinde rahat bir şekilde segmentasyon işlemi yapılabilir (43). Eşikleme 6 farklı kategoride yapılabilir;

- *Histogram şekil-tabanlı metot*; tepe noktalarını, vadileri ve eğrilikleri histogramda analiz ederek şekil verme yöntemidir,
- *Kümeleme tabanlı metot*; aynı gri seviyedeki örnekler arka plan ve ön planda olacak şekilde kümeleme yöntemidir,
- *Entropi dayalı metot*; verilen gri seviyeli bir imgeyi arka plan ve nesne olarak iki farklı gri seviye grubuna ayırma işlemi olarak tanımlanabilir. Bu işlem neticesinde imgenin gösterilimi çok seviyeli gösterimden iki seviyeli gösterime indirgenmektedir,
- *Nesne özelliklerine Dayanan Yöntemler*; Bu grupta değerlendirilen yöntemlerin bir kısmında eşik değeri gri seviyeli imge ile eşiklenmiş hali arasındaki bazı benzerliklere dayanarak belirlenmekte diğer bir kısmında ise bütünlük veya bağlantılılık gibi imge özelliğine, ya da her iki imgede ayrı haritalarının çakışması gibi özelliklerine bakılarak eşikleme işlemi gerçekleştirilmektedir,

- *Uzamsal Bilgileri Kullanan Yöntemler*; Bu kategoriye giren eşikleme yöntemlerinden bir kısmında imgeye ilişkin iki boyutlu histogram oluşturulup iki boyutlu entropi, yerel lineer bağımlılık, eş oluşum ya da benzer bir ölçüte göre optimizasyon sağlanmakta, bazılarında ise imgenin gri seviye dışındaki uzamsal bazı özellikleri göz önüne alınmaktadır,
- *Yerel Uyarlamalı Yöntemler*; Bu kategori içinde değerlendirilen eşikleme yöntemlerinde her bir piksel için yerel bilgilere bağlı olarak ayrı bir eşik değeri hesaplanmaktadır. Bu bilgiler bilgesel değişinti, yüzey uygunluk (surface fitting) parametreleri ya da bunların farklı kombinasyonları gibi istatistiksel bilgiler olabilmektedir (43).

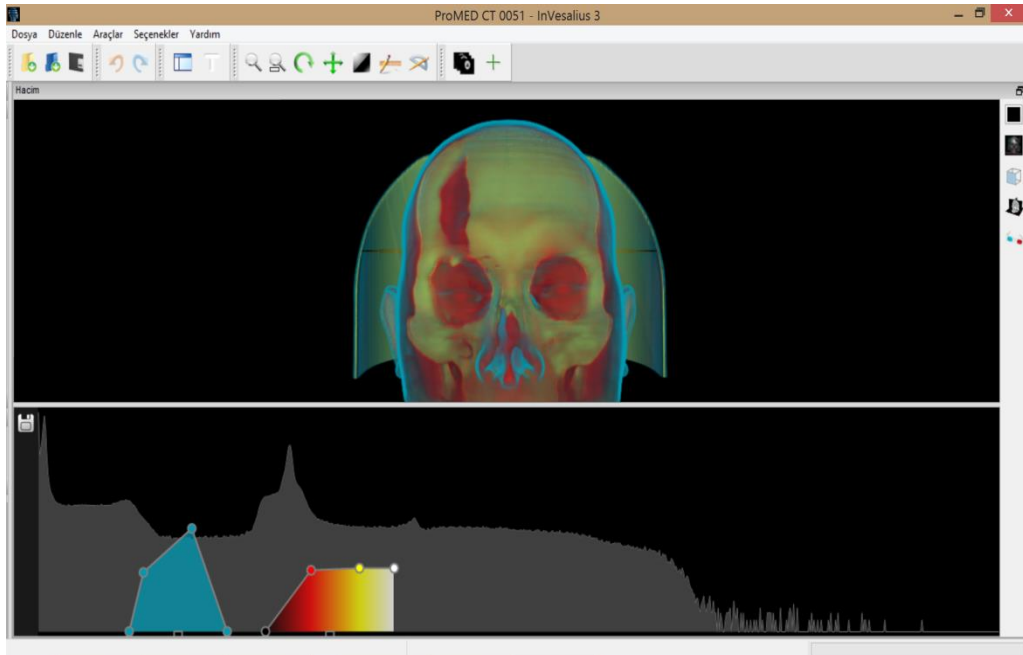


**Şekil 3.** Kafatasında triangüler meshleme.



**Şekil 4.** Eşikleme (Thresholding).

*Histogram;* Herhangi bir görüntüleme yönteminde veya değişkenlerindeki dinamik aralık, genellikle işlemin doğrusal tepkisini bir parçasında aralıklı veya uçtan uca sınırlandırılmasını sağlar. Dinamik aralık görüntüdeki minimum ve maksimum değerlerin farklılığını ifade eder ve görüntülerin intensiteleri hakkında kısa ve genel bilgiler verir. Buna karşılık histogram gri değerlerle piksel ve voksellerin değerleri hakkında bilgi sağlayarak görüntülerin dinamik aralığını belirlemeye çalışır (39).



**Şekil 5.** Histogram eşitleme.

## **2.4 TRİTOP/ATOS III SİSTEMİ**

Bu sistem temel olarak bir santral projeksiyon birimi ve projektörün yanına yerleştirilmiş iki dijital kameradan oluşmaktadır. Bir ışık demeti cismin üzerine yansıtılmakta ve iki kamera tarafından kayıt edilmektedir. Triangulasyon, bilinen bir uzaklıktan iki belirli noktaya olan açılarına göre istenen noktanın pozisyonunu belirleyen trigonometrik bir yöntemdir. Triangulasyon ilkesi temelinde üç-boyutlu koordinatları ATOS bilgisayar yazılımı tarafından taranarak hesaplanmaktadır. Böylece, bir cismin üç-boyutlu yüzeyi hesaplanabilmektedir. İlgilenilen cismin yüzey işaretleyicileri referans alınarak değişik açılardan dijital fotoğrafı çekilip TRİTOP bilgisayar yazılımı kullanılarak, siyah ve beyaz olan üç-boyutlu yüzey renklendirilmektedir. Bu yöntem ceset yüzeyinin, yaralanmaya neden olan aletin, olay yerinin rekonstrüksiyonu gibi durumlarda gerçek değerlerde renklendirme sağlamaktadır (48).

## **2.5 3D YAZICILAR**

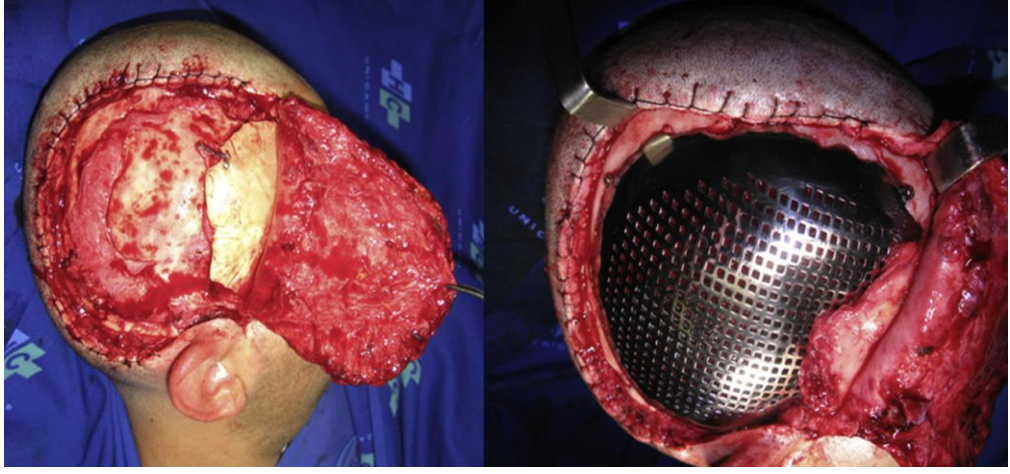
CAD ortamında oluşturulan 3 boyutlu dijital dataların gerçek dünyaya yansıtılması 3D yazıcılar ile sağlanmaktadır. Bazen aditif üretim ya da hızlı prototipleme olarak adlandırılan bu yazıcılar bireysel kullanım alanlarına kadar girmiştir.

3D yazıcılar kartezyon robot mantığıyla çalışırlar. Bu makineler x,y,z koordinatlarında çalışırlar. 3D yazıcıların yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip kademeli/basamaklı çalışan motorları mevcuttur. Her bir basamakta 1.8 derece hareket ederler. Bu motorlar çözünürlükleri milimetrik kesir aralığında çevirerek kontrol edilirler. Bu üç koordinatlı robotlar CNC cihazları gibi çalışırlar. Termoplastik ekstrüzyon ucuyla plastik ilk önce ısıtılır ve bilgisayardan gelen datalara göre sıcak plastik katman katman yazıcı yatağına dökülür ve model tamamlanır (49).

## **2.6 MEDİKAL ALANDA 3D KULLANIMI**

Travma veya hastalığa bağlı meydana gelen vücut arızaları veya organ kayıpları tüm dünyada çok sayıda insanı rahatsız eden sağlık sorunudur. Bu nedenle bu hasarların tamiri yada protez ile onarımı çok ciddi talep oluşturmakta ve yeni ortopedik ve cerrahi tekniklerin geliştirilmesini, yeni biyomateryallerin bulunmasını zorunlu hale getirmektedir. Bunun için yüksek dirence ve dayanıklılığa sahip metallerin kullanılması gerekmektedir. Kalıcılığı ve sağlamlığı uzun olan titanyum bu günlerde yoğun ilgi görmektedir. Bu tarz sert metallerin tersine mühendislik ile 3D kullanımı kişiye özel protez uygulamasını gündeme getirmektedir. Dijital görüntüleme yöntemleri kullanılarak hasarlı vücut bölgesi CAD ortamında

yeniden değerlendirilmekte, ardından 3D yazıcılar veya CNC cihazları gibi sert metal işleyen makineler kullanılarak protez oluşturulmaktadır (50).



**Şekil 6.** Kişiye özel 3D yöntemler kullanılarak oluşturulan protez. Jardini ve ark. (2014)'dan alınmıştır (50).

Cerrahi operasyonlar öncesi hekimin 3D animasyon programlar ile sanal ortamda ameliyat tekniklerini denemesine, en uygun implantın seçimine, ameliyatı sanal ortamda hasta ve yakınlarıyla birlikte operasyonu değerlendirmesine, anatomik yapıların birbiriyle olan komşuluk ve ilişkilerini en iyi şekilde anlamasına olanak sağlamaktadır.



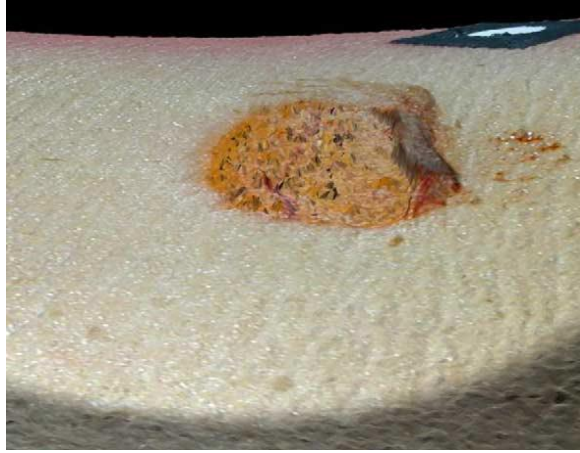
**Şekil 7.** Opak madde verildikten sonra oluşturulan abdominal aort anevrizmasına ait 3D görünüm. Philip ve ark. (2003)'dan alınmıştır (51).



## 2.7 ADLİ TIP UYGULAMALARINDA 3D KULLANIMI

### 2.7.1 Yara Rekonstrüksiyonu

Vücutta oluşan yaralar adli tıpta ve diğer bilimsel alanlarda genellikle 2 boyutlu olarak fotoğraflanmaktadır. Küçük yaralar hakkında bu şekildeki kayıt işlemlerinde genellikle yetersiz bilgi sağlanmaktadır. 3D dijital tarayıcıların yüksek çözünürlüğe/doğruluğa sahip olması ve daha sonra değerlendirmek için rotasyon hareketlerine izin vermesi adli bilimler için büyük avantaj sağlamaktadır. Kemik yaralarının sanal üç-boyutlu modelleri ve şüpheli alet bir üç-boyutlu CAD programında birbiriyle örtüşen alanları olup olmadığını görmek için sanal boşluk içinde karşılaştırılabilir (52).



**Şekil 8.** 3 boyutlu detaylı yara rekonstrüksiyonu. Thali ve ark. (2003)'den alınmıştır (52).

### 2.7.2 Ateşli Silah Trase Rekonstrüksiyonu

Balistik mermi çekirdeğinin hareketini inceleyen bilim dalıdır ve 3 kategoriden oluşur:

*İnternal balistik;* Merminin namlu içindeki hareketini inceler,

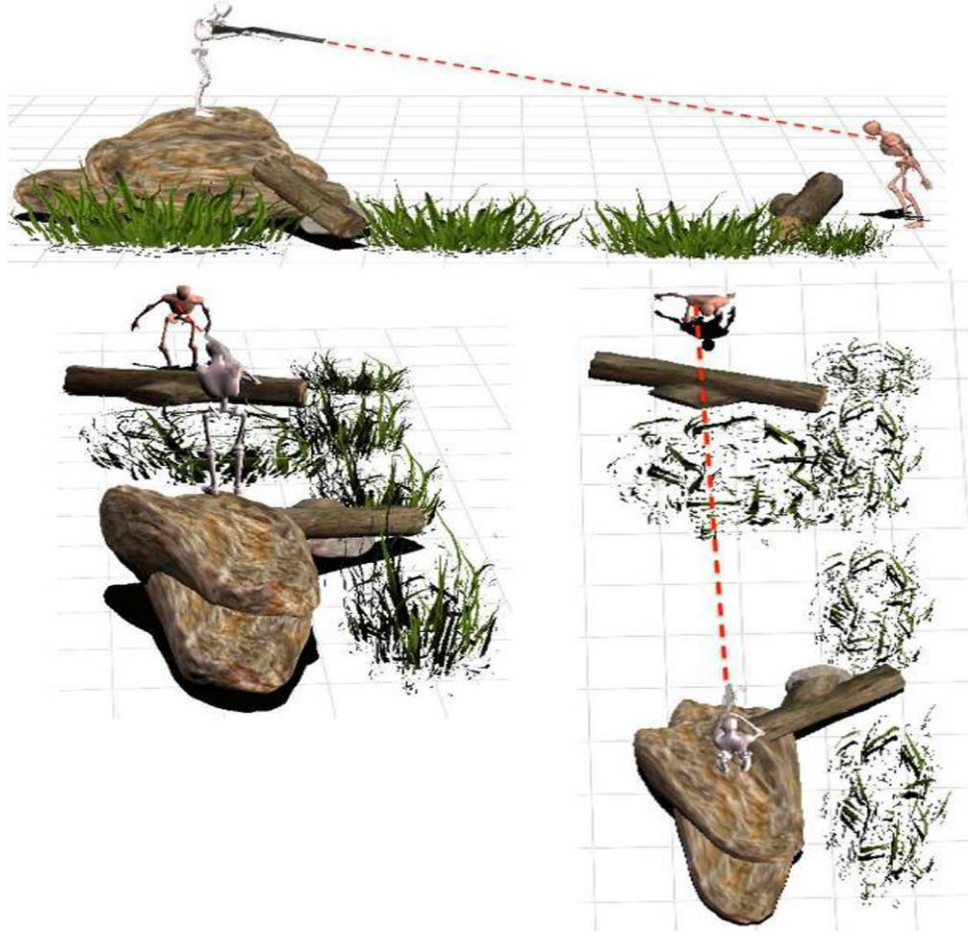
*Eksternal balistik;* Merminin havadaki hareketini inceler,

*Terminal balistik;* Merminin hedef üzerindeki etkilerini inceler.

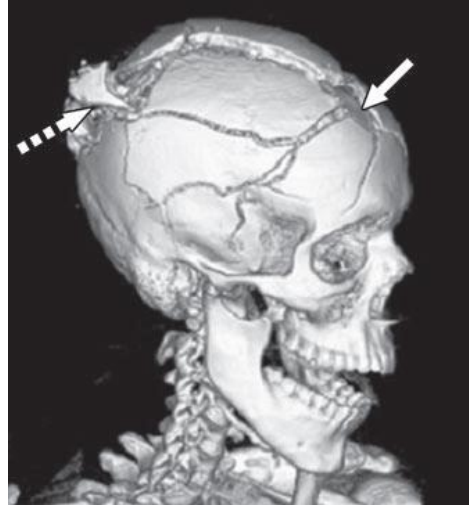
Yara balistiği terminal balistiğin bir alt kategorisini oluşturmaktadır ve adli hekimler için büyük önem taşımaktadır. Teknolojik ve radyolojik gelişmelere paralel olarak ateşli silah yaralanmalarında olay yeri 3D rekonstrüksiyonu ile birlikte 3D yara rekonstrüksiyonu bize atış mesafesi, atış yönü, kurbanın pozisyonu, havadaki ve vücuttaki trasesi, yara boyutları, kemik kırıkları, kanama ve damar yaralanmaları hakkında detaylı bilgi sağlayacaktır (53).



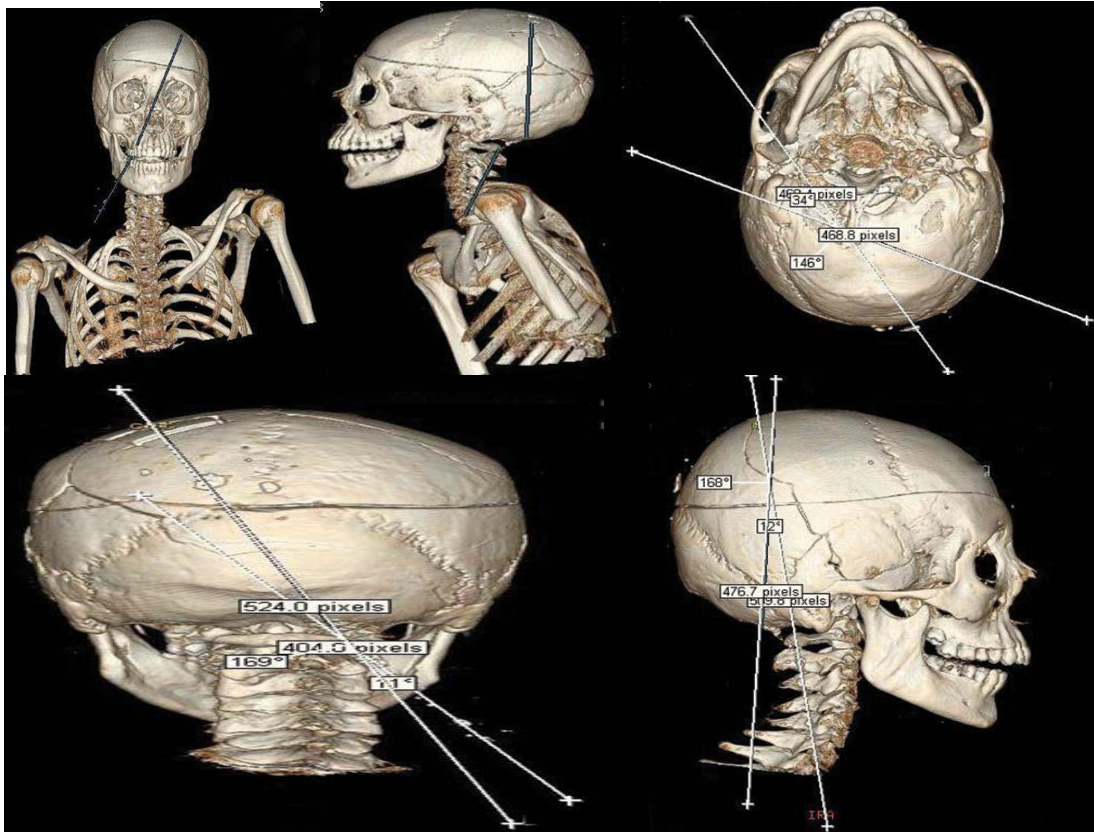
**Şekil 9.** Ateşli silah yaralanmasına bağlı olay yeri rekonstrüksiyonu. Colard ve ark. (2013)'dan alınmıştır (54).



**Şekil 10.** Ateşli silah olay yeri rekonstrüksiyonu. Maiese ve ark. (2014)'dan alınmıştır. (55).

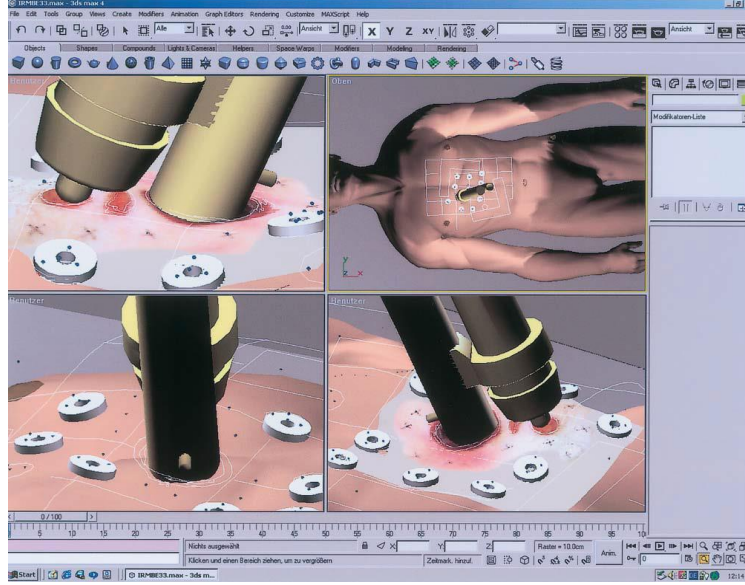


**Şekil 11.** Mermi çekirdeği trasesi 3D rekonstrüksiyonu, düz ok giriş deliği, kesikli ok çıkış deliği. Harcke ve ark. (2008)'dan alınmıştır (56).



**Şekil 12.** 10 yıl önce kafasına ateş edilerek öldürülen kişinin mezardan çıkarıldıktan sonra mermi çekirdeği trase rekonstrüksiyonu. Mermi çekirdeğinin kafa kubbesinden, pariyetal kemiğin hemen üzerinden, hafif önden arkaya ilerlediği, kafa tabanından çıktığı ve lateroservikal fasyaya ilerlediği görülmektedir. Kranioservikal ve lateroservikal traseler karşılaştırıldığında bir tutarsızlık görülmektedir. Bunun

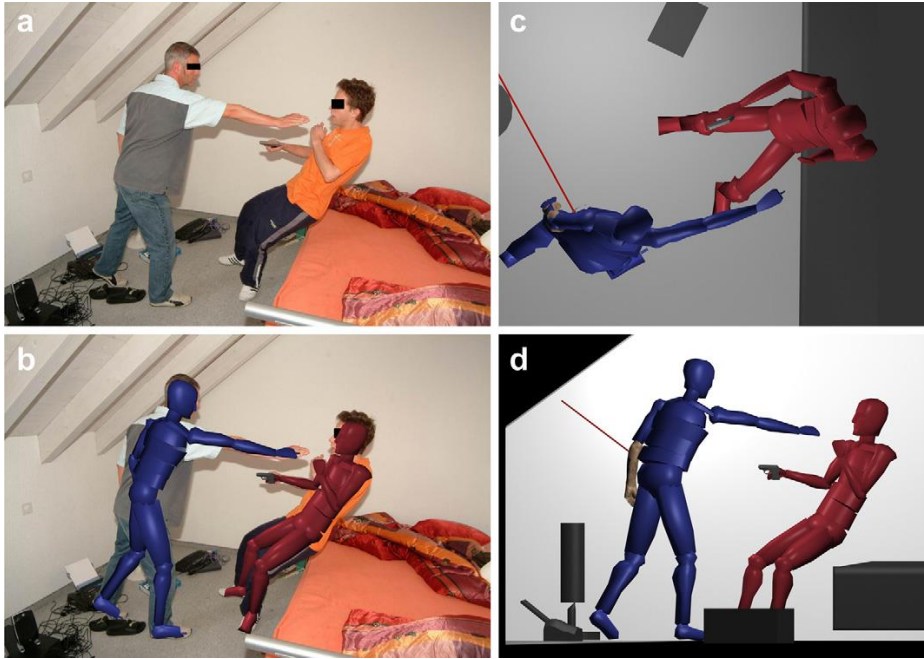
nedeninin ateş sırasında mağdurun kafasını aksiyel eksende hafif sağdan sola çevirdiği ve kafasının soldan sağa hafif eğimli olduğu saptanmış. Tartaglione ve ark. (2012)'dan alınmıştır (57).



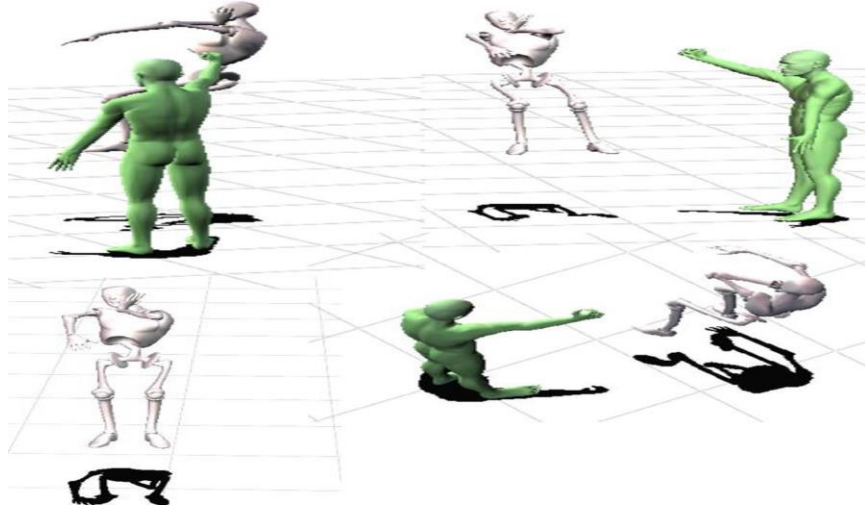
**Şekil 13;** Namlu ucu ile giriş yarası sanal ortamda çakıştırılarak yara ile namlunun uyumunu gösteren 3D balistik rekonstrüksiyon. Thali ve ark. (2003)'dan alınmıştır (58).

### 2.7.3 Olay Yeri Rekonstrüksiyonu

Trafik kazaları, cinayet ve intihar gibi adli olgularda olay yerinin rekonstrüksiyonu ve analizi ölen kişinin iç ve dış morfolojik bulgularının değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu nedenle adli olgulara yaklaşımda ileri teknolojik yaklaşım büyük önem taşımaktadır. Ölen kişinin vücut yüzeyi, olayda kullanılan aletin ve olay yerinin 3D dataları kombine edilerek olayın kaza mı, cinayet mi, intihar mı olduğuna yönelik ek bilgiler edinmemize olanak sağlamaktadır (54).



**Şekil 14.** Kaza mı yoksa cinayet mi olduğu konusunda şüpheli ateşli silah olay yeri 3D rekonstrüksiyonu. Silahı ateşleyen kişi yataktayken ateş ettiğini söylemekte. **a)** Kurban ve katilin pozisyonunun canlandırılması, **b)** Kişilerin pozisyonunun 3D rekonstrüksiyonu, **c)** Tepeden görünüm, mermi çekirdeğinin açısının sol köşe olduğu görülmekte, **d)** Lateral görünüm, şüphelinin ifadesi ile olay yerindeki delillerin rekonstrüksiyonunun uyuşmaması. Buck ve ark. (2013)'den alınmıştır (59).

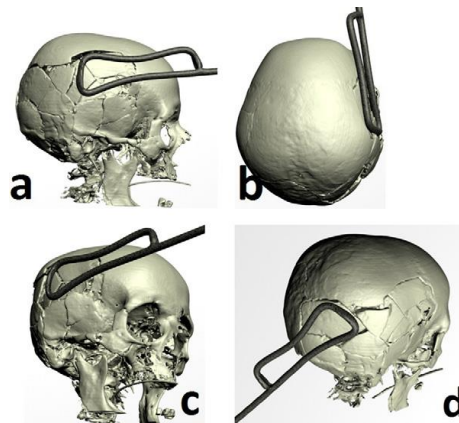


**Şekil15.** Olay yeri 3D rekonstrüksiyonu. Maiese ve ark. (2014)'dan alınmıştır (55).

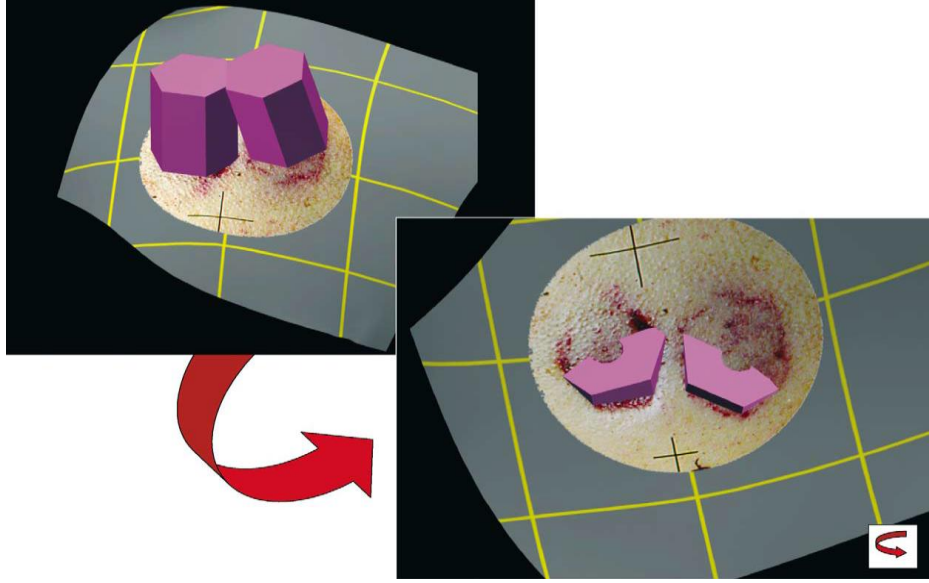
#### 2.7.4 Şekilli Lezyonlara Neden Olan Suç Aletinin Rekonstrüksiyonu

Hayatta olan kişilerde oluşan künt travmanın analizi adli tahkikat için büyük önem arz etmektedir. Bunun için iyi bir eksternal morfolojik inceleme gerekmektedir. Travma incelenirken cevaplanması gereken sorular şunlardır; uygulanan travma sayısı, travmanın yönü ve açısı, kazayla mı yoksa kaza dışı bir nedenle mi oluştu, suç aletinin tipi ve şekli, uygulanan travmatik etkinin miktarı, hayatı tehlike oluşturup oluşturmadığıdır (9).

Fotogrametri yöntemiyle yaraların birçok açıdan fotoğrafı çekilerek 3D/CAD ortamına aktarılarak olay sırasında kullanılan aletin rekonstrüksiyonu yapılabilmektedir.

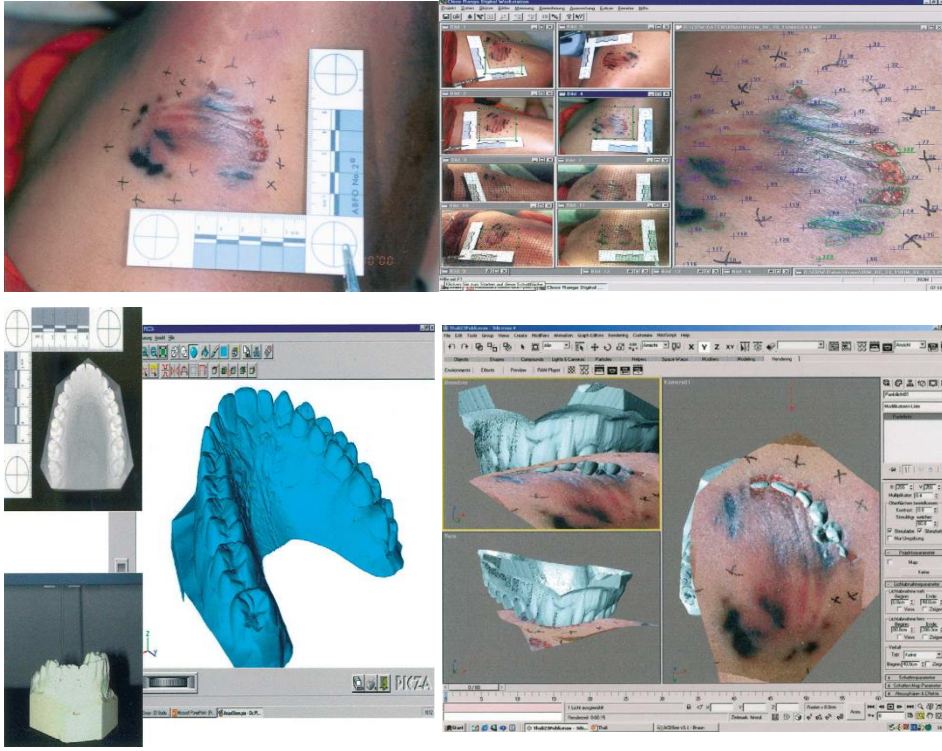


**Şekil 16.** BT datalarından elde edilen görüntülerden potansiyel suç aletinin çakıştırma/eşleştirme yöntemiyle rekonstrüksiyonu; a,b,c,d farklı açılardan görünüm. Wozniak ve ark. (2012)'dan alınmıştır (60).



**Şekil 17.** Şekilli ekimozun fotogrametrik 3D analizi ile plastik merminin 3D rekonstrüksiyonu. Bruschweiler ve ark. (2003)'dan alınmıştır (37).

Isırık izlerinin analizi adli tıp uygulamaları için oldukça önemlidir. Isırma 3 hareketli sistemden oluşan dinamik bir eylemdir. 3 boyutlu bir yapısı vardır; ısırık kişinin maksilla ve mandibulası, deri ve ısırılan kişinin hareketi. Isırık izi uygulanan basınca ve hangi vücut bölgesinin ısırıldığına bağlı olarak değişmektedir. Isırık izleri üzerinde yapılan analizlerin artık daha çok 3D yaklaşım yöntemleri yapıldığını görmekteyiz. 3D yöntemler ısırık izleri analizinin gelişmesine ve doğruluğunun artmasına olanak vermektedir ve bu izleri değerlendiren uzmanın etkisini giderek azaltmaktadır (61).

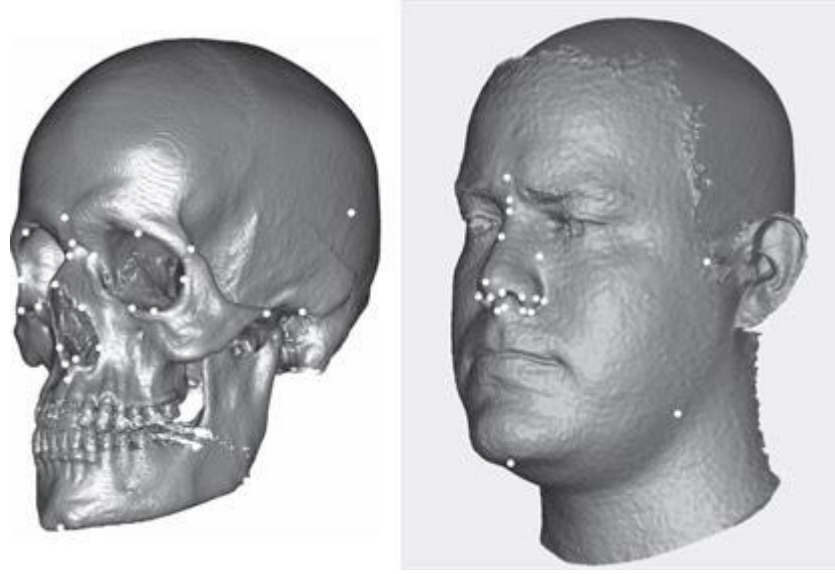


**Şekil 18.** Isırık izinin 3D rekonstrüksiyonu ile sonrası yara uyumunu gösterdikten sonra gerçekleştirilen kimlik tespiti. Thali ve ark. (2003)'dan alınmıştır (62).

### 2.7.5 Fasiyal Rekonstrüksiyon

Adli fasiyal rekonstrüksiyon genellikle tanımlanamayan kafatası kalıntılarının bir araya getirilerek kişinin yüz görünümünü tahmin etmeye çalışmaktadır. Yüz doku kalınlıkları kafatasının çeşitli bölgelerinde ölçülerek toplumun ortalama bir tablosu oluşturulmakta ve tahmin bu şekilde yapılmaktadır. Rekonstrüksiyon için birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerin çoğunda kil/çamur/macun ya da plastik madde kullanılmaktadır. Ancak manuel teknikler birçok anatomik ve sanatsal modelleme deneyimleri gerektirmekte olup ortaya çıkan sonuç subjektif olmaktadır. Bir tek kişinin yüz rekonstrüksiyonu bile uzun zaman almaktadır (en az birkaç gün). Bilgisayar ortamında yapılan 3D rekonstrüksiyonlar ise tutarlı olmakla birlikte objektif verilerde sağlamaktadırlar. Bu yöntem çok kısa vakit almakla birlikte, aynı anda birçok kafatasının rekonstrüksiyonuna izin vermektedir ve farklı doku kalınlıklarıyla yeniden çalışmaya olanak sağlamaktadırlar (63).

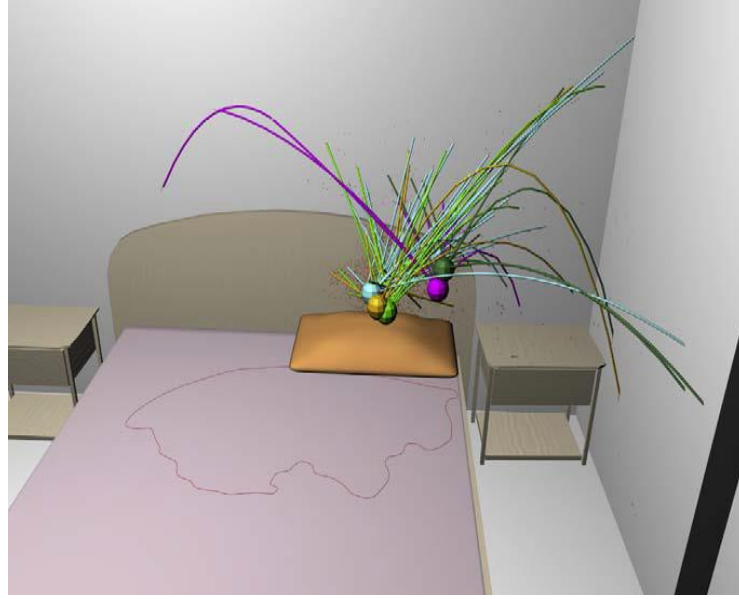




**Şekil 19.** Yüzde tanımlanan belli işaretleyici noktalardaki yüz doku kalınlıkları hesaplanarak gerçekleştirilen 3D fasyal rekonstrüksiyon. Kustar ve ark. (2013)'dan alınmıştır (64).

#### **2.7.6 Kan lekesi model analizi**

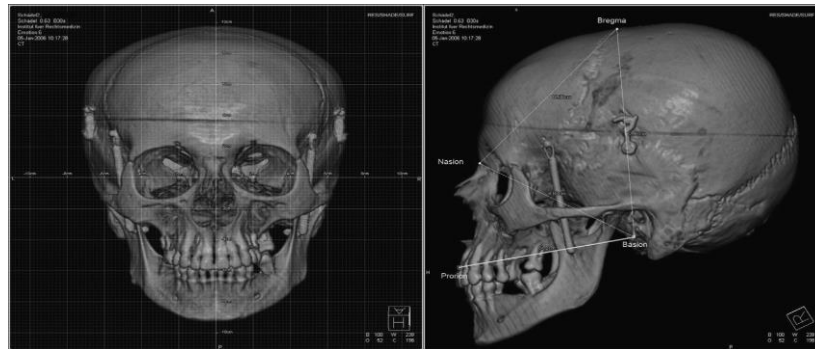
Kan lekesi model analizi; oluşumlarına neden olan fiziksel olayların tahmin ve yorumlanmasına olanak vermek için kan lekelerinin şekil, büyüklük, yer ve dağılım biçimlerinin sistematik biçimde incelenmesi ve değerlendirilmesini ele alan disiplindir. Uzun yıllardır yapılan çalışmalar sonucunda mevcut kan lekelerinin gerek doğrudan olay yerinde, gerekse görüntü incelemelerine dayanarak daha sonra yapılan değerlendirmeleriyle çok önemli bilgilere ulaşma yolunda önemli bilgilere ulaşılmıştır (65). Olay yerindeki kan lekelerinin lazer ortam tarayıcıları, takeometre veya fotogrametrik yöntemlerle rekonstrüksiyonu balistik incelemede traseyi belirlemede yüksek doğruluk sağlamaktadır (92).



**Şekil 20.** 4 veya 5 yerden orjin alan kan lekelerinin analizi. 3D rekonstrüksiyon balistik incelemeyle traseyi ve orjin noktalarını göstermekte. Buck ve ark. (2011)'dan alınmıştır (92).

### 2.7.7 3D Osteometrik Ölçümler

Osteolojik yöntemler ile cinsiyet, yaş, kilo tahmini gibi kimliklendirme işlemleri kemikler üzerinde uygulanırken bazen de kişinin yaşadığı popülasyonun özelliklerini saptamada önemli bilgiler sağlamaktadır. Klasik osteolojik ölçüm yöntemlerine göre 3D kemik rekonstrüksiyonu gerçeğe daha yakın bilgiler sağlamaktadır (66).



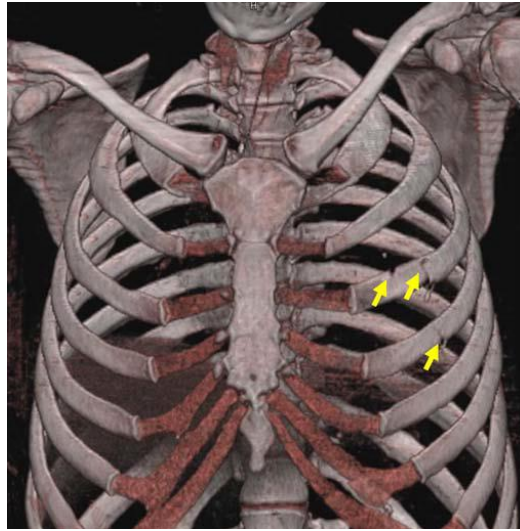
**Şekil 21.** Frontal ve sol paryetal bölge görüntülerinde 3D kemik ölçümü. Verhoff ve ark. (2008)'dan alınmıştır (66).

### 2.7.8 Postmortem 3D Görüntüleme

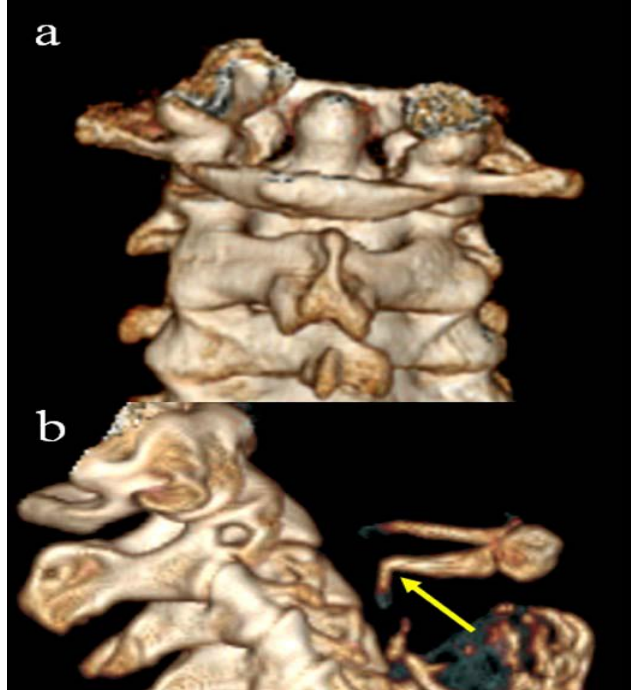
Postmortem görüntüleme radyoloji ve adli bilimler arasında bir köprü oluşmasına neden olmuştur. Postmortem görüntüleme yöntemleri günümüzde yazarlar tarafından otopsinin tamamlayıcısı olarak görülmekte ve gün geçtikçe adli tıp uygulamalarında önemi giderek artmaktadır. Postmortem yüzey taraması, ya da çok kesitli bilgisayarlı tomografi/MRG ile yapılan çekimler sonrası oluşturulan 3D rekonstrüksiyon;

- Daha sonra mahkemeye sunulmak üzere, kesin, hassas, objektif ve daha net bilgiler sunulmasında,
- 3D bulguların dokümantasyonunda kalibrasyon,
- Dijital görüntüleme ve transferde kalite güvencesi,
- Kültürler arası yargı sisteminin gelişmesine katkı sağlamaktadır (48).

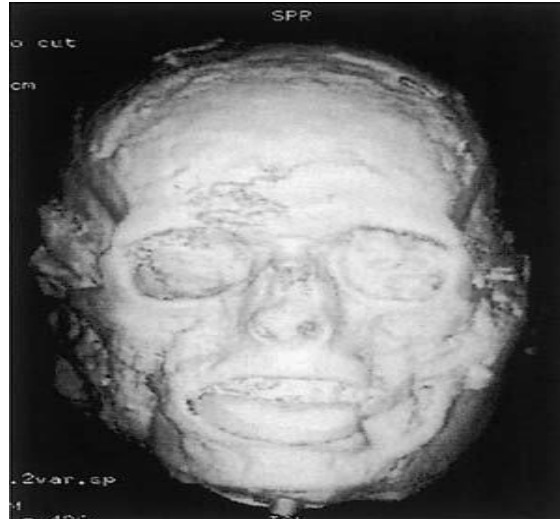
Kömürleşmiş cesetlerde yumuşak dokunun tama yakın ortadan kalkması kimliklendirmeyi güçlendirmektedir (67). Yine doğal afetlerde meydana gelen kitlesel ölümlerde hızlı bir şekilde kimliklendirmeye gerek duyulmaktadır (68). Hızlı bir şekilde yapılan 3D rekonstrüksiyon ile kişilerin hem ölüm nedenleri tahmin edilebilir hem de kimliklendirme işlemi gerçekleştirilebilir.



**Şekil 22.** Sol hemitorakstan 13 kez bıçaklanan bir kadının kostalarının 3D rekonstrüksiyonu. Sarı oklar ile gösterilen alanlarda kostalarda bıçak destrüksiyonları görülmekte. Bolliger ve ark. (2008) alınmıştır (48).



**Şekil 23.** a) Servikal vertebraların 3D rekonstrüksiyonu, b) Hyoid kemik sağ büyük boynuzundaki kırığın 3D rekonstrüksiyonu. Maksymowicz ve ark. (2014)'dan alınmıştır (69).



**Şekil 24.** Kömürleşmiş cesette yumuşak dokuların 3D rekonstrüksiyonu. Thali ve ark. (2008)'dan alınmıştır (67).

### **2.7.9 YAŞ TAYİNİ (YAŞLANDIRMA)**

Yaşa bağlı yüzde meydana gelen değişiklikler uzun süre kayıp olan kişilerde kimliklendirmede önemli bir sorundur ve daha az subjektif ve deneysel çalışma gerektirmektedir. Yaşlanma hem canlı kişilerde hem de ölen kişilerde önemli bir sorundur. Yaşlandırma özellikle gençlerde yüzlerinin benzer ve yoruma fazla yer bırakması nedeniyle zordur. Sadece fotoğraflar üzerinden gerçekleştirilen yaşlandırma iyi sonuç vermemektedir. Yaşlandırma için hem 2 boyutlu fotoğraflarından hem de 3 boyut yüz şeklinden faydalanılması gerekmektedir. Yaşlanma kişiden kişiye ve cinsiyetler arası farklılıklar göstermektedir. Her bireyde aynı süreçte farklı değişiklikler meydana gelebilmektedir. Günümüzde 3D görüntüleme yöntemlerinin gelişmesiyle özellikle genç yaşta kaybolan kişilerde zorluklara neden olan kimliklendirmede karşılaştırmalı yüzlendirme (yaşlandırma) işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir (70).

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamızda Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı tarafından 2014-2012 tarihleri arasında çekilen travmatik adli olguların medikal görüntüleri incelenmiştir. 3D görüntü işleme tekniği için bilgisayarlı tomografi ve MRG görüntüleri kullanılmıştır. Adli olgular seçilirken gelişigüzel örneklem seçimine gidilmiştir. Örneklemede trafik kazaları, ateşli silah yaralanmaları, künt travmalar, kesici-delici alet yaralanmaları retrospektif olarak seçilmiştir. Kişilere herhangi bir ilave girişim ya da ek ücretlendirme yapılmadığından, hastaların tek tek aydınlatılmış onamının alınmasına gerek duyulmamıştır.

Çalışma Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı'nca 01/07/2014 tarihinde 60116787-020/36973 sayı ile verilen onay sonrasında başlatılmıştır.

Tez çalışmasında mevcut 3D alt yapısı da kullanılarak adli tıp olgularından seri oluşturulması hedeflenmiş, bu amaçla Pamukkale Üniversitesi Hastanesi Radyodiyagnostik Anabilim Dalı'nın BT ve MR verileri ile piyasadan 3D ile ilgili firmalarla konuyla ilgili işbirliği yapılarak tez çalışması eldeki imkânlar doğrultusunda ilerletilmiş ve tamamlanmıştır.

Çalışmamızda kullanılan görüntüler 16 detektörlü ÇKBT cihazı (Brilliance CT 16 V2.00 Philips) ve 1.5 Tesla manyetik alan gücünde (1.5 T GE Signa Infinity Excite) MRG cihazı ile elde edilmiştir. 3D-BT'den elde edilen görüntüler MPR, MİP, MinİP ve VRT teknikleri kullanılarak oluşturulan üç boyutlu görüntülerdir. HBYS sisteminde kayıtlı hastalara ait görüntüler ilk önce PACS üzerinde görüntülenmiştir. 3D görüntü işlemeye uygun görülen vakalar PACS üzerinden DICOM dosya formatında dışa aktarılmıştır. Bu datalar uygun 3D görüntü işleme programına aktarılmıştır. 3D görüntü için VRT ve SSD teknikleri kullanılmıştır. Kullanmış olduğumuz programlar ücretsiz olup yüksek kalite grafik özellikleri gerektirmemektedir. Görüntüleme oluşun artefaktlar meshleme programları ile temizlenmiştir. 3D görüntü işleme programlarında istenilen bölge ve dokular seçildikten sonra 3D rekonstrüksiyonun ardından görüntüler STL dosya formatında blender programına aktarıldı. Burada uygulanan işleme teknikleri sonrası 3D yazıcıya aktarılmak üzere catalystex programına aktarılmıştır.

## **Görüntü İşlemede Kullanılan Programlar**

***InVesalius 3.0;*** Invesalius BT ve MR görüntülerinin yeniden rekonstrüksiyonunda kullanılan ücretsiz açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Özellikle hızlı prototiplemede, eğitimde, adli tıp uygulamalarında ve medical alanda kullanılmaktadır. Yazılım DICOM dosyalarının işlenebilirliğine olanak sağlamakta, STL, OBJ, PLY formatlarına çevirmeye olanak vermekte ve hacim oluşturma, otomatik segmentasyon gibi özellikleri bulunmaktadır. 2001 yılında Brezilya'da Renato Archer Bilgi Teknolojileri Merkezi'nde (CTI) geliştirilmiştir ve uluslararası oldukça yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur (71).

***3D Slicer;*** 3D Slicer ücretsiz görüntü analiz etme ve bilimsel görüntüleme özellikleri içeren açık kaynak kodlu bir programdır. Slicer birçok hastalığın mekanizmasını (astım, multiple skleroz, şizofreni, ortopedi uygulamaları gibi) açıklamada kullanılabilir. Slicer 1998 yılında Brigham'da MIT Yapay Zeka Laboratuvarı ve Cerrahi Kadın Hastanesi arasında yüksek lisans tez projesi olarak başlatılmıştır. İnteraktif görselleştirme özellikleri, kişiye özel odaklı görüntü oluşturma ve hızlı donanımlı render tekniklerini içermektedir. Slicer;

- Güçlü DICOM özellikleri,
- İnteraktif segmentasyon,
- Diffüzyon tensör görüntüleme, fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme,
- Görüntü klavuzluğunda radyoterapi için gelişmiş görüntü analiz algoritmaları,
- Windows, OSX, Linux platformlarında çalışma olanağı sunmaktadır (72).

***Seg3D;*** Seg3D Utah Üniversitesi Scientific Computing and Imaging (SCI) Enstitüsü'ne bağlı Integrative Biomedical Computing tarafından National Institutes of Health (NIH) merkezinde geliştirilen ücretsiz hacim oluşturma ve görüntü işleme araçlarını içeren bir yazılımdır. Seg3D kaliteli boyutlama ve segmentasyon algoritmaları içeren esnek manuel kullanıma olanak sağlayan araçları içeren bir görüntü işleme aracıdır. Seg3D;

- Kat kat uygulanan multiple 3D hacim oluşturma ara yüzler içerir,
- Manuel şekillendirme ile entegre otomatik segmentasyon,

- Toolkit filtreleme, gerçek zamanlı görüntü hesaplama ve deęiřtirme,
- 64 bit sistem gereksinimi,
- BSD tarzı açık kaynak lisans,
- Birçok medikal görüntü formatını destekleme,
- Windows, OSX, Linux platformlarında çalışma olanağı sunmaktadır (73).

**3D Doctor;** BT, MRG, PET gibi medikal cihazlar için bilimsel görüntü uygulamalarını içeren, 3D modelleme, görüntü işleme ve ölçüm yapabilen bir yazılımdır.

Hem gri renk seviyelerini hemde renkli görüntüleri DICOM, TIFF, Interfile, GIF, JPEG, PNG, BMP, PGM, MRC, RAW dosya formatında arşivlemeyi desteklemektedir. 2 boyutlu kesitsel görüntülerden hacim ve yüzey oluşturmaktadır.

Cerrahi planlanlama, simülasyon, kantitatif analiz, sonlu elemanlar analizi (FEA) ve hızlı prototipleme uygulamaları için STL, DXF, IGES, 3DS, OBJ, VRML, PLY, XYZ dosya formatlarında poligonal meshleme sağlamaktadır (90).

Kullandığımız 3D Doctor Program demo sürümüdür.

**3Dim Viewer;** DICOM datalarını 3D görüntüleyebilen kolay kullanıma sahip bir yazılımdır.

- XY, YZ, XZ aksiyel grntlemeri sağlar,
- Ayarlanabilir yoğunluk penceresi,
- Yoğunluk ve mesafe lme,
- Eřiklemeye yarayan doku segmentasyonu,
- 3D yüzey ve hacim oluşturma (91).

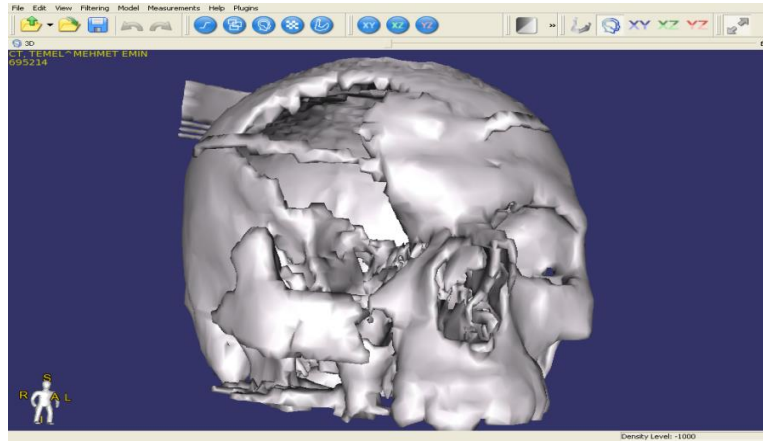


**Blender 2.74;** Blender 1998'de Hollanda'da kurulan NeoGeo adlı canlandırma stüdyosunun kendi kadrosuyla yazılım geliştirerek kendi üretim araçlarına sahip olmayı hedeflemesiyle başlamıştır. Blender, bu dönemde kapalı kaynak kodlu ve ücretli bir yazılımdır. Sahip olduğu Python API'si ve içinde gömülü çalışan oyun motoru ile Blender, birçok yazılım geliştiricisinin ilgisini çeker ve geliştirilmesi oldukça hızlanır. Blender günümüzde Blender Vakfı'nın bağışçıları ve sponsorları tarafından finanse edilmekte ve Blender Enstitüsü'nde iki yarı zamanlı, iki tam zamanlı çalışan topluluklar tarafından geliştirilmektedir. Blender, bilinen ve yaygın olarak kullanılan 3 boyutlu modelleme/tasarım yazılımlarından biridir. Blender şuan ücretsiz açık kaynak kodlu 3D modelleme programıdır. 3D modelleme ile animasyon oluşturma, simülasyon, rendering, birleştirme, hareket takibi, video düzenleme ve oyun oluşturma motorlarını içermektedir. Blender çapraz platform içermektedir. Arayüzünde OpenGL destekli kullanım gerektirmektedir (74).

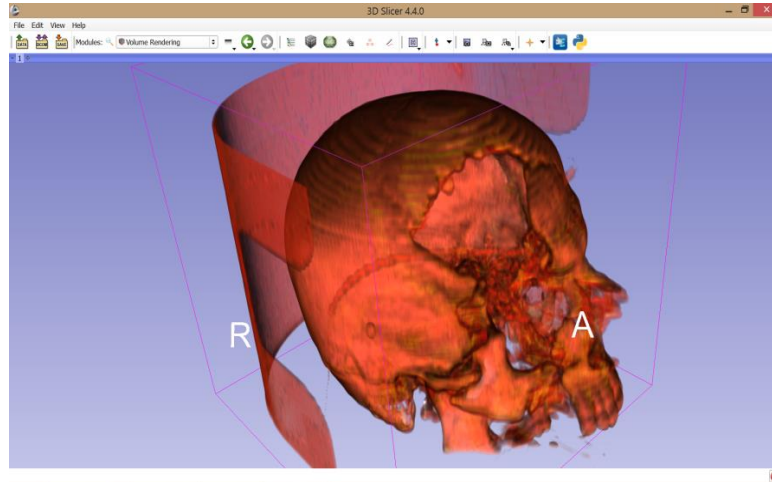
#### 4. BULGULAR

Çalışmamızda 22 BT görüntüsü, 2 MR görüntüsü kullanılmıştır. BT ve MR dataları üç boyut yazılım ortamlarına DICOM formatında aktarılmıştır.

Şekil 25'de 3D DİM Viewer programı ile ateşli silah yaralanması sonrası kraniyotomi uygulanan şahsın yüzey oluşturma yöntemiyle (SSD) 3D görüntüsü. Bu görüntü ham data olup daha sonra pürüzsüzleştirme, kesit birleştirme ve meshleme ile açık kaynak kodlu programlara aktarılmaktadır. Şekil 26'da 3D Slicer programında meshlendikten sonraki 3D görüntüsü oluşturulmuştur.

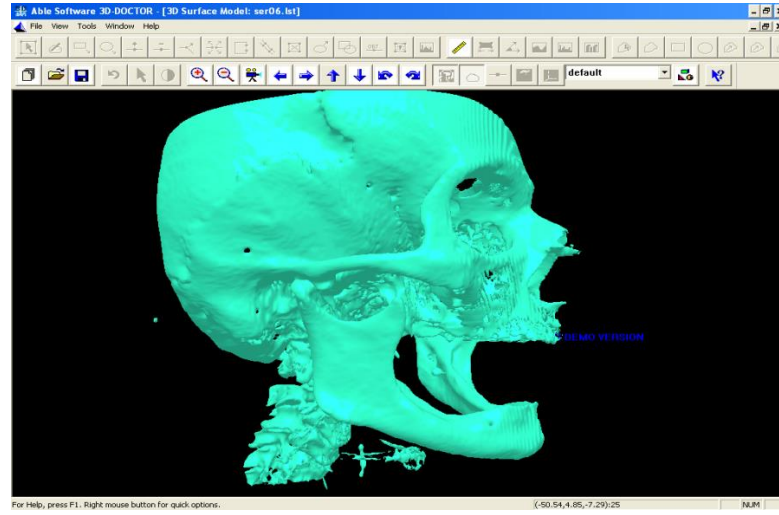


**Şekil 25.** Kraniyotomi uygulanan şahsın 3D Dimviewer programında 3D rekonstrüksiyonu.

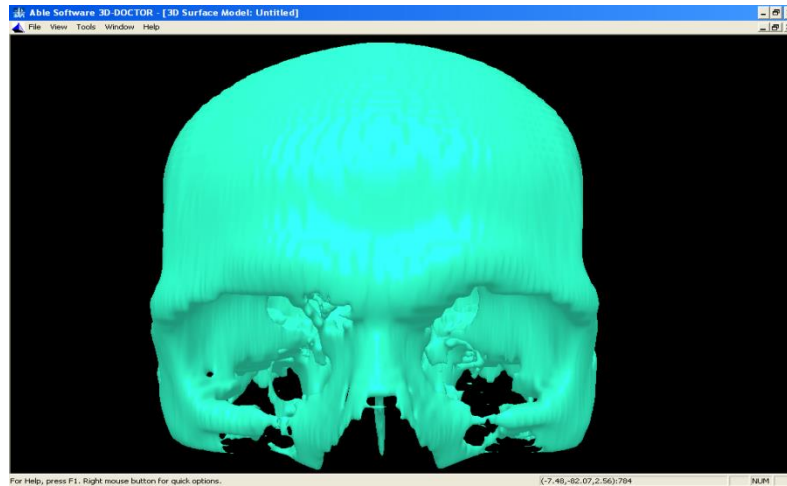


**Şekil 26.** Kraniyotomi uygulanan şahsın 3D Slicer programında 3D rekonstrüksiyonu.

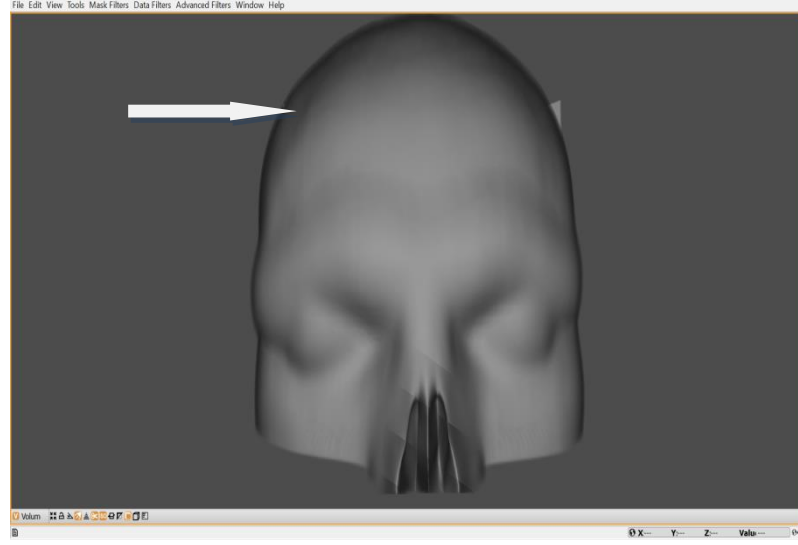
Şekil 27-28'de saçlı deri altında saçma taneleri isabet eden şahsın BT görüntülerinden elde edilen görüntüdür. Görüntü hacim oluşturma tekniğiyle iskelet sistemi eşikleme yöntemiyle 3D Doctor programında işaretlendikten sonra 3 boyutlu görüntüsü elde edilmiştir. Görüntü farklı açılardan incelemeye ve kemik yapının net bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 28'de aynı hastanın kafatası daha yakından ve istenilen bölgenin ayrı değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 29'da aynı hastanın MR görüntülerinden yumuşak dokunun 3D görüntüsü oluşturulmuştur. Okla gösterilen bölgede saçlı deri altında bulunan saçma tanesini görmektedir.



Şekil 27. 3D Doctor programında kafatası 3D modelleme (yandan görünüm).

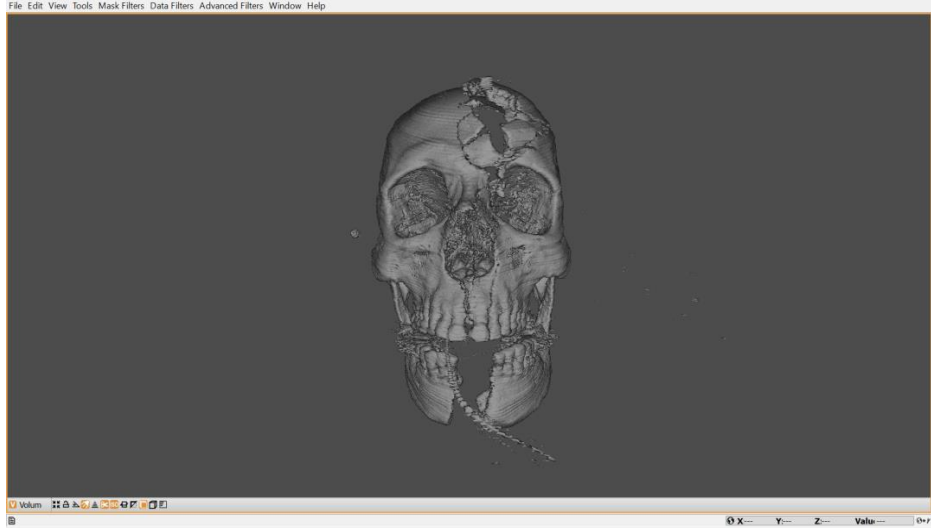


Şekil 28. 3D Doctor programında kafatası 3D modelleme (önden görünüm).

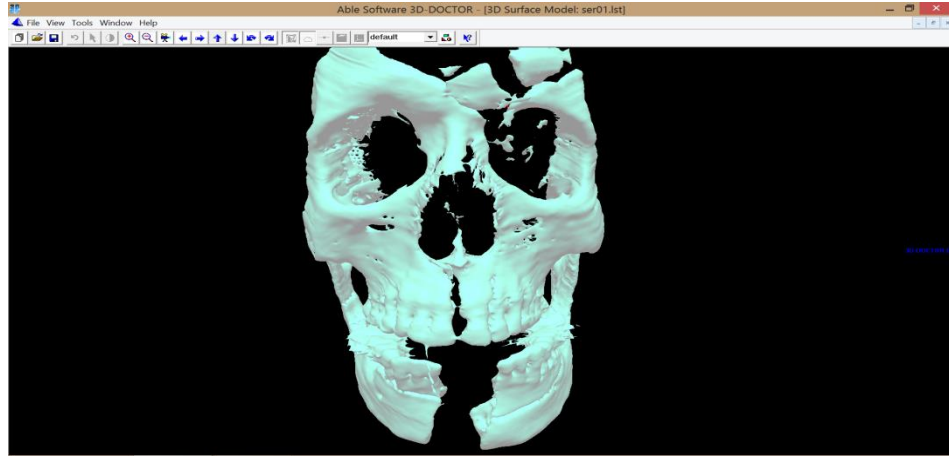


**Şekil 29.** Seg 3D programında cilt altı saçma tanesi MR görüntüsü 3D modelleme.

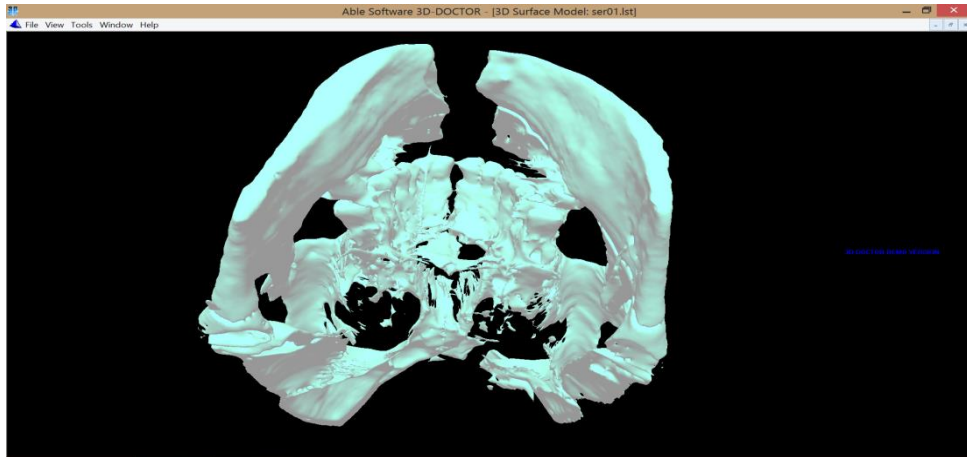
Şekil 30-31-32-33-34'de çene altından ateşlenen ateşli silah mermi çekirdeğinin frontal bölgeden çıkış deliği görülmektedir. Görüntü farklı açılardan değerlendirmeye olanak vermektedir. Mandibula anteriorunda deplase kırık izlenmekte. Sert damakta, maksilla anteriorunda, nazal septumda ethmoid hücrelerde, frontal kemikte, sol maksiller sinüs anterior duvarında, sol orbita medial duvarında, frontal ve her iki pariyetal kemikte multipl fraktürler görülmektedir. Frontal kemikteki defektte kemik fragmanlarının dışa açılmış oldukları görülmektedir. Şekil 30'da Seg3d programında SSD tekniği, şekil 31-32'de 3D Doctor programında VRT tekniği, şekil 32'de 3D Slicer programında histogram ve SSD tekniği, şekil 34'de 3D-BT ile 2D MIP VE MPR teknikleri kullanılarak elde edilmiş görüntülerdir. 3D-BT ile çekilen görüntüler sadece viewer özelliği göstermektedir. Herhangi bir rotasyon hareketine izin vermemekle birlikte başka 3D programlara aktarılamamaktadır. Ayrıca istenilen vücut bölgesinin diğer bölgelerden ayrılmasına olanak sağlamamaktadır.



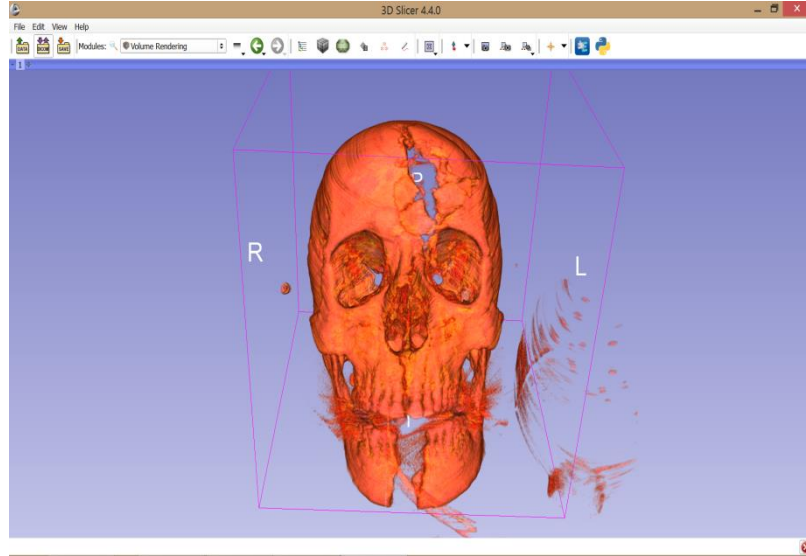
**Şekil 30.** Ateşli silah yaralanması Seg3D programında 3D modellemesi.



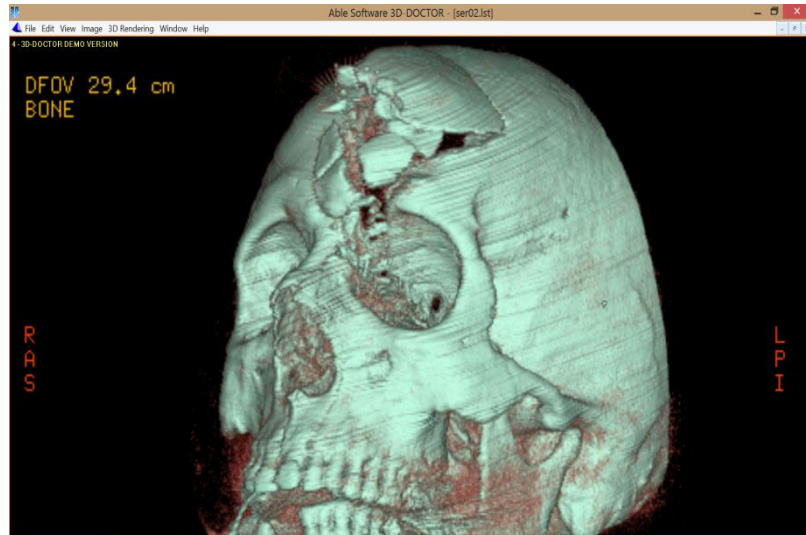
**Şekil 31.** Ateşli silah yaralanması 3D Doctor programında 3D modellemesi (önden görünüm).



**Şekil 32.** Ateşli silah yaralanması 3D Doctor programında 3D modellemesi (alttan görünüm).

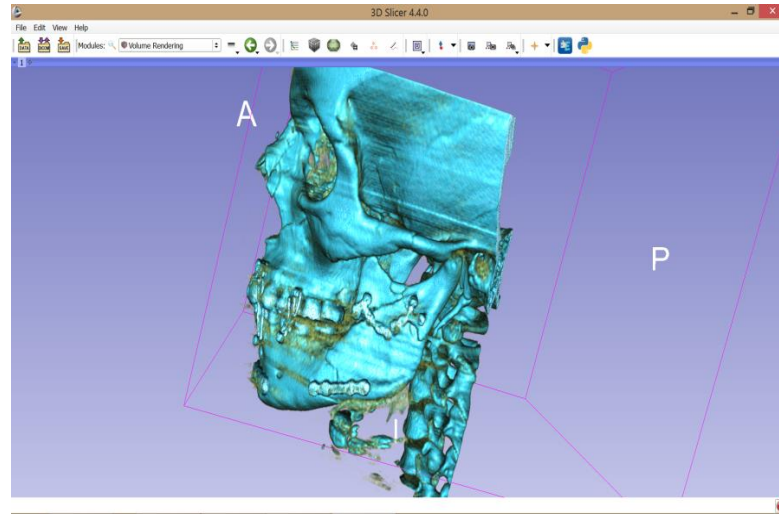


**Şekil 33.** Ateşli silah yaralanması 3D Slicer programında 3D modellemesi.

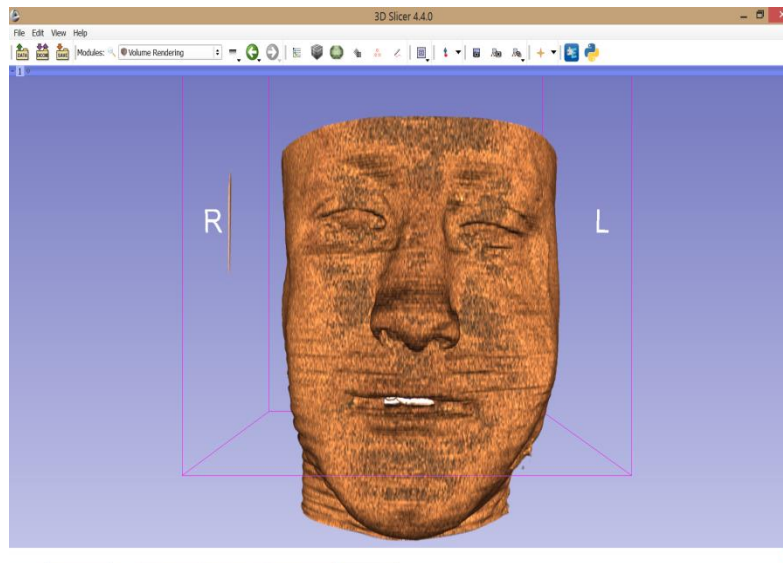


**Şekil 34.** Ateşli silah yaralanması 3D-BT ile 3D modellemesi.

Şekil 35'de trafik kazası sonrası maksillofasiyal travma nedeniyle başvuran şahısta 3D Slicer programı ve SSD tekniği ile postop çekilen Maksillofasiyal BT'de uygulanan rekonstrüksiyonda; sol orbita medial duvarında ve inferior duvarında lineer hafif deplase fraktür hatları, solda zygomatic arkta orta kesiminde hafif deplase ve posterior kesiminde lineer nondeplase fraktürler, sol mandibula ramus kesiminde deplase 2 adet fraktür, mandibula anteriorunda deplase fraktür hattı, sol temporal kemik anteriorunda lineer nondeplase fraktür hattı görülmektedir. Şekil 36'da aynı hastanın MR görüntüsüyle VRT tekniği kullanılarak oluşturulmuş cilt altı hematoma ve sol göz kapağındaki pitozisin rekonstrüksiyonu görülmektedir.

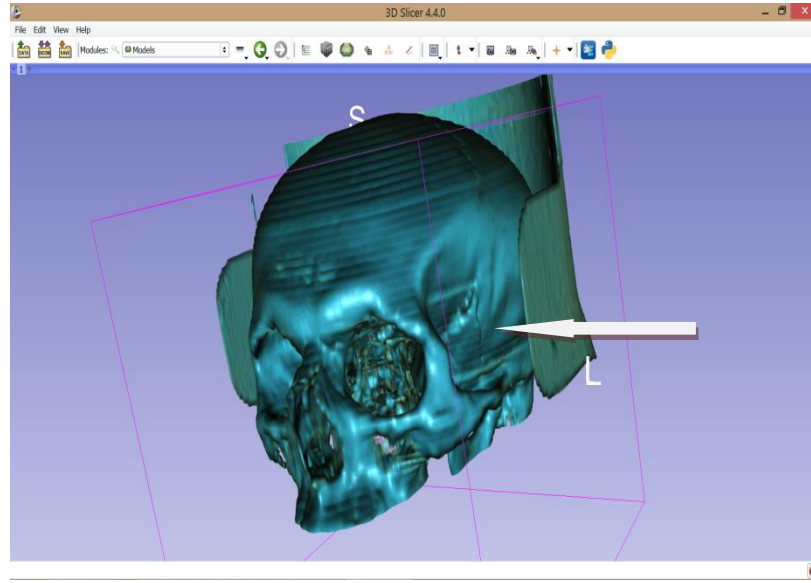


**Şekil 35.** Yüz travması 3D modelleme.

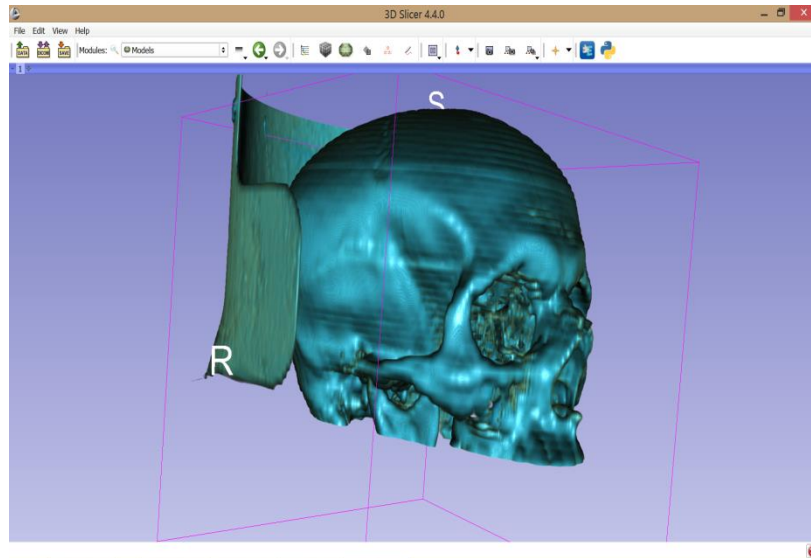


**Şekil 36.** Yüz travması yumuşak doku 3D modellemesi.

Şekil 37’de sol temporal bölgeye künt cisimle darbe alan şahsın BT görüntüleri 3D Slicer programına aktarıldıktan sonra SSD tekniği kullanılarak oluşturulan rekonstrüksiyonda; sol temporal kemik squamöz parçasında parçalı kırık hattı ok ile gösterilmiştir. Şekil 38 ayı hastanın sağdan doğal görünümü.



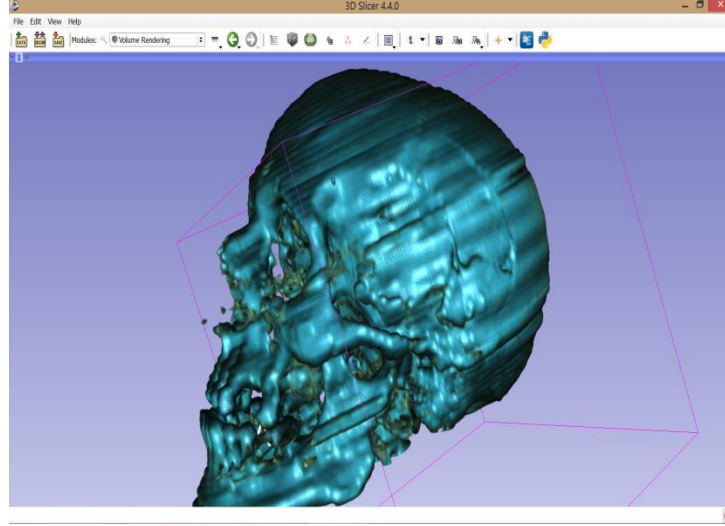
**Şekil 37.** Künt cisim travması sonrası kafatası 3D modelleme (soldan görünüm).



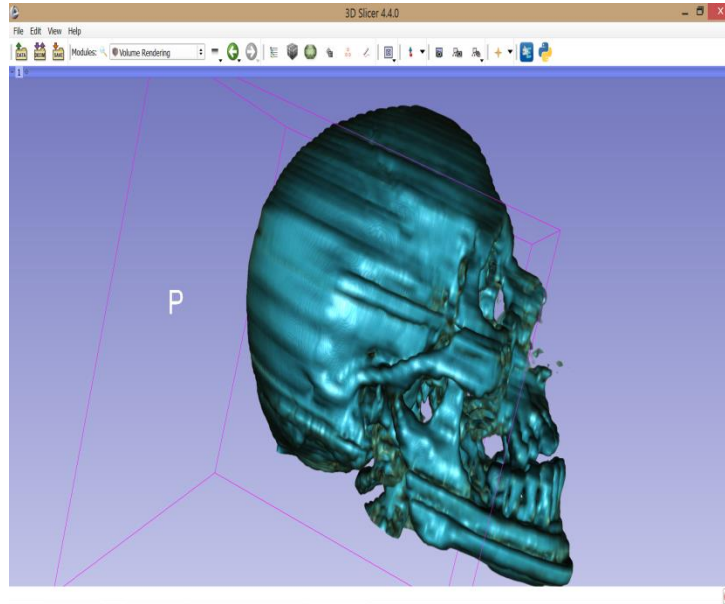
**Şekil 38.** Künt cisim travması sonrası kafatası 3D modelleme (sağdan görünüm).



Şekil 39'da trafik kazası sonrası başının sol tarafına künt darbe alan şahısta BT görüntüleri 3D Slicer programına aktarıldıktan sonra SSD tekniği ile oluşturulan rekonstrüksiyonda; sol temporal kemikte ve pariyetal kemikte multipl deplase parçalı fraktür hatları görülmektedir. Şekil 40 sağdan doğal görünüm.

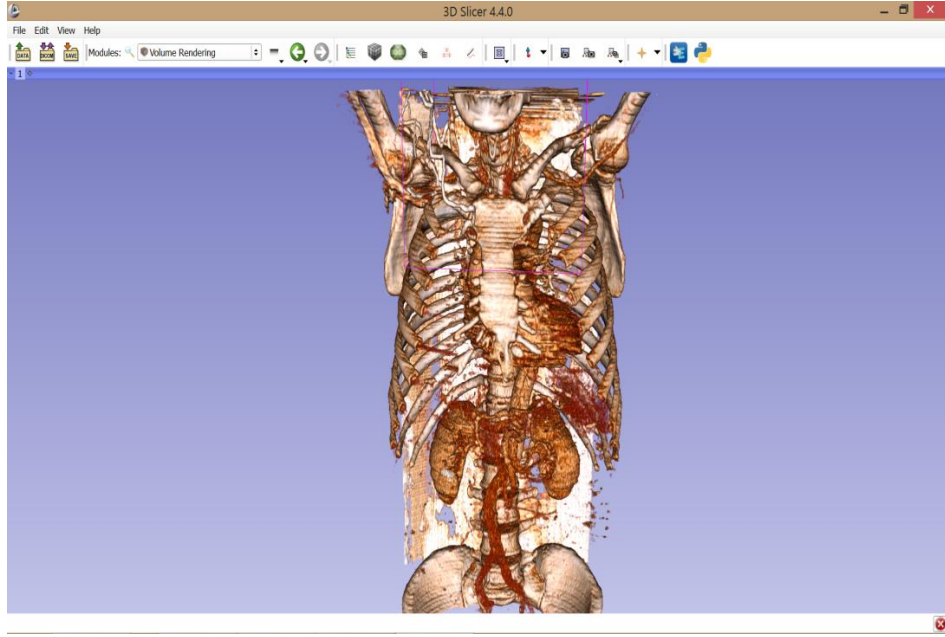


**Şekil 39.** Trafik kazasının sonrası kafa travmasına bağlı kemik kırıklarının 3D modellemesi (sağ yandan görünüm).



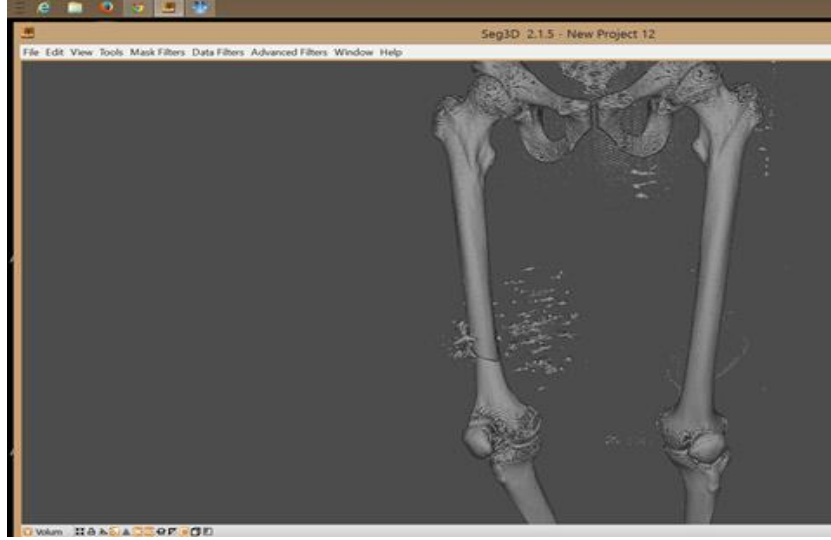
**Şekil 40.** Trafik kazası sonrası kafa travmasına bağlı kemik kırıklarının 3D modellemesi (sol yandan görünüm).

Şekil 41'de karın ağrısı sonrası acil servise başvuran acil ameliyata alındıktan sonra ölen şahısta büyük damar yapıların görüntülenmesi. Ameliyat öncesi çekilen torako-abdominal BT görüntülerinde aorta kökünden itibaren başlayan arkus aorta ve desenden aorta ile devamlılık gösteren abdominal aortada ve ilyak arterlere kadar uzanım gösteren aort diseksiyonu görülmekte. BT görüntüleri 3D Slicer programına aktarıldıktan sonra VRT tekniği ile büyük damarlar 3 boyutlu rekonstrükte edilmiştir.

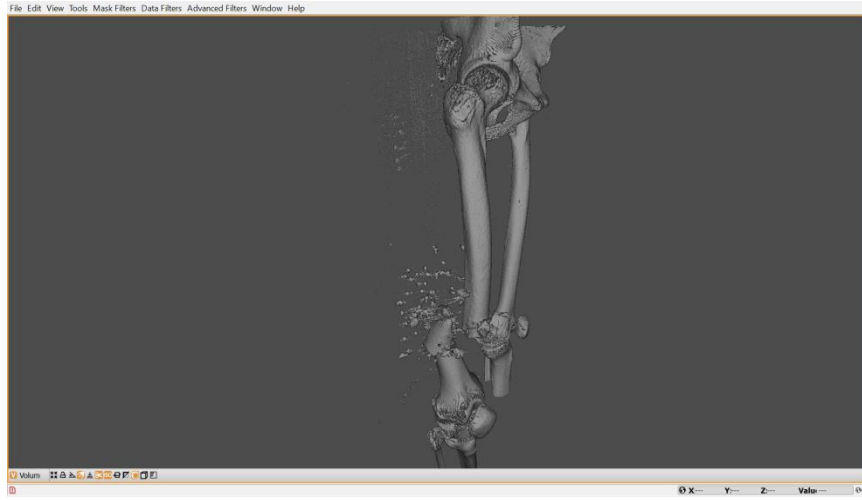


**Şekil 41.** Aort diseksiyonu 3D modellmesi.

Şekil 42-43'de sağ uyluk distalinde av tüfeği saçma taneleri yaralanması olan şahsın ekstremite BT'leri Seg3D programına aktarıldıktan sonra 3D modellemesi. Görüntüler BT görüntülerinden hacim oluşturma yöntemiyle işlenerek elde edilmiştir. Sağ femur distalinde çok sayıda saçma tanesi ve sağ femur distalinde çok parçalı deplase kırık hattı izlenmektedir.

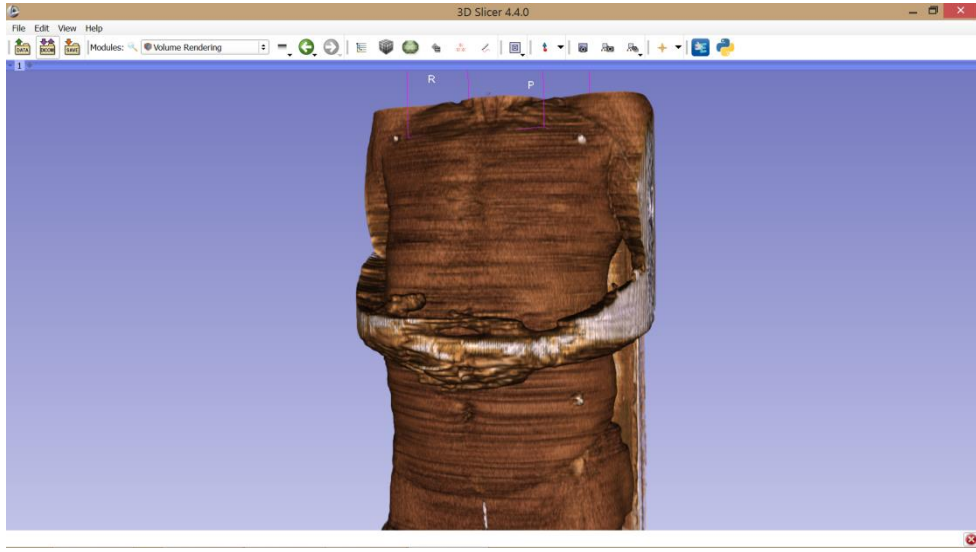


**Şekil 42.** Alt ekstremite ateşli silah yaralanması 3D modellemesi (önden görünüm).

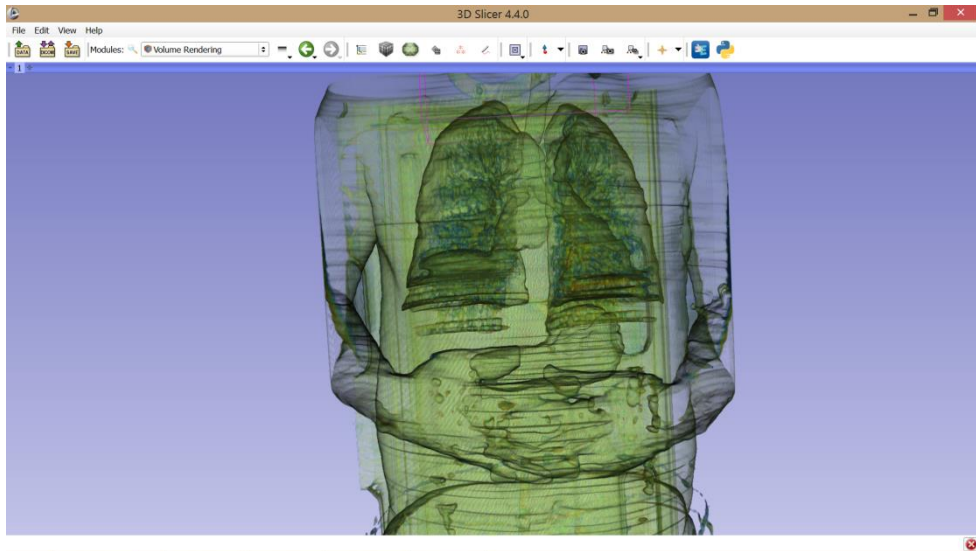


**Şekil 43.** Alt ekstremite ateşli silah yaralanması 3D modellemesi (yandan görünüm).

Şekil 44'de göğüs ön yüzde ve batın sol tarafta kas dokuya isabet eden saçma tanelerinin toraks-tüm batın BT'lerinden elde edilen görüntülerin 3D Slicer programına aktarıldıktan sonra SSD tekniği ile 3D modellemesi. Şekil 45'de aynı hastanın akciğerlerin diğer dokulardan ayrı olan voksellerinden faydalanılarak segmentasyon işlemi uygulandıktan sonra 3 boyutlu görselleştirilmiştir.

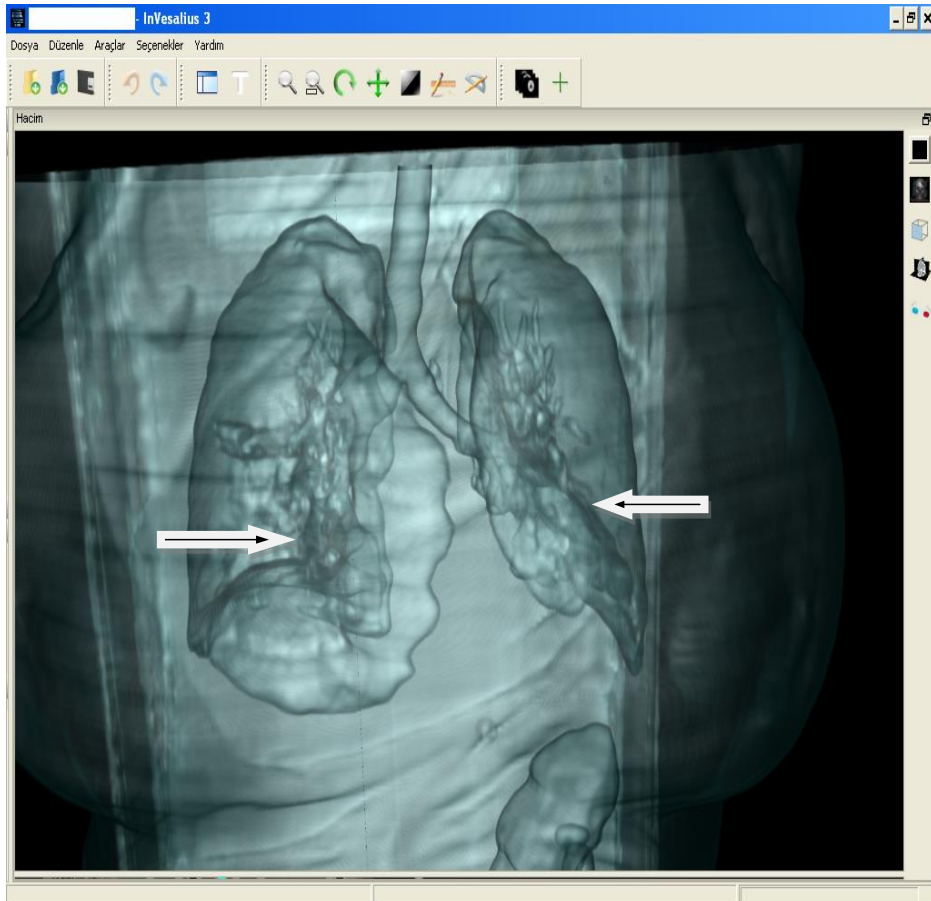


**Şekil 44.** Cilt altı saçma tanelerin 3D modellemesi.



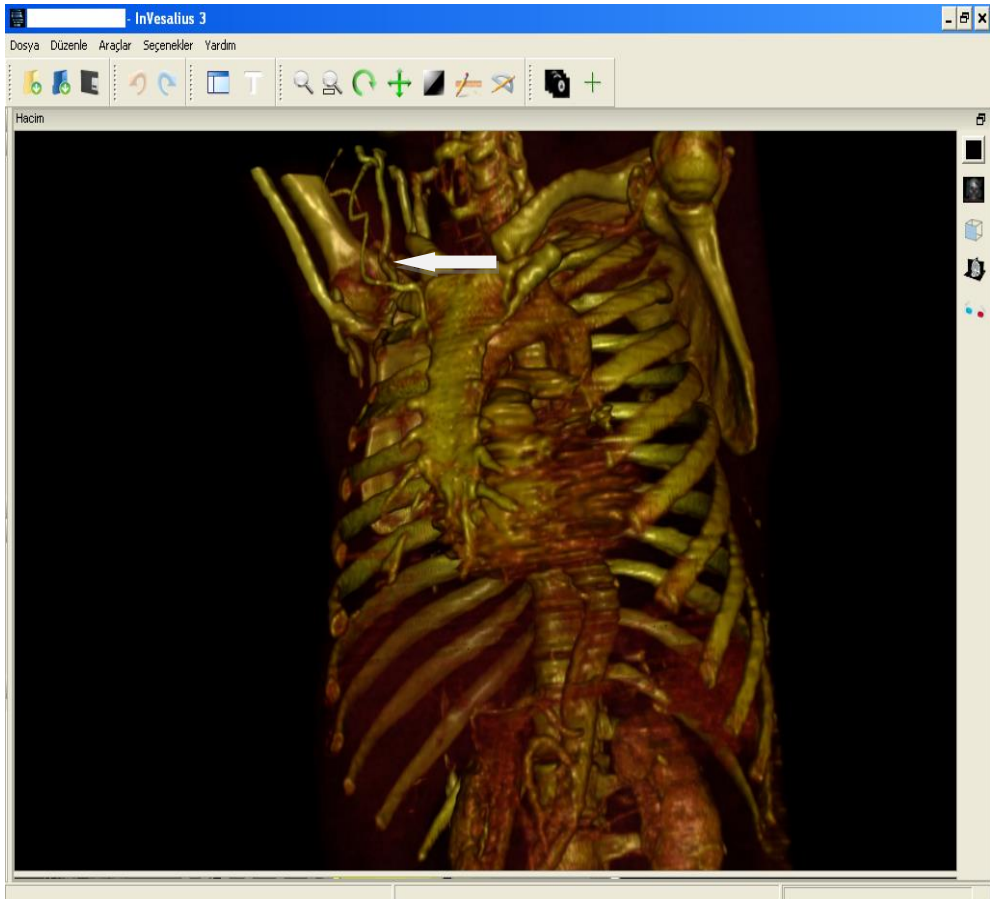
**Şekil 45.** Akciğerlerin ve hava yollarının 3D modellemesi.

Şekil 46'da torakal BT'de sağ ana pulmoner arter üst ve alt lob lobar ve segmental dallarında emboli ve her iki akciğer parankiminde alt lobda daha belirgin subsegmental atelektazi-konsolidasyon alanları olan şahsın BT görüntüleri İnvessalius programına aktarıldıktan sonra histogram eşitleme ve VRT tekniği ile akciğer parankiminin ve hava yollarının birbiriyle olan ilişkisi 3D modelleme ile rekonstrükte edilmiştir. Şekilde oklarla gösterilen alanlar segmental atelektazik-konsolidasyon alanlarıdır.



**Şekil 46.** Atelektazik akciğerlerin BT görüntülerinin 3D modellemesi.

Şekil 47-48'de i.v kontrast madde enjeksiyonu sonrası torakal BT'si çekilen şahsıta aorta kökünden başlayan ve arkus aorta ve desendan aorta ile devamlılık gösteren abdominal aortada ve ilyak arterlere kadar uzanım gösteren diseksiyon flebi olduğu görülmüş. Diseksiyon flebi sağ ana karotid arter proksimalinde %70-80'e yakın darlık oluşturmaktadır. Ayrıca asendan aortada anevrizma görülmektedir. Şahsın BT görüntüleri İnvosalıus programına aktarıldıktan sonra damar segmentasyonu uygulanarak büyük damarların 3D rekonstrüksiyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 47'de okla gösterilen bölgede sağ ana karotid arter proksimalindeki darlık görülmektedir. Şekil 48'de okla gösterilen alanlarda asendan aortadaki anevrizma ve diğer arterlerdeki yer yer darlıklar görülmektedir.

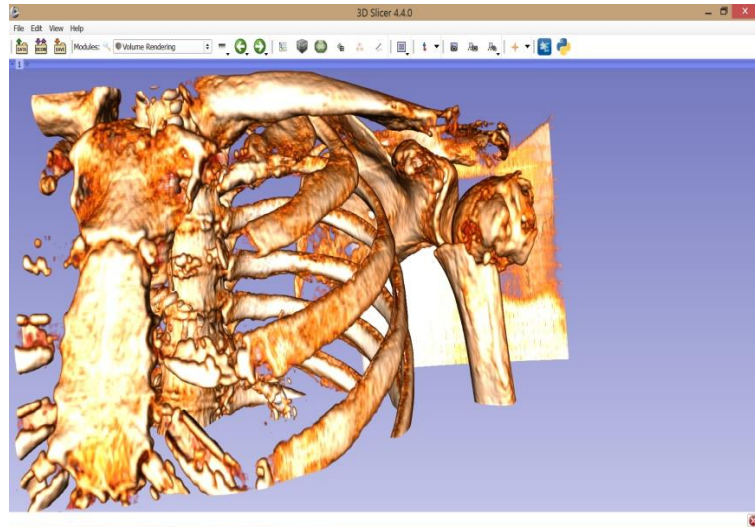


Şekil 47. Diseksiyona bağlı sağ karotis internada oluşan darlığın 3D modellemesi.

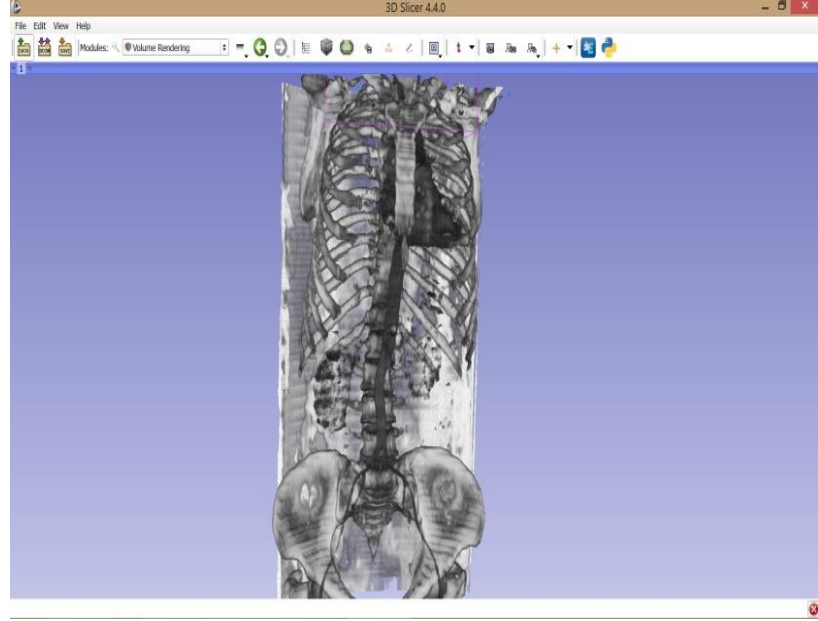


**Şekil 48.** Asendan aorta anevrizmasının ve büyük damar darlıklarının 3D modellemesi.

Şekil 49'da yüksekten düşme sonrası üst ekstremité BT'sinde sol humerus başında ve boynunda multipl parçalı fraktürler ile humerus başının laterale deplase olduğu görülmüş. Şahsın üst ekstremité BT'sinden elde edilen görüntüler 3D slicer programına aktarıldıktan sonra SSD tekniği ile 3D modellemesi oluşturulmuştur.

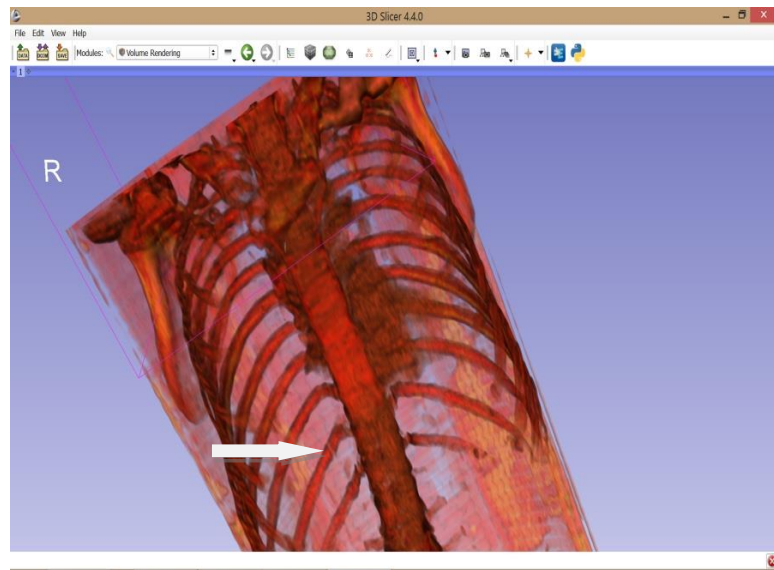


**Şekil 49.** Sol humerus başı ve boynu kırığının 3D modellemesi.



**Şekil 50.** Normal damarsal yapıların VRT tekniği ile 3D Slicer programında 3D modellemesi.

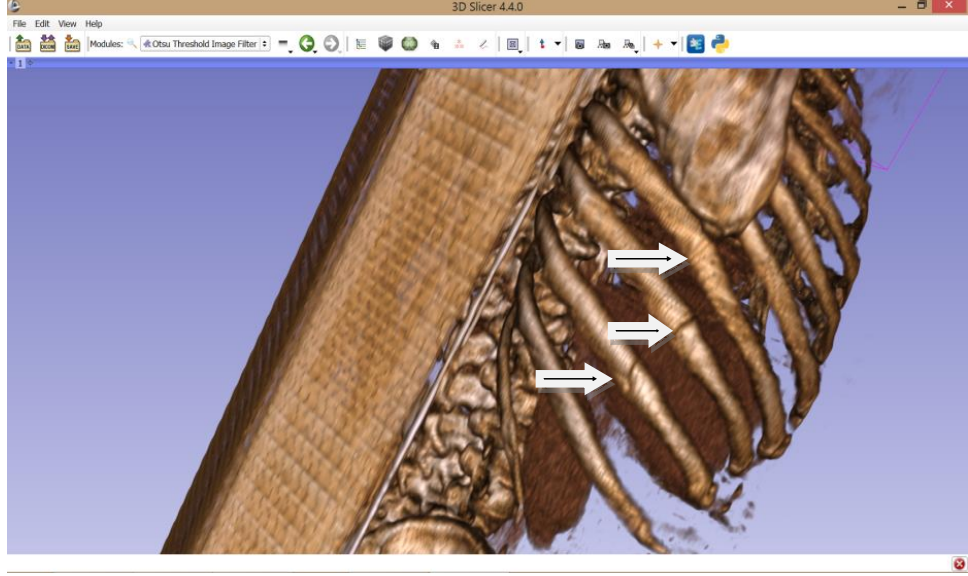
Şekil 51’de sağ skapula altına künt travmatik darbe alan şahsın torakal BT’sinde 9. kot posteriorunda deplase kırık görülmektedir. Şahsın BT görüntüleri 3D Slicer programına aktarıldıktan sonra SSD tekniği kullanılarak oluşturulan 3D kemik modellemesi. Okla gösterilen bölgede 9. Kot posteriorundaki deplase kırık hattı görülmektedir.



**Şekil 51.** Kosta kırığının 3D modellemesi.

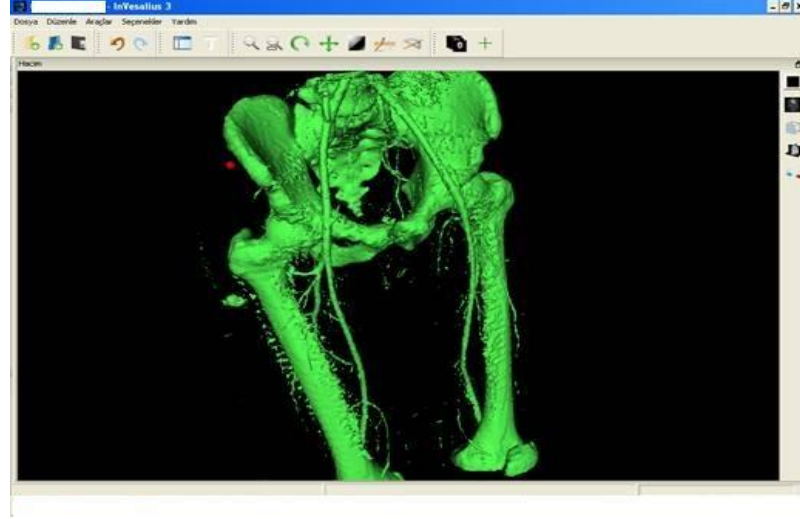


Şekil 52'de yüksektan düşme sonrası çekilen şahsın torakal BT'sinde sağda 8. kostada lineer, 9. 10. kosta posterior yayında deplase fraktür hatları görülmüş. Bu BT görüntüleri 3D slicer programına aktarıldıktan sonra VRT tekniği ile 3D modellemesi gerçekleştirilmiştir. Kırık alanlar ok ile gösterilmiştir.



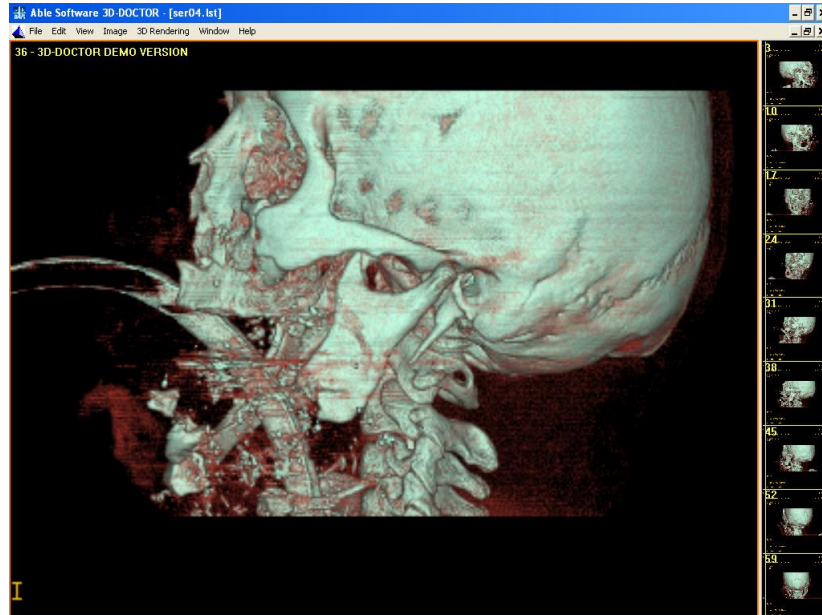
**Şekil 52.** Kosta kırığının 3D modellemesi.

Şekil 53'de i.v kontrast madde enjeksiyonu sonrası çekilen alt ekstremité BT'de; derin ve yüzeyel femoral damarsal yapılar ile dallarının invesalius programında 3D modellemesi.



**Şekil 53.** Derin ve yüzeyel femoral damarsal yapılar ile dallarının invesalius programında 3D modellemesi.

Şekil 54'de trafik kazası sonrası mandibula kırığı olan şahsın 3D-BT ile çekilen ve 2D MİP ve VRT teknikleri kullanılarak oluşturulan rekonstrüksiyonu. Mandibulada parçalı fraktür ve çevresinde çok sayıda kemik fragmanı görülmektedir.



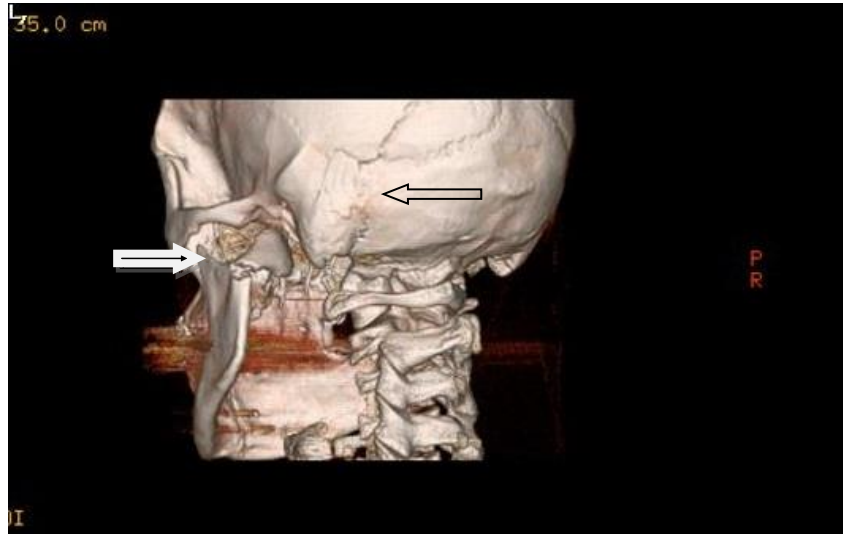
**Şekil 54.** Mandibula kırığı olan şahsın 3D-BT ile rekonstrüksiyonu.

Şekil 55'de bisikletten düşme sonrası sol radius distal uça lineer kırığı olan şahsın el bileğinin 3D-BT ile görüntülenmesi. 2D MİP ve VRT tekniği ile bilgisayarlı tomografi çekildikten sonra otomatik segmentasyon ile oluşturulmaktadır.



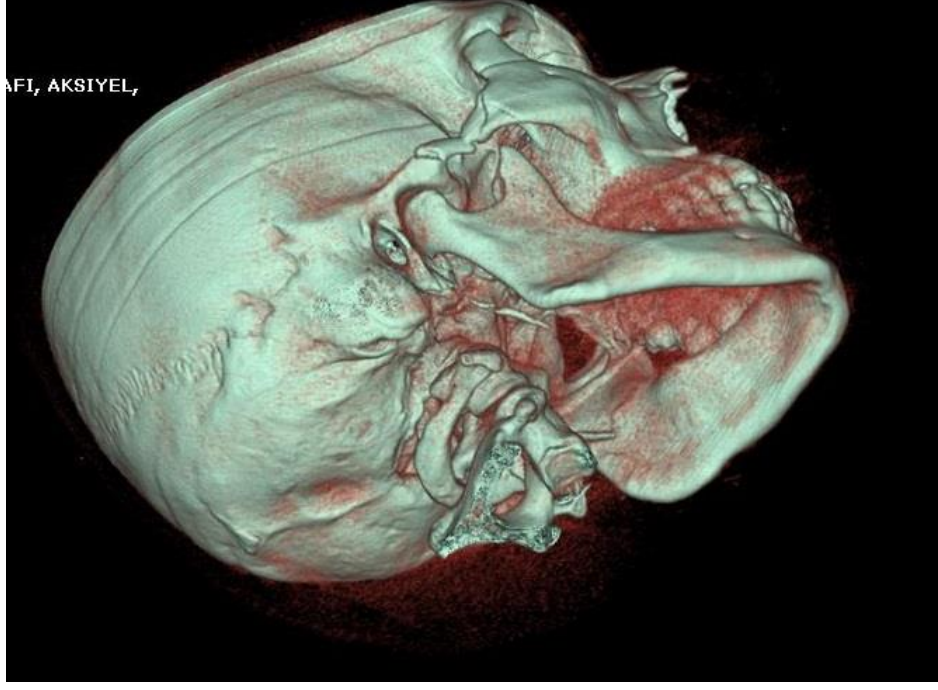
**Şekil 55.** Sol radius distal uça lineer kırığı olan şahsın el bileğinin 3D-BT ile görüntülenmesi.

Şekil 56'da 3D-BT ile 2D MİP, MPR ve VRT tekniği ile kemik yapıların gösterilmesi. Sol oksipital kemikte fraktür ve sol mandibular eklem bileşkesinde deplase parçalık kırık hattı görülmektedir.



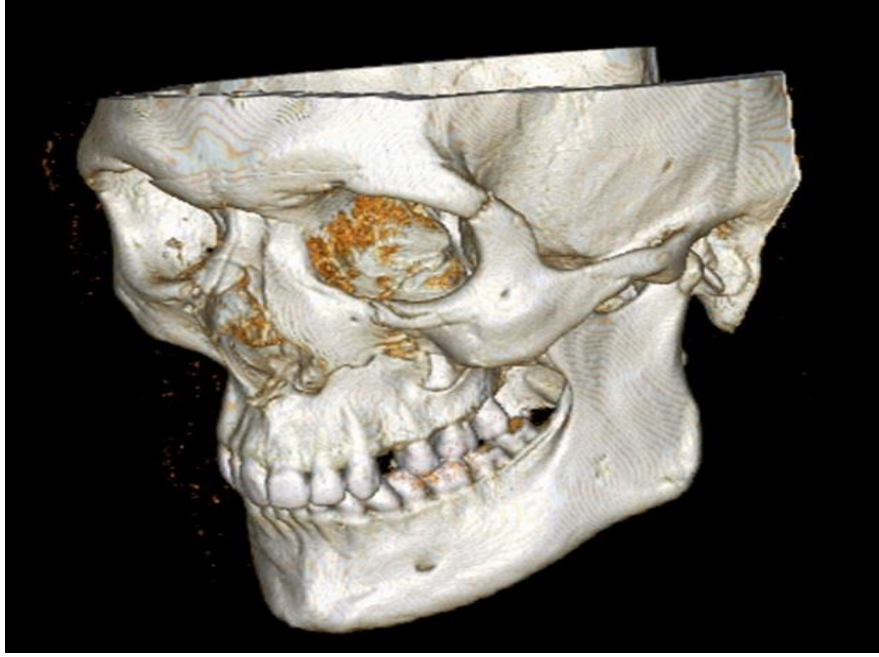
**Şekil 56.** Sol oksipital kemik ve sol mandibula kırıklarının 3D-BT ile rekonstrüksiyonu.

Şekil 57'de sağ zygomatik arkta parçalı deplase kırığın 3D-BT'de 2DMPR ve VRT tekniği ile rekonstrüksiyonu.



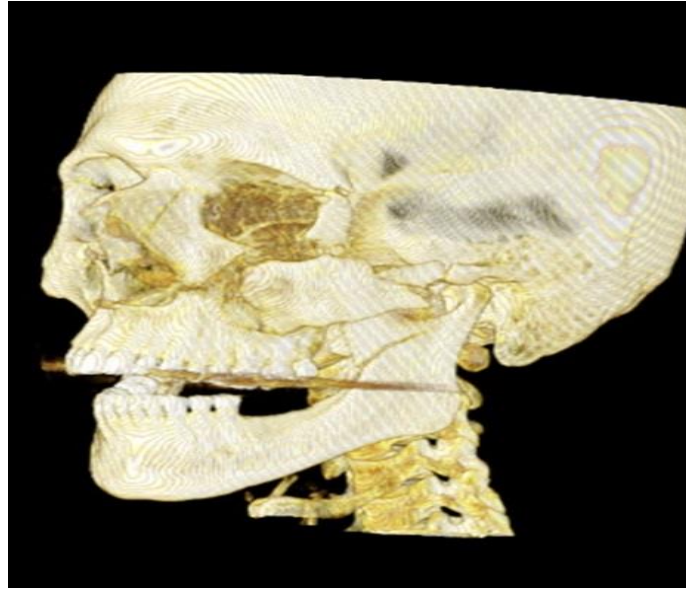
Şekil 57. Sağ zygomatik arkta parçalı deplase kırığın 3D-BT'de rekonstrüksiyonu.

Şekil 58'de sol orbita lateral ve inferior duvarında, maksillada lineer fraktür hatlarının 3D-BT'de 2D MPR ve VRT ile rekonstrüksiyonu.

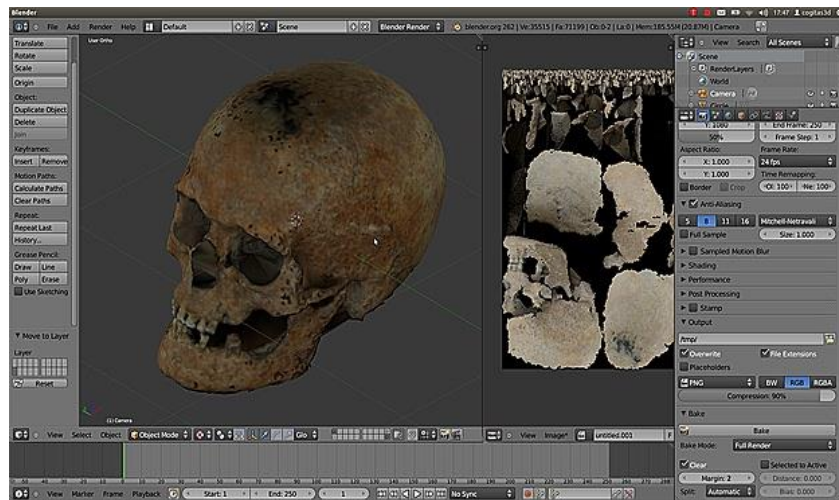


**Şekil 58.** Sol orbita lateral ve inferior duvarı, maksilla lineer fraktür hatlarının rekonstrüksiyonu.

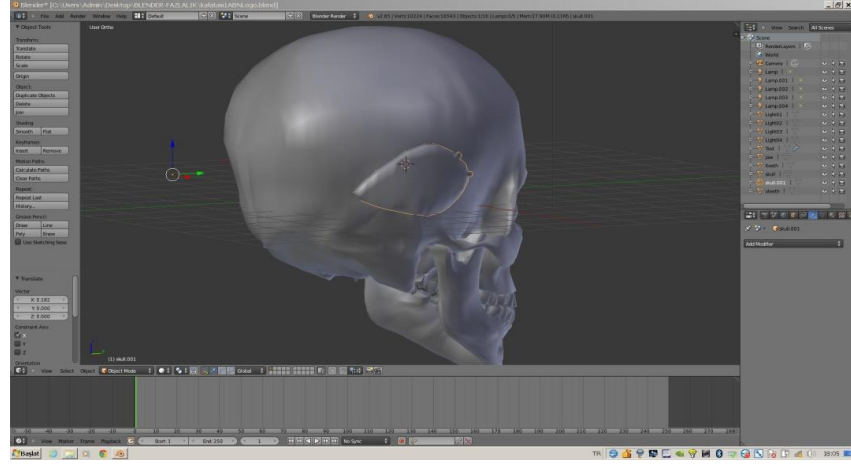
Şekil 59'da sol maksiller kemikte, sol mandibula ramusunda, sol temporal kemikte, sol zygomatic arkta, nazal septumda, orbita lateral duvarındaki deplase fraktür hatlarının 3D-BT ile 2D MİP ve VRT tekniği kullanılarak rekonstrüksiyonu.



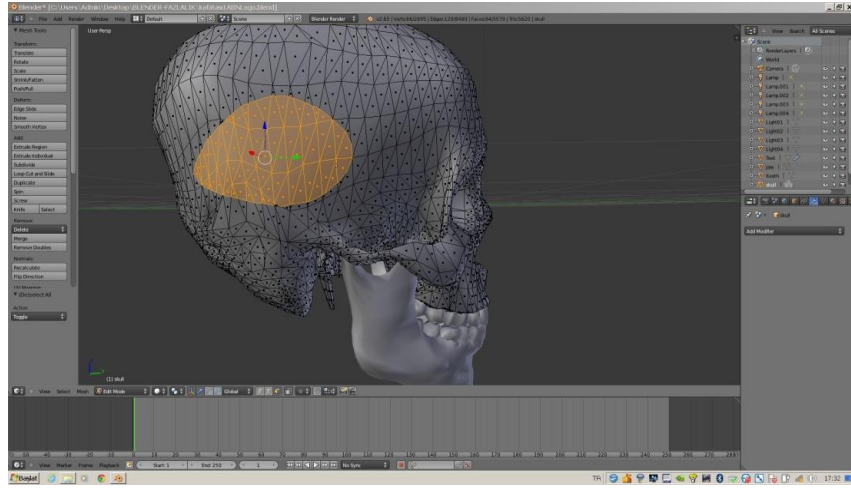
Şekil 59. Yüz kemik kırıklarının 3D-BT ile rekonstrüksiyonu.



Şekil 60. Kemiklerin blender programında meshlenmesi.



Şekil 61. Kafatası kemiklerin blender programında meshlenmesi.



Şekil 62. Kafatasının blender programında meshlenmesi

## 5. TARTIŞMA

Etkisini yaşamın her alanında hissettiğimiz teknolojik gelişmeler adli tıp rutininde de yavaş da olsa farklı yöntemlerin filizlenmesini tetiklemektedir. Adli hekimin çalışma alanında tıp biliminin nesnel teknik alt yapısı ile hukuk sisteminin soyut düşünce yapısı bulunmaktadır. Adli hekim bu iki disiplin arasında köprü vazifesi görmektedir. Bu nedenle adli hekimin olaylara bakışı hem nesnel hem de öznel olabilmektedir. Tıp bilimi gerçek adalet için hukuk sistemine yardımcı olurken içinde barındırdığı tüm disiplinlerin hem yargı sistemi için hem de yargılanan kişiler için açıklayıcı ve anlaşılır olması gerekmektedir. Bu nedenle en iyi açıklama ve anlatma yöntemi olayların görselleştirilmesidir.

3D/CAD ortamı ile radyolojinin kombinasyonu gözlemcinin bağımsız görüş belirtmesini, subjektif olmaması, non-invazif olması, bulguların uzun yıllar dijital ortamda saklanması ve internet üzerinden başka kişilere/merkezlere transferi gibi konularda büyük avantaj sağlamaktadır (66).

3D yüzey/ortam tarama işlemleri oldukça kolay ve kısa bir tanıtım ve pratik sonrası tüm hekimler tarafından uygulanabilir. Olay yeri rekonstrüksiyonu gibi büyük ölçekli alanların küçük dosya formatlarına dönüşümüne olanak sağlamaktadır. Dataların birleştirilmesi ve yorumlanması ileri bilgi düzeyi isteyen bilgisayar programlarının kullanımını gerektirmektedir. Postmortem 3D yüzey tarama, olay yeri 3D rekonstrüksiyonu veya yaralanmaya neden olan suç aletinin 3D modellenmesi iyi bir deneyim gerektirmektedir (59).

Radyolojik görüntüleme yöntemlerinin adli tıp uygulamaları açısından önemi tartışılmaya uzun bir süre daha devam edecektir. Görüntüleme yöntemlerinde her geçen gün artan teknolojik gelişme otopsinin yerini başka bir yöntemin alıp almayacağı konusunda adli hekimlerin kafasını sürekli meşgul etmektedir. Radyolojik görüntüleme yöntemleri özellikle BT gibi, otopside mediastinal shift, pnömotoraks gibi sonuçları göstermede oldukça başarılıdır. Ancak küçük kanama alanları, sütürler, dış muayene gibi daha ayrıntılı konularda yetersiz kalmaktadır. Adli hekimler için BT'nin önemli bir kullanım alanı medikal alanda olmayan kişilerle olan iletişimi görselleştirerek basit bir hale getirmesidir. Kemik kırıklarının, yaranın trasesinin, vücuttaki yabancı cisimlerin pozisyonun 3D modellenmesi polisler, avukatlar, savcılar ve hakimler için oldukça açıklayıcı olmaktadır. Bu sayede disiplinler arası iletişim sayesinde davanın seyri olumlu bir şekilde değişmektedir (76).



Kesitsel görüntüleme yöntemleri adli tıpta basamak basamak ilerlemelere neden olmuştur. Klasik X-Ray konvansiyonel yöntemler yerini 3D görüntüleme yöntemlerine bırakmaktadır. Özellikle sürekli tartışma konusu olan virtopsi projelerinde 3D modelleme sürekli gündeme gelmektedir. BT ile yapılan tüm vücut taramaları uzun bir zaman alırken MSCT birkaç dakikada tüm vücut yüzeyini taramaktadır. Voksel değerlerinde yapılan analog ayarlar ile istenilen vücut bölgesinin anında 3D modellemesi oluşturulabilecektir. Örneğin değerlendirmek istenilen bir kemik parçası herhangi bir diseksiyon işlemine gitmeden hem yüzeyi hem de hacmi değerlendirilebilmektedir. Taranan vücut bölgeleri daha sonra değerlendirilmek üzere tekrar tekrar dijital kesitler farklı açılardan ve düzlemlerden alınabilmektedir (60).

Adli travmatik olgular genellikle tedavilerinin tamamlanmasına yakın veya tedavileri tamamlandıktan sonra adli hekim tarafından değerlendirilmektedir. Hasta başvurduğu anda olay sırasında oluşan yara kapanmış olmakta ve kırıkları da büyük oranda iyileşmiş olmaktadır. Adli hekime geriye sadece 2 data kalmaktadır, klinisyenin notları ve görüntüleme sonuçları. Klinisyen travmatik olguyu değerlendirirken yaranın boyutu ve şeklini, kırık paternini ya da kemik parçalarının dağılım şekli üzerine odaklanmamaktadır. Bizlere bu aşamada olay anında çekilen BT ve MRG görüntüleri önemli bilgiler sunmaktadır. Ancak BT ve MRG'de oluşan kısıtlılıklar kesit kalınlığının 3D modellemeye uygun olmaması, üst üste binmeler, artefaktlar ve görüntülenen alanın yetersiz olması gibi durumlardır. Stereolithography tekniği gibi yöntemler kullanılarak oluşturulan modelin 3D modellemesi ucuz ve hızlı bir şekilde yapılabilir ve yaralanmanın mekanizmasının kısa bir zaman diliminde anlaşılmasında olanak sağlayacaktır (60).

Yara sınıflaması adli bilimlerin temel konularından biridir. Canlı kişilerde ve postmortem değerlendirmede en önemli konu yaraların iyi bir şekilde tanımlanmasıdır. Her ne kadar yaralar hekimler tarafından tanımlansa da yaraların gerçek ve objektif bir şekilde kalıcı bilgi olarak saklanması gerekmektedir. Fotoğraflama yaraları ölümsüzleştirirse de tüm açılarını ve boyutlarını gerçeğe yakın verememektedir. Örneğin kemiklerde oluşan bir kılıç veya testere yarasının derinliği bilinmeden travmanın şiddeti ve ağırlığını kestirmek çok zordur. Geçmiş yıllarda bu tarz yaralar için elektron mikroskop tarayıcılar önerilmiştir. Bu yöntem hem pahalı, hem uygulanabilirliği zor olmakla birlikte noninvaziv bir yöntem değildir.

Yaraların en iyi şekilde tarif edilebilmesi için analiz sırasında yaranın boyutlarında herhangi bir değişiklik meydana gelmemesi tüm hekimlerin üzerinde

titizlikle yaklaştığı bir konudur. Arkeolojik kalıntılar incelenirken bulunan dokular yılların etkisiyle oldukça hassas ve kırılğan olmaktadır. Herhangi bir müdahaleye ve ölçüme bazen izin vermemektedir. Mümkün ölçüde dokunmadan ve hareket ettirmeden yaralar incelenmeye çalışılmaktadır. 3D dijital optik temassız tarayıcılar yaraların en doğru şekilde incelenmesine ve kayıt altına alınmasına olanak sağlamaktadır.

Sansoni ve ark.ları 2009 yılında 3 vaka üzerinde 3D optik temassız tarayıcıların uygulanabilirliğini incelemişler. Bunun için künt travmaya bağlı cilt lezyonları olan trafik kazası, kafasına metal çubukla vurulan künt kafa travmalı olgu, 3. olguda ise kesici delici alet ve kemiklerinde testere yarası olan olgu değerlendirilmiş. Tüm yaralar 3D dijital optik temassız tarayıcılar ile taranmış. Bu çalışmanın sonunda görmüşler ki 3D optik temassız tarayıcıların bu yaraları değerlendirmede en önemli araç olduğunu, adli alanda yaraları morfolojik özelliklerine göre en iyi ölümsüzleştirilen ve kesici alet ile kemiklerde oluşan testere yaraları gibi yaraları en iyi gösteren yöntem olduğunu görmüşler (77).

Ağır kafa travmalı olguların hastaneye başvuru anlarında tedavi akış şemasını belirlemek için rutin olarak BBT'leri çekilmektedir. Bu görüntüler anında hastane bilgi yönetim sistemi üzerinden PACS'a aktarılmaktadır. DICOM viewer gibi ücretsiz görüntüleme araçları ile bu görüntülere tüm hekimler ulaşabilmektedir. DICOM viewer kullanılarak kafa travmalı olgularda yüzey tarama ve hacim oluşturma işlemleri yapılabilmektedir. Bu sayede bu tür olgularda daha pahalı yöntem olan tarayıcı ile tarama ve pahalı yazılımların kullanımı kısıtlanmış olmaktadır. BBT ile taranan ve 3D modeli oluşturulan kafa travmalı olgularda şu bilgilere ulaşılmaktadır;

- Otopside görüldüğü gibi birbirine komşu, tanıdık, benzer kırıkların 3 boyutlu modeline erişim,
- Kırıkların uzunlukları, köşeleri ve açılarını hesaplama,
- Birden çok travma söz konusu olduğunda travmanın sırasını belirleme,
- Sonuçların mahkeme veya bilirkişi raporunda kolayca görselleştirilmesi (9).

Daly ve ark.larının 2013 yılında yaptıkları bir çalışmada 3D-BT ile otopsi bulguları karşılaştırılmış. Bunun için kaza ile oluşmuş 21 travmalı şahsın ilk önce 3D BT taraması yapılmış ardından sistematik otopsi işlemine geçilmiş. Travma analizi AIS'e (Abbreviated Injury Scale) göre sınıflandırılmış. 3D-BT ile 195 bulgunun 165'i (%85) tespit edilirken otopside 127 (%65) bulgu tespit edilmiş. 3D-BT'nin iskelet

yapılarını sistematik otopsiye göre daha iyi görüntülediği, ancak sistematik otopsinin yumuşak doku analizinde oldukça başarılı olduğu görülmüş. 3D-BT ile vasküler hava embolisi, pnömotaraks gibi patolojiler sistematik otopsiye göre daha iyi değerlendirilmiş. Sistematik otopsinin yapılamadığı durumlarda veya otopsi bulgularını desteklemek, güçlendirmek için 3D-BT görüntülemenin büyük avantajları olduğu görülmüş (78).

Maksymowicz ve ark.ları daha önce edindikleri tecrübelerine göre olay yeri rekonstrüksiyonun orjinaline yakın olmadığını, bir çok kanıtın atlandığını ve elde edilen bulguların yetersiz olduğunu görmüşler. Ayrıca olayın mahkeme tarafından yeniden canlandırılması istendiğinde o bölgede bulunan birçok yapının değişmiş olabileceği ve canlandırmanın eksik kalacağını belirtmektedirler. Olayın görgü tanıklarının dinlediklerinde ifadelerde çoğu zaman tutarsızlıklar olduğunu görmüşler. Bu nedenle olay yeri 3D modellemesi sırasında *Google Maps*, *Google Street View* ve mimari arşivler ile olay anı çekilen kamera görüntüleri ve fotoğraflar incelenerek yeniden olay yeri 3D rekonstrüksiyonuna gitmişler. Tüm datalar yerine konduğunda 5 farklı olay yeri rekonstrüksiyonu oluşturulmuş ve mahkemeye sunulmuş. Alternatif kaynaklar ve grafiksel bilgilerin olay sonrası iyi bir şekilde toplanması ceza davalarının seyrini değiştirmektedir. Olayın başlangıcında kamuya açık çevrimiçi kaynaklardan tüm maddi delillerin toplanması gerekmektedir. Araştırmacı bu dataların güvenilirliğini ve uygulanabilirliğini değerlendirirken temkinli yaklaşmalıdır. Bu sayede mahkemelerde bu bilgiler kullanışlı bir hale gelecek ve hukuksal alanda güvenilirlik artacaktır (69).

Marcel A. Verhoff ve ark.larının 2014 yılında yaptığı bir çalışmada klasik yöntemler ile yapılan osteometrik ölçümler ile ÇKBT ile taranan ve 3D rekonstrüksiyon sonrası yapılan ölçümler karşılaştırılmış. Bunun için 4 adet insan kafatası kullanılmış. 3 uzman klasik yöntemleri kullanmış ve 3 uzmanda 3D ölçüm yöntemlerini kullanmış. Ortaya çıkan sonuçta 3D osteometrik yöntemlerin klasik yöntemlere göre daha uygun olduğu, daha kesin sonuçlar verdiği tespit edilmiş. 3D osteometrik yöntemlerin kemiklerin hacimleri ve içyapıları hakkında (kranial sütürler gibi) daha ayrıntılı bilgiler verdiği görülmüş (66).

Stephan Bolliger ve ark.larının 2005 yılında yaptığı bir çalışmada boynuna ilmi dolayan bir şahıs ilmiğin diğer ucunu bir ağaca bağladıktan sonra aracına biniyor. Hatchback aracın bagaj kapağını açık bırakan şahıs aracı hızla ileri sürmekte ve araçtan dışarı fırlamaktadır. MSCT ile yapılan 3D görüntüleme telem, düşüm izi yüzey taraması yapılarak tespit edilmiş. Ayrıca hyoid kemikte kırık tespit

edilmiş. Cilt altı dokuda ve intramuskuler alanda meydana gelen kanamaların 3D görüntüleme yöntemleri ile tespit edilemediğini ve bunun için en iyi yöntemin MRG olduğunu görmüşler. Otopsinin mahkemece reddedilmesi, yakınlarının istememesi ya da dini nedenlerle yapılamadığı durumlarda MSCT ile yapılan 3D modelleme ve MRG ile yapılan görüntülemenin otopsinin iyi bir alternatifi olabileceği gözlenmiştir (79).

Hosokai ve ark.larının 2013 yılında yaptığı bir çalışmada yaşlı bir kadının yangın sonrası öldüğü bildiriliyor. Dış muayenede kadının postüründe herhangi bir anormallik saptanmamış. Ciltte yer yer hafif dereceli yanıklar olduğu görülüyor. Ancak postmortem BT görüntülerinde ve otopsisinde 11. torasik vertebrada ciddi bir kırık ile servikal lordozis ve torakal hiperkifoz olduğu görülüyor. Polis bu kırığın olası bir cinayete bağlı meydana gelebileceği üzerinde durmakta. Çünkü kadın bulunduğu supin pozisyonda hemen yatağın yanında bulunuyor ve yatağın yüksekliğinin 35 cm olduğu görülüyor. Bu yükseklikten düşen bir kişide bu tarz ciddi bir kırığın oluşmasının mümkün olmadığı düşünülmektedir. Cesedin postmortem BT görüntülerinden 3D modeli oluşturularak antemortem postürü gösterilmiş. Çökük ve kambur omuzların yaşlanmaya bağlı oluşmuş çoklu omurga kompresyon kırıkları sonucu olduğu kanaatine varılmış. 11. vertebra kırığının yangın sırasında kişinin panik halinde yataktan kalkmaya çalışırken yataktan düştüğünü, postür bozukluğu nedeniyle kama şeklindeki 11. vertebranın dayanak noktası oluşturduğunu ve düşme sırasında ciddi kırılma meydana getirdiği anlaşılmış. Olay sonrası polisin yaptığı inceleme sonrası kişinin yaşarken ki postürünün 3D modelde gösterildiği gibi olduğu bildirilmiş (80).

Adli hekimler ve adli antropologlar kitlesel ölümlerde ölüm nedeni, ölüm şekli ve kimliklendirme için birlikte çalışmaktadırlar. Stull ve ark.ları 2014 yılında yaptıkları bir çalışmada tamamen yumuşak dokudan ayrılmış kuru kemiklerde ve yumuşak dokuyu yitirmemiş kemiklerin 3D-BT taraması ile osteometrik ölçümleri karşılaştırmışlar. Bunun için vücuttaki farklı birçok kemiğin kuru halde ve yumuşak dokudan arındırılmamış haliyle 3D-BT ölçümleri yapılmış. Yapılan ölçümler sonrası kuru kemikler ile yumuşak dokudan ayrılmamış kemikler arasındaki osteometrik ölçümler açısından pek anlamlı farklılık bulunmamış. Bunun için kitlesel felaketlerde ölen her kişiye tek tek otopsi yapmanın çok uzun zaman alacağını, bu aşamada çürümenin başlayacağı, bu yüzden 3D-BT modelleme eğer yapılabilirse bu yöntemin kullanılması gerektiğini görmüşler. Ayrıca hacim oluşturma ile osteometrik

ölçümlerin yanı sıra, morfolojik değişiklikler, farklı açılardan inceleme ve başka parametrelerle karşılaştırma olanağı sunmaktadır (81).

Kutsar ve ark.ları 2013 yılında Macaristan'da 400 canlı kişide yüz doku kalınlıklarını BT ve 3D tarayıcılar ile tarayarak yeniden yüzlendirmeye gitmişler. Daha önce hesaplanan yüz doku kalınlıklarının genellikle cesetler üzerinde BT ile ölçüldüğünü görmüşler. Ancak cesetlerde ölüm sonrası yumuşak doku hacminde değişiklik olması ve BT'de oluşan artefaktlar (protezler, sert ve kemik dokunun görüntü kalitesini bozması...vs) nedeniyle gerçeğe yakın değerlerin hesaplanmadığını görmüşler. 400 canlı kişide kafa bölgesinde belirlenen özel bölgeler işaretlenerek yapılan BT ve 3D tarama ile hali hazırda kullanılan yöntemlere göre daha doğru ve objektif değerler bulmuşlar. Bunun sürekli artan bir veritabanı oluşturacağını ve gelecekte de çok rahat bir şekilde kullanılabileceğini öngörmüşler (64).

Koudelova ve ark'larının 2015 yılında Çek Cumhuriyetinde yaptıkları bir çalışmada 12-15 yaş arası çocuklarda yüzlerinde meydana gelen yaşa bağlı değişiklikler 3D yüzey tarama ile değerlendirilmiş. 3D optik yüzey tarama ve modern geometrik morfometrik metodlar birlikte kullanılmış. Bu yaş aralığında yüzde oluşan değişikliklerin en iyi bu yöntemle gösterilebileceğini görmüşler (82).

Yeniden yüzlendirme (facial reconstruction) işlemi uygulandığı günden bugüne kadar birçok farklı metotla gerçekleştirilmiştir. Genellikle manuel metotlar kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde, uluslararası literatürde yayınlanmış, metodolojisi belirlenmiş ve dünyadaki yeniden yüzlendirme uygulayıcıları tarafından bilinen üç metot bulunmaktadır. Bu metotlar; Amerikan Metodu (Doku Kalınlığı Metodu), Rus Metodu (Anatomik Metot), ve Manchester Metodu'dur (Kombine Metot). Amerikan Metodunda yüze ait belirli anatomik noktaların yumuşak doku kalınlık değerleri kullanılırken, Rus Metodu (Anatomik Metot) uygulamalarında yüze ait kasların sırası ile yüze yerleştirilmesi esas alınmaktadır. Manchester metodunda ise doku kalınlığı metodu ve anatomik metodun birlikte uygulanması söz konusu olmaktadır. Manchester metodunu kullananları doku kalınlık işaretlerini kullanmalarının yanında yüze ait kas yapılarını da çalışmalarına dahil etmektedirler (83). Bu metotların kritik noktaları; subjektif dataları veriyor olması, standardizasyon eksikliği, tahminde kısıtlılıklara neden olan kemik yapı ve yumuşak doku arasındaki korelasyonun zayıf olması. Yüz doku kalınlıkları ve yüzdeki organların anatomik pozisyonları da kullanılarak bütüncül bir yaklaşım bilgisayar destekli bir altyapıyla kullanımı son on yılda giderek artmaktadır (84).

Denizli bulunduğu konum itibari ile arkeolojik kazıların sürekli yapıldığı bir ilimizdir. Hitit, Frig, Lid, Ion, Roma ve Bizans gibi medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır. Hierapolis, Laodikya, Tripolis, Herakleia, Attuda ve Colossae gibi 30'a yakın antik şehir, 20'den fazla höyük ve tümülüsleri ile önemli bir uygarlık beşiğidir. Kutsal Hac Yolu olarak bilinen İzmir-Efes yolunun sonunda bulunması da Denizli'yi Hristiyan alemi için oldukça kutsal bir şehir haline getirmektedir. Hz. İsa'nın 12 havarisinden biri olan Aziz Philippus'un burada çarmıha gerilerek öldürülmesi nedeniyle mezarı Hierapolis antik şehrinde bulunmaktadır. Bu nedenle şehirde yapılan kazılar sonrası her yıl çok sayıda tarihi önem taşıyan insan kemikleri bulunmaktadır (85). Arkeolojik kazılar sonrası bulunan insan kemikleri için yeniden yüzlendirme işlemi yapılmaktadır. Bu materyallerin kullanılması sırasında eski metotlarda materyale zarar verilmekte ya da materyallerin bir kısmı kaybolmakta ve çalışma tamamlanamadan bitirilmektedir. 3D tarayıcılar ile bu materyallerin taranması, materyalin özünün korunması sağlanmaktadır. 3D program ortamında bu kemiklerde destrüksiyonlar, artefaktlar giderilmekte ve gerçeğe en yakın sonuç oluşturulmaktadır. Anadolu'da yaşan popülasyonun yüz doku kalınlıkları ölçülerek ortalama bir değerle bu kemiklerde 3D yeniden yüzlendirme yapılabilmektedir. Bu yöntemle bir çok farklı prototip oluşturulmakta, birbiriyle kıyaslanabilmekte ve bağımsız kişiler tarafından incelenip üzerinde daha kolay ve hızlı değişime olanak vermektedir.

Lerma ve ark.ları 2010 yılında İspanya'daki paleolitik mağaralardaki kabartma resimler üzerinde 3D yüzey tarayıcı ve fotogrametri yöntemleri ile bilgi toplamışlar. Bunun için yeryüzü şekil tarayıcıları (Terrestrial Laser Scanning) kullanmışlar. 3D tarayıcı ile elde edilen nokta bulutu halindeki datalar uygun 3D yazılımlara aktarılarak triangüler meshleme uygulanmış. Bu çalışma sonunda arkeolojik kazılarda gün yüzüne çıkan eserlerin hiç orijinal haline dokunmadan 3D bilgilerin toplandığı, lazer tarayıcıların çok kısa bir sürede birçok bilgiyi işlediği görülmüş. Ayrıca elde edilen dataların klasik yöntemlerle elde edilen datalara göre çok daha yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüş. Klasik yöntemlere göre 3D tarayıcıların geometrik ölçümleri daha yüksek doğrulukta ölçtüğü saptanmış (86).

Ateşli silah üretimi dünya pazarında önemli bir paya sahip ve her geçen gün silah üretimi artmakta ve silah kullananlar gün geçtikçe artmaktadır. 3D silah üretimi 2013 yılında Amerika'da gerçekleştirildi ve 3D plastik silah ile ilk mermi çekirdeği atışı yapıldı. Henüz çok yaygınlaşmamış olmasına karşın gün geçtikçe 3D yazıcıların daha çok talep görmesi ve fiyatlarındaki düşüş 3D yazıcının her eve ve

ofise girmesiyle bireyler farklı tasarımlara gideceklerdir. Adli balistik metal silahlar üzerinde yaptığı balistik inceleme plastik veya benzeri maddelerle yapılan ateşli silahların değerlendirilmesine olanak sağlamayacaktır ve yeni bir yöntemi bulmak zorunda kalacaktır. Şuana kadar 3D silahlar üzerinde balistik inceleme yapılmamış olması atış mesafesi, atış artıkları, trase, yara balistiği gibi konularda henüz bir çalışma olmaması bu konunun daha çok incelenmesini gerektirmektedir (87).

Ateşli silah yaralanmalarında spiral BT ve MR'ın kullanılarak 2D MPR ve 3D yüzey oluşturma (SSD) teknikleri ile rekonstrüksiyon, kompleks kafatası kemik fraktürlerini, derin beyin doku yaralanmalarını eksiksiz bir şekilde gösterebilir ve grafiksel datalara dönüştürebilir. MR'ın yumuşak dokudaki vital bulguları ve dokuda ki artış artıklarını da göstermesiyle bu her iki yöntemin birlikte kullanılması herhangi bir diseksiyon işlemi uygulamadan otopsinin birkaç dakika içerisinde yapılmasına gelecekte olanak sağlayacaktır. BT ve MR da her dokunun voksel değeri ayrı olduğu için kontrast ayarı ve segmentasyon işleminden sonra beyin, akciğerler ve diğer iç organlar ayrı ayrı değerlendirilebilecektir. Ayrıca yüzey tarama ile kişilerin yüzleri çok kısa bir zaman diliminde tarandıktan sonra fasiyal kimliklendirme uygulanabilecek ve ceset toprağa gömüldükten sonra eğer ölünün yakınları uzun bir süre sonra bulduysa veya kimliklendirmede ileri dönemlerde herhangi bir şikâyetle bulunmaları halinde tüm bu datalar kullanılabilir, hukuksal süreç daha hızlı işleyebilecektir (88).

3D/CAD destekli fotogrametrik yöntemler adli uygulamalarda yaralanmaya neden olan suç aleti ile yara arasındaki ilişkileri yorumlamada önem kazanmaktadır. Bu yöntemde nesnelere ve yaralar sanal ortamda eşleştirme, çakıştırma rekonstrüksiyonu ile gerçek hayattaki büyüklüğünde ve gerçek şekliyle dökümente edilebilmektedir. Sanal ortamda nesnelere birbirine dokundurulabilir, değiştirilebilir ve hiçbir zaman özgüllüğünü kaybetmezler, bu da ana materyalde herhangi bir değişiklik ve kayıp olmamasına olanak sağlamaktadır (89).

MPR, MİP, MinİP ve VRT gibi üç boyutlu rekonstrüksiyon teknikleriyle kalp ve kalpten çıkan ana vasküler yapılar mükemmel bir şekilde demonstre edilmektedir. Özellikle MİP ve VRT görüntüleri büyük oranda otopside damar yaralanmalarının saptanmasında ayrıntılı diseksiyon işlemi ve diseksiyon sırasında ortaya çıkan damar yaralanmalarının önüne geçmektedir. ÇKBT'nin vasküler lümenle birlikte damar duvarını ve çevre yumuşak dokuları da göstermesi konvansiyonel anjiyografiye olan en önemli üstünlüğüdür.

## 6. SONUÇ/ÖNERİLER

Ülkemizde üç boyutlu teknoloji şuan dek görmesi gereken hızı ve gelişimi gösteremedi. Tüm dünyada teknolojik olarak 3D sistemlerin geliştirilmesine yönelik ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Her geçen yılın 3D teknolojisi bir diğerinden ciddi farklılıklar göstermektedir. Sanayi, uzay, mimari gibi değişik alanlarda çok önemli çalışmalar 3D sistemleri üzerinde yapılmaktadır. Medikal çalışmalar yine aynı şekilde gerçekleştirilmekte ve hasta ile hekim arasında ciddi köprüler oluşturmaktadır.

Günümüzde 3. Dünya ülkelerine hekim göndermek mümkün olmamaktadır. Bunun için kişilerin kan tetkikleri hızlı bir şekilde donanımlı laboratuvarlara gönderilmekte ve kişilerin hastalık tablosu çıkarılarak tedavi edilmeye çalışılmaktadır. Buna benzer şekilde hastaların 3D kayıtlarının çıkarılmasıyla internet ağı üzerinden hekimler aynı hasta üzerinde tartışıp yorumlar yapabilmektedirler. Her ameliyat aynı şekilde yapılamamaktadır ve her hekim karşılaştığı tecrübeleri dünyanın diğer ucundan bir başka meslektaşına gönderebilmelidir.

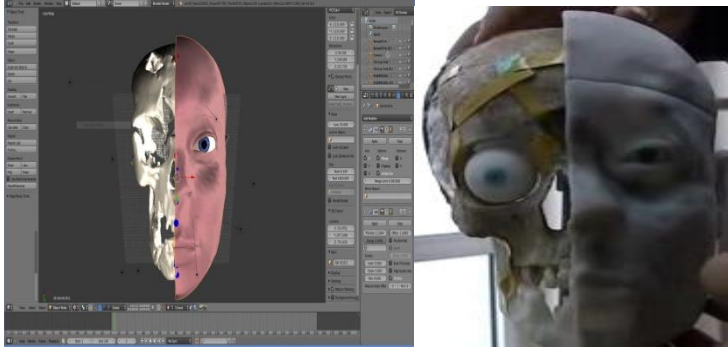
Adli Tıp pratiğinde 3D kayıt alınması hakim, savcı, avukat ve diğer insanlarla hekim arasındaki iletişimi kolaylaştıracaktır. Otopsi sonrası ceset defnedildikten sonra elimizde sadece otopsi raporu ve 2 boyutlu görüntüler kalmaktadır. Otopsi raporu subjektif olabileceği gibi 2 boyutlu görüntülerde farklı açıdan bakma, derinlik, renk gibi konularda yetersiz kalmaktadır. Bunun için 3D kayıt cesetlerin ölümsüzleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Tüm tıp disiplinindeki hekimler için 3D istasyonların kurulması ve en az 3-6 aylık bir zaman diliminde üç boyutlu teknoloji hakkında eğitim almaları onları mesleklerini icra konusunda daha özgün, bağımsız ve objektif olmaya yönlendirecektir. 3D istasyonlarında doktorlar ve mühendislerin birlikte çalışması hasta tedavi akış şemasında gözle görülür değişiklikleri beraberinde getirecektir.

3D alt yapısı kullanılarak Doç. Dr. Bora BOZ başkanlığında yürütülen çalışmada, Bursa Aktopraklık kazılarında elde edilen 8500 yıllık kafatasına ait kemikler rekonstrükte edildikten sonra 3D teknolojisi ve Anadolu popülasyonunun yüz doku kalınlıklarından faydalanılarak yeniden yüzlendirme yapılarak elde edilen materyal 2014 yılında Bursa Arkeoloji Parkına teslim edildi ve şuan sergilenmektedir. Ayrıca 11. Balkan Akademik Adli Bilimler Kongresi'nde "3D Facial Reconstruction From A Skull Of A Female Found In Excavation At Aktopraklık,



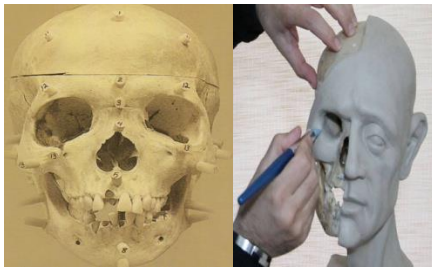
Bursa/Turkey Belongs To 8500 Years Ago” başlığı altında poster bildiri olarak sunulmuştur.



**Şekil 63.** 8500 yıllık kafatasına ait kemiklerden 3D yazılımlar ile 3D tarayıcı kullanılarak yapılan fasiyal rekonstrüksiyon.

Materyalde yeniden yüzlendirme işlemi için yüz doku kalınlıkları kullanılmıştır ancak gerçeğe daha yakın sonuçlar için, özellikle göz rengi gibi daha spesifik morfolojik bulgular mRNA analizi ile belirlenebilir ve gerçeğe daha yakın veriler elde edilebilir.

Anadolu popülasyonunun yüz doku kalınlıklarından faydalanarak gerçekleştirilen başka bir çalışmada yeni “ABAB” metodu geliştirilerek Anadolu’da yaşamış insanlara özgü yeniden yüzlendirme işlemi “Processing of Facial Reconstruction From Skull: ABAB Method (New Model)” adlı çalışma ile 22. Uluslar arası Adli Tıp Akademisi Kongresi’nde (22, Congress of the International Academy of Legal Medicine) bildiri olarak ve 11. Balkan Akademik Adli Bilimler Kongresi’nde poster bildiri olarak sunulmuştur.



**Şekil 64.** Anadolu popülasyonunun yüz doku kalınlıkları ile yeniden yüzlendirme (ABAB Metodu).

## 7. KAYNAKLAR

1. Brogden BG. Forensic radiology. Boca Raton: CRC Press; 1995.
2. Walsh M, Reeves P, Scott S. When disaster strikes; the role of the forensic radiographer. *Radiography* 2004; 10: 33-43.
3. Jamie J. W. Beck, What is the future of imaging in forensic practice, *Radiography* 2011; 212-217.
4. Wullenweber R, Schneider V, Grumme T. A computer-tomographical examination of cranial bullet wounds, *z rechtsmed.* 1977; 80: 227–246.
5. A. G. Filler. The history, development and impact of computed imaging in neurological diagnosis and neurosurgery: CT, MRI, and DTI *Nature Precedings*, 2009.
6. Peddie J, *The history of visual magic in computers*, 2013: p.6
7. Rocha SD, Dalton DLP, Cavalcanti MGP. Applicability of 3D-CT facial reconstruction for forensic individual identification, *Pesqui Odontol Bras.* 2003; 17(1): 24-28.
8. Stark MM. *Clinical forensic medicine [electronic book]: a physician's guide.* Totowa, NJ: Springer Science Business Media, LLC; 2011: p. 3.
9. Grassberger M, Gehl A, Püschel K, Turk EE. 3d reconstruction of emergency cranial computed tomography scans as a tool in clinical forensic radiology after survived blunt head trauma—report of two cases, *Forensic Sci Int.* 2011; 207(1–3): 19–23.
10. Chow K, Shenoi S. (Eds.), *Advances in Digital Forensics VI*, Sixth IFIP WG 11.9 International Conference on Digital Forensics, Hong Kong, China, January 4-6, 2010
11. Dedouit F, Savall F, Mokrane FZ, Rousseau H, Crubézy E, Rougé D, Telmon N, *Virtual anthropology and forensic identification using multidetector CT.* *Br J Radiol.* 2014; 87.
12. Erdemir AD, Başağaoğlu İ. *Radyolojide tarihi gelişmeler ve tıp etiği sorunları (olgu örnekleriyle).* 1. Baskı. 2011; 32-156.
13. Ulman Y, Livadas G, Yıldırım N. The pioneering steps of radiology in Turkey (1896-1923). *Eur J Radiol.* 2005; 306-310.
14. Kuter S. Türkiye’de Radyoloji Biliminin Kuruluş Tarihi. *Türk Onkoloji Dergisi* 2011; 26(1); 2-7.
15. E Tuncel, *Radyolojik Tanıda Temel Kavramlar*, Ders notları, Mayıs 2005. P;3-7
16. Dhawan AP, “Medical Image Analysis”, *IEEE Series in Biomedical Engineering*, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, (2003):2-16.
17. Aşırdizer M, Yavuz MS, Zeyfeolu Y. *Adli Tıp 3. Sınıf Ders Notları.* Manisa 2005.
18. Eisenberg RI, Margulis AR, *A Patient’s guide to medical imaging*, 2011, p6.

19. Guy C, *Fytche D*. An introduction to the principles of medical imaging (Revised Edition), 2005; 72-16.
20. Pfeiffer F, Herzen J, Willner M, Chabior M, Auweter S, Reiser M, Bamberg F. Grating-based X-ray phase contrast for biomedical imaging applications, *Zeitschrift für Medizinische Physik*. 2013; 176–185.
21. Prince JL, Links JM, “Medical imaging signals and systems”, Pearson Prentice Hall Bioengineering. New Jersey, USA:(2006):3-13.
22. Bushberg JR, Seibert JA, Leidholdt EM, Bone JM. “The essential physics of medical imaging”, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA:(2002) 3-82.
23. Prokop M, Galanski M. *Spiral and Multislice Computed Tomography of the Body*, Thieme Verlag. (2007):107 45-83.
24. Keller SS, Roberts N. Measurement of brain volume using MRI: software, techniques, choices and prerequisites. *J Anthropol Sci*. 2009; 127-151.
25. Hübner-Bloder G, Ammenwerth E, Brigl B, Winter A. Specification of a reference model for the domain layer of a hospital information system, *Stud Health Technol Inform*. 2005;116:497-502.
26. Murphy GF, “Computer - Based Patient Record – A Unifying Principle”, E. Health Information Management of a Strategic Resource, W.B. Saunders Company, USA, 1996.
27. Pare G, Trudel MC, Knowledge barriers to PACS adoption and implementation in hospitals, *Int J Med Inform*. 2007 Jan;76(1):22-33.
28. Graham RNJ, Perriss RW, Scarsbrook AF. Dicom demystified: areview of digital file formats and their use in radiological practice, *Clinical Radiology*. 2005; 60: 1133-1140.
29. Fischer A, Multi-level models for reverse engineering and rapid prototyping in remote CAD systems, *Computer-Aided Design*. 2000; 32(1): 27-38.
30. Seiler A, Reverse engineering from uni-directional CMM scan data, *The Int J Adv Manuf Technol*. 1996; 11: 276-284.
31. Görür V, Akdoğan AN, YURCİ M, Optik ölçme yöntemlerinin sac ve plastik parçaların imalatındaki sayısallaştırma, tersine mühendislik ve muayene prosesleri yönünden sağladığı yararlar, [www.turkcadcam.net](http://www.turkcadcam.net), Erişim Tarihi 15 Nisan 2015.
32. Benko P, Ralph RM, Varady T, Algorithms for reverse engineering boundary representation models, *Computer Aided System*, (2001):33 839-851.
33. Jean-Luc Dugelay, Atilla Baskurt, Mohamed Daoudi, *3D Object Processing Compression, Indexing and Watermarking*, England, 2008, p: 5-27.

34. R. Fabio, From point cloud to surface: the modeling and visualization problem, International Workshop on Visualization and Animation of Reality-based 3D Models, Tarasp-Vulpera, Switzerland. 2003(26).
35. Berbercuma G, Üç Boyutlu Tarayıcılar İle Veri Toplanması Ve Cad Ortamına Değişik Formatlarda Aktarılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2006.
36. Maher K. Basic physics of nuclear medicine/three dimensional vizualization techniques, April 2013.
37. Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P, The virtopsy approach, 3D optical and radiological scanning and reconstruction in forensic medicine, London 2009 chapter B3, P:115-131.
38. Bruschweiler W, Braun M, Dirnhofer R, Thali MJ, Analysis of patterned injuries and injury-causing instruments with forensic 3D/CAD supported photogrammetry (FPHG): an instruction manual for the documentation process, Forensic Sci Int. (2003):132 130–138.
39. Banik S, Rangaraj MR, Graham SB, Synthesis lectures on biomedical engineering, 2009: p:9-22
40. Toprak A. Bulanık adaptif medyan filtresi kullanarak tıbbi görüntülerdeki darbe gürültüsünün bastırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara 2006.
41. Castelman RK, Digital Image Processing, Prentice Hall, EnglewoodCliffs, New Jersey, 1996.
42. Image processing toolbox for use with matlab, user's guide, the Mathworks Inc. (1998): 7-18.
43. Özalp M, İmge İyileştirme, 2009, <http://tr.scribd.com>, Erişim Tarihi 15 Mayıs 2015.
44. R. Fabio, From point cloud to surface: the modeling and visualization problem, International Workshop on Visualization and Animation of Reality-based 3D Models, Tarasp-Vulpera, Switzerland. (2003):26 .
45. Baert A, Knauth M, Sartor K, eds, Medical Radiology Diagnostic Imaging, p:31-35
46. Olabarriaga S.D, Smeulders A.W.M. "Interaction in the segmentation of medical images: A survey". Med Image Anal. 2001 Jun;5(2):127-42.
47. Kim DS, Huang H, Dhawan K, Atam P, Medical Imaging and Image Analysis, Singapore : World Scientific, 2008.
48. Bolliger S, Thali MJ, Ross S. Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects. European Radiology (2008); 18(2) 273–282.

49. Brian Evans, Practical 3D Printers, California 2012, chapter 1, p:2-27.
50. Jardini AL, Larosa MA, Filho MR, Zavaglia CAC, Bernardes LF, Lambert CS, Calderoni DR, Kharmandayan P, Cranial reconstruction: 3D biomodel and custom-built implant created using additive manufacturing, Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery. (2014):42 1877-1884.
51. Philipp MO, Kubin K, Mang T, Hormann M, Metz VM, Three-dimensional volume rendering of multidetector-row CT data: applicable for emergency radiology, European Journal of Radiology. (2003):48 33-38.
52. Thali MJ, Braun M, Dirrhofer R, Optical 3D surface digitizing in forensic medicine, 3D documentation of skin and bone injuries, Forensic Sci Int. 137 (2003) 203–208.
53. Thali MJ, Yen K, Vock P, Ozdoba C, Kneubuehl BP, Sonnenschein M, Dirrhofer R, Image-guided virtual autopsy findings of gunshot victims performed with multi-slice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) and subsequent correlation between radiology and autopsy findings, Forensic Sci Int. (2003):138 8–16.
54. Colard T, Delannoy Y, Bresson F, Marechal C, Raul JS, Hedouin V, 3D-MSCT imaging of bullet trajectory in 3D crime scene reconstruction: Two case reports, Legal Medicine. (2013):15 318–322.
55. Maiese A, Gitto L, Matteis AD, Panebianco V, Bolino V, Post mortem computed tomography: Useful or unnecessary in gunshot wounds deaths? Two case reports, Legal Medicine. (2014):16 357–363.
56. Harcke HT, Levy AD, Getz JM, Robinson SR, MDCT Analysis of Projectile Injury in Forensic Investigation, Forensic Radiology, AJR:190, February 2008.
57. Tartaglione T, Filograna L, Roiati S, Guglielmi G, Colosimo C, Bonomo L, Importance of 3D-CT imaging in single-bullet cranioencephalic gunshot wounds, Radiol med. (2012):117 461–470.
58. Thali MJ, Braun M, Wirth J, Vock P, Dirrhofer R, 3D surface and body documentation in forensic medicine: 3-D/CAD photogrammetry merged with 3D radiological scanning, J Forensic Sci, (2003):48.
59. Buck U, Naether S, Ra B, Jackowski C, Thali MJ, Accident or homicide virtual crime scene reconstruction using 3D methods, Forensic Sci Int. (2013):225 75–84.
60. Wozniak K, Wozniak ER, Moskała A, Pohl J, Latacz K, Dybała B, Weapon identification using antemortem computed tomography with virtual 3D and rapid prototype modeling—A report in a case of blunt force head injury, Forensic Sci Int. (2012):222 29–32.

61. Molina A, Martin S, Accuracy of 3d scanners in tooth mark analysis, *J Forensic Sci*, (2015):60-S1.
62. Thali MJ, Braun M, Markwalder TH, Brueschweiler W, Zollinger U, Malik NJ, Yen K, Dirnhofer R, Bite mark documentation and analysis: the forensic 3D/CAD supported photogrammetry approach, *Forensic Sci Int.* (2003):135 115–121.
63. Claes P, Vandermeulen D, Greef SD, Willems G, Suetens P, Craniofacial reconstruction using a combined statistical model of face shape and soft tissue depths: Methodology and validation, *Forensic Sci Int.* (2006):159 147–158.
64. Kustar A, Forro L, Kalina I, Fazekas F, Honti S, Marka S, Friess M, FACE-R—A 3D Database of 400 Living Individuals' Full Head CT- and Face Scans and Preliminary GMM Analysis for Craniofacial Reconstruction, *J Forensic Sci*, 2013.
65. ACAR K, Kan Lekesi Model Analizi, *Türkiye Klinikleri Adli Tıp Dergisi*, 2012 - Cilt 9, Sayı 2.
66. Verhoff MA, Ramsthaler F, Krahahn J, Deml U, Gille RJ, Grabherr S, Thali MJ, Kreutz K, Digital forensic osteology—Possibilities in cooperation with the Virtopsy, *Forensic Sci Int.* (2008):174 152–156.
67. Thali MJ, Yen K, Plattner T, Schweitzer W, Vock P, Ozdoba C, Dirnhofer R, Charred body: virtual autopsy with multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging, *J Forensic Sci*, (2002):47.
68. Sidler M, Jackowski C, Dirnhofer R, Vock P, Thali MJ, Use of multislice computed tomography in disaster victim identification, Advantages and limitations, *Forensic Sci Int.* (2007):169 118–128.
69. Maksymowicz K, Tunikowski W, Kosciuk J, Crime event 3D reconstruction based on incomplete or fragmentary evidence material—Case report, *Forensic Sci Int.* (2014):242 6–11.
70. Koudelova J, Dupej J, Bruzek J, Sedlak P, Velemínska J, Modelling of facial growth in Czech children based on longitudinal data: Age progression from 12 to 15 years using 3D surface models, *Forensic Sci Int.* (2015):248 33–40.
71. Invesalius, Software Publico De Imagens Medicas, <http://svn.softwarepublico.gov>. Erişim tarihi 18 Mayıs 2015.
72. 3D Slicer, [www. http://slicer.org](http://slicer.org). Erişim Tarihi 14 Mayıs 2015
73. Seg3D-Scientific Computing and Imaging Institute, [www.sci.utah.edu](http://www.sci.utah.edu), Erişim Tarihi 1 Nisan 2015.
74. Blender, <http://www.blender.org>, Erişim Tarihi 1 Nisan 2015.
75. Catalystex, [www.http://catalystex.software.informer.com](http://catalystex.software.informer.com), Erişim Tarihi 1 Nisan 2015.

76. Thomsen AH, Jurik AG, Uhrenholt L, Vesterby A, An alternative approach to computerized tomography (CT) in forensic pathology, *Forensic Sci Int.* (2009):183 87–90.
77. Sansoni G, Cattaneo C, Trebeschi M, Gibelli D, Porta D, Picozzi M, Feasibility of contactless 3d optical measurement for the analysis of bone and soft tissue lesions: new technologies and perspectives in forensic sciences, *J Forensic Sci*, (2009):54.
78. Daly B, Abboud S, Ali Z, Sliker C, Fowler D, Comparison of whole-body post mortem 3D CT and autopsy evaluation in accidental blunt force traumatic death using the abbreviated injury scale classification, *Forensic Sci Int.* (2013):225 20–26.
79. Bolliger S, Thali MJ, Jackowski C, Aghayev E, Dirnhofer R, Sonnenschein M, Postmortem non-invasive virtual autopsy: death by hanging in a car, *J Forensic Sci*, (2005):50.
80. Hosokai Y, Usui A, Kawasumi Y, Hayashizaki Y, Funayama M, Saito H, Virtual three-dimensional reconstruction of the antemortem posture by postmortem computed tomography, *Journal of Forensic Radiology and Imaging.* (2013) 215–217.
81. Stull KE, Tise ML, Ali Z, Fowler DR, Accuracy and reliability of measurements obtained from computed tomography 3D volume rendered images, *Forensic Sci Int.* (2014):238 133–140.
82. Koudelova J, Dupej J, Bruzek J, Sedlak P, Velemínska J, Modelling of facial growth in Czech children based on longitudinal data: Age progression from 12 to 15 years using 3D surface models, *Forensic Sci Int.* (2015):248 33–40.
83. Sever M, Adli antropoloji: Yeniden Yüzlendirme Çalışmalarında Mevcut Yumuşak Doku Kalınlık Cetvellerinin Türkiye’de Uygulanabilirliği, (Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Ankara Üniversitesi, 2007.
84. Guyomarc’h P, Dutailly B, Charton J, Santos F, Desbarats P, Coqueugniot H, Anthropological Facial Approximation in Three Dimensions (AFA3D): Computer-Assisted Estimation of the Facial Morphology Using Geometric Morphometrics, *J Forensic Sci*, (2014):59.
85. Denizli İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, <http://www.pamukkale.gov.tr>, Erişim Tarihi: 1 Haziran 2015.
86. Lerma JL, Navarro S, Cabrelles M, Villaverde V, Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpallo as a case study, *Journal of Archaeological Science*, (2010):37 499–507.

- 87.** Walther G, Printing Insecurity? The Security Implications of 3D-Printing of Weapons, *Sci Eng Ethics*, 2014.
- 88.** Thali MJ, Yen K, Vock P, Ozdoba C, Kneubuehl BP, Sonnenschein M, Dirrhofer R, Image-guided virtual autopsy findings of gunshot victims performed with multi-slice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) and subsequent correlation between radiology and autopsy findings, *Forensic Sci Int.* (2003):138 8–16.
- 89.** Thali MJ, Braun M, Brueschweiler W, Dirrhofer R, Morphological imprint': determination of the injury-causing weapon from the wound morphology using forensic 3D/CAD-supported photogrammetry, *Forensic Sci Int.* (2003):132 177–181
- 90.** 3D-DOCTOR User's Manual, 3D Imaging, Modeling and Measurement Software, [www.ablesw.com](http://www.ablesw.com), Erişim Tarihi 16 Mayıs 2015.
- 91.** 3D Digital Imaging and Modeling Laboratory, [www.3dim-laboratory.cz](http://www.3dim-laboratory.cz), Erişim Tarihi 3 Mayıs 2015.
- 92.** Buck U, Kneubuehl B, Nather S, Albertini N, Schmidt L, Thali MJ, 3D bloodstain pattern analysis: Ballistic reconstruction of the trajectories of blood drops and determination of the centres of origin of the bloodstains, *Forensic Sci Int.* (2011):206 22–28.