

# مدل سازی داده های گرفته شده از دستگاه سی تی اسکن به کمک نرم افزار مهندسی پزشکی اینوسالیوس

صادق رنجبر\*، حسین جمشیدی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

\*مسئول مکاتبات: s.ranjbar@birjandut.ac.ir

## چکیده

## واژگان کلیدی

مدل سازی  
micro dicom  
اینوسالیوس  
دیتا خام سی تی اسکن  
ام آر آی  
استخوان  
نمونه سازی سریع

## تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۲/۰۵  
تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۰۹/۳۰

مدل سازی هندسی در فرآیند طراحی و ساخت نقش مهمی دارد و بسیاری از پژوهشگران ایده های خود را به صورت مدل های هندسی مورد تحلیل و آزمایش قرار دادند. مدل سازی هندسی نقش بسزایی در پیشرفت های صنعتی و علوم مهندسی دارد. در سال های گذشته در زمینه مدل سازی اعضا بدن انسان فعالیت های زیادی انجام شده است. در این پژوهش روشی برای مدل سازی استخوان از عکس های سی تی اسکن ارائه شده است. در این روش پس از اسکن استخوان مورد نظر با دستگاه سی تی اسکن داده خام مربوط به هر استخوان که شامل تعدادی مقاطع در سه جهت کرنال، محوری و ساجیتال است، در حافظه دستگاه سی تی اسکن ذخیره شده و بعد از استخراج این داده ها با استفاده از نرم افزار Micro Dicom که یک نرم افزار تبدیل کننده است پسوند فایل را به Dicom تغییر داده تا بتوان در نرم افزار اینوسالیوس اجرا کرد. در نهایت با انجام عملیات سه بعدی سازی با این نرم افزار، مدل به دست آمده به صورت فایل stl ذخیره می شود تا با استفاده از روش های نمونه سازی سریع مانند پرینتر سه بعدی مدل ایجاد شده از استخوان ساخته شود.

## ۱ مقدمه

مدل چند پارچه ساختار کل آرنج به استخوان، بافت نرم و پوست تقسیم بندی شده است. مدل آرنج با استفاده از یک نرم افزار، تحت ضربه به صورت ناگهانی قرار می گیرد [۵]. یک مدل المان محدود مجموعه که جنس آن از مواد کامپوزیتی است برای بررسی آسیب های وارده به آن با ۱۵ روش متفاوت که باعث آسیب های مغزی می گردد و در دنیای واقعی وجود دارد بررسی شده است. نتایج بدست آمده از مدل کامپوزیتی به لحاظ اعتبار سنجی بسیار دقیق است. منحنی ضربه وارد به مجموعه بر اساس خطرات و آسیب های مغزی بدست آمده است [۶]. بلیچکو و همکاران [۷] روش بهینه سازی و شناسایی استخوان بازسازی شده با استفاده از توموگرافی رایانه ای را مورد بررسی قرار دادند. سطح استخوان بازسازی شده بر اساس منحنی های مدل به طور خودکار مشخص گردید و نتایج آن توسط سه جراح استخوان با سه مدل استخوان بازسازی مقایسه شده است. ابعاد در حدود ۲/۱۵-۵/۹۸ میلی متر توسط روش دستی و ۱/۹۲-۴/۸۸ میلی متر توسط نرم افزار به دست آمده است. به طور کلی روش خودکار با استفاده از نرم افزار دقیق تر از روش دستی بوده و نتایج آن قابل بازیابی می باشد. کانگ و همکاران [۸] یک روش استاندارد برای برنامه ریزی قبل از عمل تعویض مفصل شکسته با استفاده از نرم افزار Trauma Cad TM را توسعه دادند. این نرم افزار ورود و خروج فایل های بایگانی شده تصویری از ایستگاه های کاری را امکان پذیر می سازد و می تواند با همه سیستم های PACS ادغام شود. به طور کلی الگوهای تولید شده از رادیوگرافی های دیجیتالی ۷۳ بیمار بررسی شده است. در این مطالعه، مدل سه بعدی استخوان انسان از تصاویر بدست آمده با سی تی اسکن جهت انجام

تجسم سه بعدی یک ساختمان آناتومی از عکس های دوبعدی کار مشکلی است. امروزه تلاش های زیادی در زمینه مدل سازی بافت های بدن از عکس های دو بعدی مورد بررسی قرار گرفته است [۱، ۲]. هدف اساسی این مدل سازی ها کمک به پزشکان در امر تشخیص و جراحی است و در زمینه های مختلفی می تواند به آنها یاری برساند. به عنوان مثال مدل سه بعدی کامپیوتری را می توان چرخاند و از زوایای مختلف مورد بررسی قرار داد و نیازی به تجسم ذهنی از سوی پزشک نیست. این مدل می تواند اطلاعات هندسی مورد نیاز را در اختیار پزشک قرار دهد و علاوه بر این در بعضی مدل سازی ها امکان انتقال مدل به یک نرم افزار اجزا محدود جهت تحلیل آن امکان پذیر است. امروزه با پیشرفت تکنیک های نمونه سازی سریع امکان ساخت سریع نمونه های فیزیکی از مدل های پیچیده کامپیوتری فراهم شده است. ساخت پروتزه های سفارشی توسط این تکنیک ها نظر محققین را به خود جلب کرده است [۳، ۴]. اگر بتوان یک مدل سه بعدی را در محیط CAD ایجاد کرد زمینه مناسبی برای طراحی و ساخت پروتزه های سفارشی را فراهم می کند. این مدل ها به راحتی قابل انتقال به نرم افزارهای نمونه سازی سریع است و امکان اصلاح مدل وجود دارد. در تصویربرداری بیولوژیکی پزشکی نمونه مدل آرنج انسان با طراحی به کمک کامپیوتر انجام شده است. تصویربرداری پزشکی مانند توموگرافی رایانه ای و تصویرسازی مغناطیسی به عنوان داده های ورودی مورد استفاده در طراحی یک مدل دقیق از آرنج انسان به کمک رایانه مورد استفاده قرار گرفته است. با تغییر روش ها و پارامترها

آزمایش‌های پزشکی مربوط به ترمیم استخوان و ساخت پروتزهای مصنوعی توسعه داده شده است.

## ۲ روش‌های مختلف نمونه‌سازی

در سال‌های اخیر در زمینه مدل‌سازی فعالیت‌های بسیاری صورت گرفته که با روش‌های قدیمی و پیش پا افتاده انجام شده است. به این صورت که عکس‌های دستگاه سی‌تی‌اسکن را با دوربین به عکس‌های دیجیتال تبدیل می‌کنند و با استفاده از فیلتر میانه کیفیت عکس را بالا می‌برند. برای این کار با دو روش ستونی و سطحی عمل قطعه بندی صورت می‌گرفت و با در کنار هم قرار دادن این مقاطع نمونه سه‌بعدی ایجاد می‌گردید. یکی دیگر از روش‌های انجام شده جدا کردن عکس‌های دو بعدی و چیدن آن‌ها به صورت دورانی در یک محور و تبدیل آن به یک مدل سه‌بعدی است. روش گرفتن ابر نقاط از استخوان، با استفاده از دستگاه CMM است که ابر نقاط مربوط به یک استخوان گرفته شده و در نرم‌افزارهای مخصوص تبدیل به مدل سه‌بعدی می‌گردد. امروزه با پیشرفت علم سعی بر آن است که با شبیه‌سازی جراحی از داده‌های سی‌تی‌اسکن، ام‌آرآی و مدل‌های کامپیوتری درمان را سریع و ساده انجام داد [۹]. با استفاده از نمونه‌سازی سریع در زمینه پزشکی برای پیشگیری از حوادث جراحی، از مدل‌ها و پروتزهای خاص هر بیمار برای شبیه‌سازی و آموزش جراحی استفاده می‌گردد [۱۰]. کاربرد مدل سه‌بعدی استخوان جهت ساخت نگهدارنده مناسب است که برای شخص آسیب دیده می‌توان با تحلیل سیستم هندسی بدن نگهدارنده مناسب برای اندام آسیب دیده را ساخت [۱۱]. چالش‌های تبدیل الگوریتم دو بعدی به سه‌بعدی را می‌توان با بازیابی عمق نسبی اشیا و عدم یکنواخت بودن عمق در یک شیء مشابه را فهمید. روش‌های موجود برای تبدیل الگوریتم دو بعدی به سه‌بعدی و بازسازی آن را می‌توان به دو دسته بازسازی مبتنی بر شکل از  $X$  و  $Y$  بر اساس برخی از ویژگی‌های مشهود مانند سایه بافت، جابجایی و کانون دسته بندی کرد. چنین روش‌هایی بر پایه یک اصل کلی واقع شده است که هنگام مشاهده اطراف مغز از یابنده‌های تشخیص دهنده برای درک عمق استفاده می‌کند، اصل درک عمق به دلیل دید دو چشمی و دید تک چشمی است. اختلاف تصاویر سیستم بینایی دوچشمی کمک می‌کند که شیء در فاصله درست تطبیق داده شود. راهنماهای تک چشمی شامل کانونی و غیر کانونی کردن اختلاف حرکت دید، اندازه، گردان بافت و تجربه‌های قبلی است [۱۲]. مدل‌سازی به روش مدل فان لیزار، اپاروتوس، واندون و کامپایلر غیر ممکن است که یک شبیه‌سازی به نام  $fixator$  (serf) طراحی شده است که در زمینه بهبود آن استفاده می‌شود [۱۳]. نمونه‌سازی سریع از طریق چاپ سه‌بعدی برای کمک به نیروهای کارآموز استفاده می‌گردد و در زمینه پزشکی به علت مقرون به صرفه بودن و سرعت تولید مورد توجه قرار گرفته است [۱۴]. در تکنولوژی پرینتر سه‌بعدی با ایجاد لایه به لایه یک مدل سه‌بعدی ایجاد می‌گردد. اگر از پلاستیک با جنس ABS استفاده شود می‌توان بعد از ذوب پلاستیک و قرار دادن لایه‌ها بر روی هم مدل سه‌بعدی از جنس ABS را تولید کرد و از آن در فرآیندهای کشش، فشار، ضربه و بررسی تحلیل نیروهای وارد بر استخوان استفاده کرد که این

امر کمک زیادی به طراحی ربات‌های انسان‌نما و تولید اندام‌های مصنوعی برای توان بخشی معلولان می‌کند [۱۵]. نمونه تولید شده پتانسیل بالایی برای استفاده در آموزش‌های پزشکی دارد، به طوری که این نمونه‌ها بدون عفونت و آلودگی بوده و دانش‌آموزها، دانشجویان پزشکی و غیره می‌توانند به راحتی آن را به خانه و کارگاه‌های خصوصی برند و در زمینه تحقیقاتی از آن استفاده کنند [۱۶]. پژوهش‌های مختلفی بر نقش بالقوه مدل‌های سه‌بعدی انجام شده است اما بحث مورد نظر چگونگی استفاده از عکس‌های سی‌تی‌اسکن و ام‌آرآی با وضوح بالا برای ایجاد مدل سه‌بعدی است [۱۷]. در تجهیزات پزشکی برای تشخیص از دستگاه‌هایی مانند سی‌تی‌اسکن، ام‌آرآی، سونوگرافی و غیره در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. خروجی این دستگاه‌ها برای سفارش تولید ایمپلنت‌های آناتومی بدن مفید است. ایمپلنت‌های آناتومی بدن فقط در برخی از بیمارستان‌های پیشرفته و مجهز به صورت متناوب توسط سیستم‌های کامپیوتری پیشرفته ذخیره و پشتیبانی می‌شود. نرم‌افزارهای پیشرفته به کمک کامپیوترهای قوی برای حفظ اطلاعات خاص بیمار استفاده می‌گردد [۱۷، ۱۸]. داده‌های اولیه برای ایمپلنت‌های سفارشی از اسکنرهای پزشکی دارای مشکلاتی است که با استفاده از کدهای متلب<sup>۱</sup> توسعه یافته و تصاویر برای بهینه‌سازی نتایج فیلتر شده است. سپس فایل‌های خروجی به نرم‌افزار مبدا وارد شده و مدل سه‌بعدی آناتومی بازسازی می‌گردد. این موضوع قدم‌های اولیه‌ای بر اساس ساخت تصاویر سه‌بعدی را معرفی کرد و همچنین نرم‌افزار بازسازی یک نرم افزار ضروری برای پردازش تصاویر پزشکی است [۱۹، ۲۰].

## ۳ مبانی تئوری

در هر تصویر قسمتی وجود دارد که مورد توجه است. بازسازی تصاویر DICOM از برش‌هایی با دقت بالا در اسکنرها و برش‌هایی موازی-واگرا با کمترین دقت است [۲۱، ۲۲]. بنابراین بازسازی مدل سه‌بعدی متفاوت و دارای تکنیک‌های مختلفی است. با این حال اصل کلی بازسازی سه‌بعدی از عکس‌های دو بعدی است. در بازسازی مشکلاتی وجود دارد که عبارتند از: الف) یک عکس دو بعدی باید دقیق گرفته شود و طبق داده‌های مکانی واقعی ذخیره شود و این امر حجم بالایی را لازم دارد که باید در یک کامپیوتر ذخیره شود.

ب) از تکنیک‌های نمایان‌سازی برای تجسم باید استفاده کرد که برای تصاویر DICOM می‌توان به نمایان‌سازی چندگانه (MPR)، نمایان‌سازی سطحی (SR) و نمایان‌سازی حجمی (VR) اشاره کرد [۲۲، ۲۳].

## ۱.۳ تکنیک MPR

MPR نیاز به محاسبات زیادی ندارد در نتیجه می‌توان در سیستم‌هایی با پیکربندی کم از آن استفاده کرد. با توجه به اینکه تکنیک MPR قابلیت برش را در هر یک از جهات کرنال، ساجیتال و اکسیال<sup>۲</sup> ایجاد می‌کند در هر یک از این جهات عکس‌ها دارای قسمت‌هایی است که به عنوان پایه و معیار می‌توان

<sup>1</sup>MATLAB <sup>2</sup>coronal, sagittal, axial

افزارهای دیگر نیست، در نتیجه باید با استفاده از یک نرم افزار مناسب و انجام فیلترینگ مدل را برای استفاده در نرم افزارهای پزشکی آماده کرد [۲۹]. یکی از روش های موثر برای حل این مشکل استفاده از دستورهای مرتب شده مسئله است و به این دستورها الگوریتم گفته می شود. الگوریتم به یک سری فرآیندهایی گفته می شود که با عملیات های ریاضی مشخص می شود. در علم رادیولوژی نیز از یک نوع الگوریتم استفاده می گردد که این الگوریتم مبنای خود را از درصد تیرگی و روشنی عکس ها گرفته است. این الگوریتم بر اساس نور عبوری از بدن نوع بافت ها را با تیرگی و روشنی مشخص می کند. اطلاعات بدست آمده نوع بافت (استخوان، ماهیچه و چربی) را تعیین می کنند. در تصویر برداری با دستگاه های سی تی اسکن و ام آر آی دو نوع الگوریتم تصویربرداری و بافت شناسی مورد بحث است. خلق یک تصویر سه بعدی قابل ارائه از الگوریتم های متلب با استفاده از تصاویر سی تی اسکن (عکس هایی با مشخصات اطلاعات ریاضی از موقعیت تیرگی و روشنی) قابلیت این نرم افزار است. داده های سی تی اسکن دارای مختصاتی است که با تأیید نوع بافت مورد نظر می توان از بخش هایی که نیاز نیست حذف و بخش مورد نیاز را به صورت یک عکس دو بعدی ذخیره کرد. این قابلیت از دو تکنولوژی الگوریتم MIP و MIN IP بهره می گیرد. در حالت پیشرفته تر می توان با استفاده از این الگوریتم ها و اضافه کردن یک بعد دیگر به آن یک مدل سه بعدی را از خروجی دریافت کرد [۳۰، ۳].

اینوسالیوس دارای چند تابع کاری است که با توجه به آن می توان آنرا به عنوان یک سیستم عامل معرفی کرد که در این سیستم عامل نرم افزار آکان استفاده شده است و با توجه به نیاز می تواند بر روی مدل تغییرات ایجاد نموده و خروجی مورد نیاز را تعریف کند. چند نمونه از این توابع عبارتند از:

۱. تغییر تصاویر.
۲. تقسیم بندی بر اساس برش های دو بعدی وارد شده.
۳. تعریف محدوده های آستانه با توجه به بافت.
۴. نمایان سازی تعریف شده مدل حجمی.
۵. نمایان سازی تعریف شده مدل سطحی.
۶. ذخیره عکس.

بنابراین پس از اتمام مراحل بازسازی مدل سه بعدی از ایمپلنت و تبدیل به فایل stl لازم است تا آن را به یک مدل جامد (ملموس) تبدیل کرد تا بتوان باعث ایجاد رابطه کاری بهتری بین طراح و جراح شد. ساخت مدل ایمپلنت توسط تکنولوژی نمونه سازی سریع بر اساس تصاویر پزشکی در بخش مقدماتی تحصیل رشته پزشکی مناسب است. می توان بر روی آناتومی بدن، پیکربندی و موقعیت مناسب اعضا تحقیق و پارامترهای هندسی استخوان را اندازه گیری و تحلیل کرد [۳۱].

نمونه سازی سریع با ایجاد لایه هایی شکل نهایی را تولید می کند و بر خلاف روش ماشینکاری است که از یک بلوک و برداشتن ماده مدل را تولید می کند. این روش با قرار دادن لایه ها بر روی هم شکل نهایی را تولید کرده و فضای بین لایه ها ۵/۵ تا ۱/۱ میلی متر است. هر چقدر فضای بین لایه ها کمتر باشد کیفیت و دقت محصول بالاتر است. از سیستم های مختلف نمونه سازی سریع که به صورت رایج مورد استفاده قرار می گیرد می توان به موارد زیر اشاره

از آن ها استفاده کرد. در یک سیستم پردازش گاهی برای بهتر شدن کیفیت عکس نیاز است که آن را جابجا کرد و برای بهبود رنگ آن را پردازش کرد. این امر به کاربران کمک می کند دید سه بعدی بهتری به عکس ها داشته باشند [۲۴].

در حال حاضر پردازش تصاویر با کمک رایانه و ترمیم و بازسازی آن در زمینه هایی مانند شبیه سازی، آموزش، اقتصاد و غیره یک روش پر کاربرد است [۲۵، ۲۴].

### ۲.۳ تکنیک SR

تکنیک SR تکنیکی است که در آن یک مدل سه بعدی را قابل مشاهده می کند و با استفاده از برش هایی که از یک اسکنر پزشکی گرفته شده است همسان سازی می گردد. عکس هایی که دارای نقاطی با مشخصات و شدت های یکسان در تمام تصاویر مشترک است با قرار گرفتن روی یکدیگر همسان سازی می گردند. این روش زمانی استفاده می شود که برای مدل سازی بخشی از آناتومی بدن که نیاز به حجم کمی از عکس برداری دارد فاصله بین عکس ها کم و تعداد عکس ها زیاد باشد [۲۵].

### ۳.۳ تکنیک VR

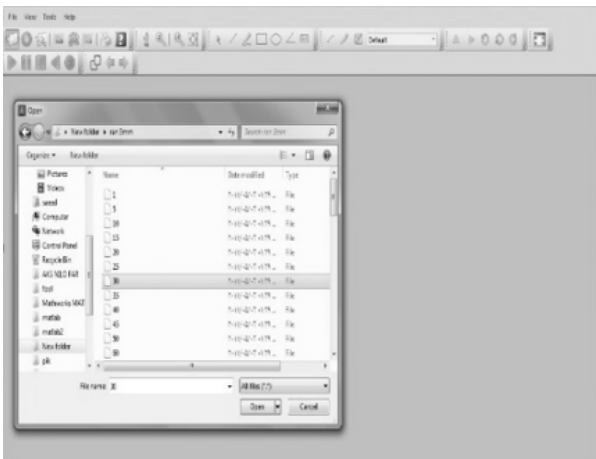
از این تکنیک برای مشاهده عکس های آناتومی پیچیده و دارای حجم زیاد استفاده می گردد. این تکنیک با شدت عبور نور از اندام، تحلیل بافت های نرم و سخت را به صورت سایه-روشن مشخص می کند. با تحلیل این سایه روشن ها یک نقشه پیکسلی از این تصاویر به دست می آید که با بررسی پیکسل ها و قرار دادن آن ها با روشنایی و تیرگی مشابه در هر عکس بر روی یکدیگر یک مدل سه بعدی تولید می گردد. این مدل قابل استفاده در نرم افزارهای تحلیل پزشکی است [۲۶]. یکی از امکانات نرم افزار اینوسالیوس<sup>۳</sup> رابطه کاربردی آن با نرم افزارهای مکانیک و مشابه بودن آن با نرم افزارهای پیشرفته پزشکی حرفه ای است که در آن یک سری از فایل های دو بعدی DICOM بدست آمده از دستگاه سی تی اسکن یا تجهیزات ام آر آی تبدیل به یک مدل سه بعدی پزشکی و کاربردی می شود. تکنیک های جدید پزشکی می توانند تصاویر سه بعدی از مجموعه ای از عکس های دو بعدی ایجاد کنند که این عکس ها از دستگاه هایی مانند ام آر آی، سی تی اسکن، سونوگرافی و غیره بدست می آیند. در تصاویر سی تی اسکن و ام آر آی فاصله بین هر برش متوالی بین ۵/۵ تا ۲ میلی متر است و بدلیل کنتراست بالا نسبت به عکس های بدست آمده از روش های مختلفی برای بازسازی آسانتر و بهتر استفاده شده است [۲۷]. جهت مدل سازی، پیکربندی واقعی در نظر گرفته شده است. در اطلاعات ایزومتریک فاصله بین هر عکس مشخص است و هر عکس با استفاده از مقداری که پیکسل آن عکس دارد در کنار هم چیده شده و تکنیک های نمایان سازی به صورت انتخابی مورد استفاده قرار گرفته است [۲۸]. نرم افزار موجود با استفاده از عکس های DICOM مراحل سه بعدی سازی را انجام داده است. این عکس ها شامل کدهای ریاضی هستند که در آن به علت داشتن نویزهای بسیار زیاد قابل استفاده در نرم

<sup>3</sup>Invsalius

## ۵ فراخوانی داده

کرد:

با وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار فرمت فایل قابل تشخیص نیست، زیرا به صورت پیش فرض این نرم‌افزار برای امنیت و انحصاری نگه داشتن داده‌های خام فرمت آن‌ها را تغییر داده و بدون نام ذخیره می‌کند. در نتیجه برای رفع این مشکل با استفاده از نرم‌افزار Micro Dicom که یک تبدیل کننده قوی است با وارد کردن داده، فرمت آن به Dicom تغییر می‌یابد. در این مرحله از کار می‌توان داده‌های گرفته شده از دستگاه سی‌تی‌اسکن را جهت اجرا در نرم‌افزار مورد نظر آماده کرد که این امر مستلزم تغییر فرمت داده‌ها است زیرا داده خروجی دستگاه سی‌تی‌اسکن دارای فرمت مشخص و قابل اجرا برای این نرم‌افزار نیست. پس برای حل این موضوع داده‌های خروجی دستگاه را که به صورت فایل بر روی یک دیسک ذخیره شده‌است با استفاده از نرم‌افزار Micro Dicom تبدیل به فرمت مورد نظر می‌شود. در مرحله بعد با تغییر فرمت داده‌ها توسط تبدیل‌کننده معرفی شده، فایل‌های مورد نظر در یک پوشه ذخیره می‌گردد و آدرس مشخصی به آن اختصاص می‌یابد تا در مراحل بعدی از آن استفاده گردد. در شکل‌های ۱ و ۲ مراحل وارد کردن دیتای خام به دست آمده و تبدیل آن به فرمت مورد نیاز نشان داده شده است.



شکل ۱: وارد کردن داده خام.



شکل ۲: انجام تغییر فرمت و ذخیره داده.

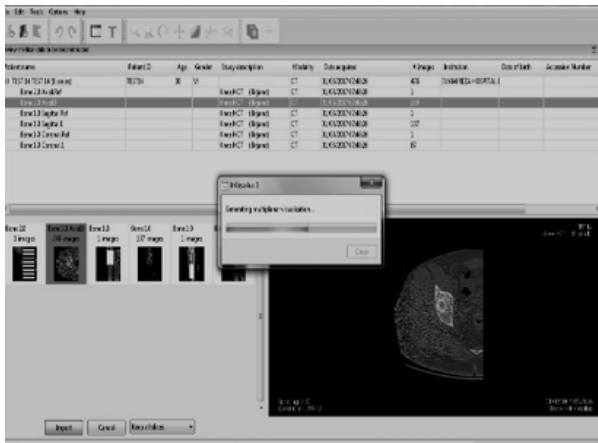
## ۴ روش ارائه شده در این پژوهش

با توجه به پیشرفت علم و صنعت در تمامی زمینه‌ها به خصوص در زمینه‌های پزشکی و مکانیک، ساخت و تولید باعث ایجاد رابطه مستقیم بین این دو علم گشته و در علم پزشکی انجام آزمایش‌ها و تحقیقات بر روی یک نمونه زنده کاری سخت و هزینه‌بر است. اگر از آن نمونه یک مدل سه بعدی دقیق در دسترس باشد باعث می‌شود که بتوان با کمترین ریسک هرگونه آزمایشی را روی آن انجام داد. در این پژوهش سعی بر آن است که با استفاده از مدل‌سازی استخوان بتوان در انجام آزمایش‌های پزشکی مربوطه برای ترمیم استخوان و ساخت پروتزهای مصنوعی بدون آنکه بیمار درگیر آزمایش‌های اولیه شود با ایجاد یک مدل سه بعدی از تصاویر بدست آمده با سی‌تی‌اسکن در آزمایش‌ها، نتایج لازم را گرفت و در انتها درمان را روی بیمار به راحتی انجام داد.

در یک دهه گذشته با استفاده از تصاویر مقاطع بدست آمده از سی‌تی‌اسکن در کنار هم گذاشتن آن‌ها یک مدل سه بعدی را تولید می‌کرد ولی متأسفانه شرح دقیقی از چگونگی ساخت مدل سه بعدی (معیار در کنار هم قرار گرفتن مقاطع) و ساخت نمونه برای استفاده در علم پزشکی به صورت عملی که خروجی مناسبی داشته باشد انجام نشده است.

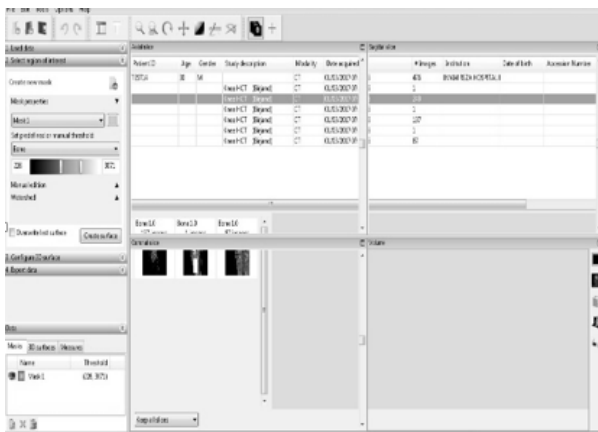
در این مطالعه یافتن بهترین، سریع‌ترین و دقیق‌ترین راه برای ایجاد مدل سه بعدی قابل ساخت با استفاده از فرآیند نمونه‌سازی سریع (بهره گیری از پرینتر سه بعدی) با تحقیقات انجام شده بر روی شیوه کار دستگاه‌های سی‌تی‌اسکن و خروجی داده‌های سی‌تی‌اسکن صورت گرفته است. اگر داده‌های خام خروجی از دستگاه را بتوان مستقیماً تبدیل به مدل سه بعدی کرد در زمان و هزینه صرفه‌جویی می‌شود و همچنین دقت بالاتر و وضوح بهتری نسبت به دیگر روش‌ها دارد. با توجه به اینکه خروجی دستگاه سی‌تی‌اسکن عکس‌هایی با فرمت Dicom است دارای اطلاعات ریاضی و مختصاتی است که با استفاده از یک نرم‌افزار می‌توان اطلاعات آن را استخراج کرد و بر اساس مختصات مربوطه در کنار هم چید و یک مدل سه بعدی ایجاد نمود. نرم‌افزار (invesalius 3.0) این قابلیت را دارد که با گرفتن مقاطع در سه راستای کرنال-محوری-ساجیتال و در کنار هم قراردادن نقاط مشترک مقاطع در این راستاها به یک مدل سه بعدی دست یافت. در این پژوهش سه استخوان لگن، ران و ساق پا مدل‌سازی گردیده است و مدل سه بعدی و فایل‌های قابل ساخت با پرینتر سه بعدی استخراج شده است.

پس از انتخاب یکی از مجموعه دسته‌های نرم‌افزار برای اجرا از شما خواسته می‌شود تا یکی از سه جهت فضای سه‌بعدی که در آن تعدادی از تصاویر وجود دارد را به عنوان مرجع مشخص گردد. جهت اصلی بهترین حالتی است که به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود و دارای بیشترین تعداد عکس است. شکل ۵ مشخص کردن نمای مورد نظر برای طراحی را نشان داده است.



شکل ۵: نمای طراحی.

در گام بعد، وارد محیط اصلی نرم‌افزار شده و جزئیاتی نظیر تعداد مقاطع، تاریخ عکس برداری، محل عکس برداری و اسکتری که از آن استفاده شده است را نشان می‌دهد. سپس از دستور چیدمان مقاطع استفاده می‌گردد. با اجرای این دستور، مقاطع در سه جهت نشان داده می‌شوند و همچنین کاربرد به صورت کامل به تعداد تصاویر و شکل مقاطع در هر جهت اشراف دارد تا از صحت آن اطمینان حاصل کند. پس از اجرای این دستور مقاطع ظاهر شده دارای زمینه سیاه، سفید و سبز است که به صورت دستی تنظیم می‌گردد و می‌توان با استفاده از آن محدوده مورد نظر را انتخاب کرده و بافت را به رنگ سبز تغییر داد تا اینکه نرم‌افزار تمرکز سه‌بعدی‌سازی را بر روی آن قرار دهد. سپس بعد از انتخاب کنتراست مورد نظر با توجه به خروجی مورد نیاز نرم‌افزار شروع به مدل‌سازی می‌کند. در این مرحله در سمت چپ پنجره اصلی نرم‌افزار در قسمت volume نمونه مدل شده را نمایش می‌دهد و این نمونه قابل چرخش است. شکل‌های ۶ و ۷ نحوه انتخاب گزینه‌های مورد نیاز برای طراحی کردن را نشان داده است.

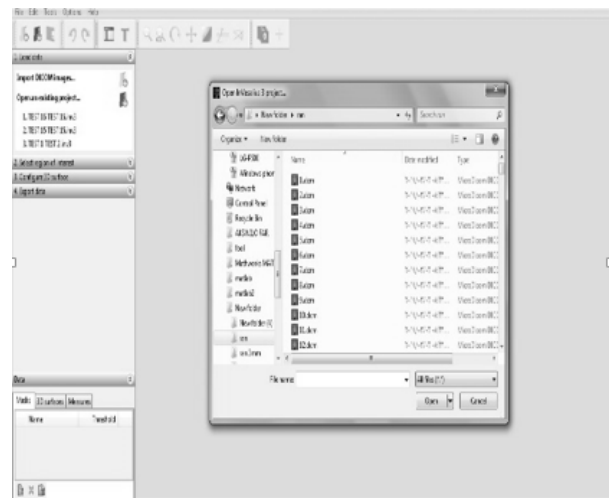


شکل ۶: انتخاب گزینه crit slic برای چیدمان مقاطع.

پس از بدست آوردن خروجی و ذخیره آن، داده‌های مورد نیاز وارد نرم‌افزار اینوسالیوس می‌گردد تا با منطق نرم‌افزار که از مشخصات ریاضی تصاویر دیجیتال بهره گرفته است تمامی قطاع مربوط به هر استخوان در کنار هم چیده شود و پس از نمایان‌سازی مدل سه‌بعدی به دست می‌آید.

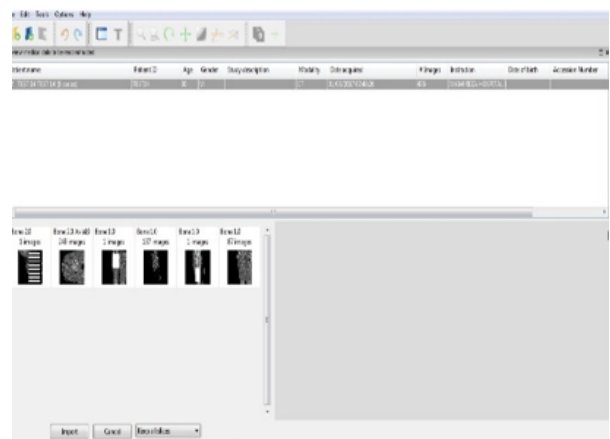
## ۶ مدل‌سازی استخوان ران

پس از ذخیره فایل‌ها در مرحله قبل با اجرای نرم‌افزار اینوسالیوس و وارد کردن تصویر و تأیید آدرس، داده‌های مورد نظر را وارد محیط نرم‌افزار کرده تا داده برای انجام مراحل آماده شود. شکل ۳ نحوه فراخوانی داده خام را نشان می‌دهد.



شکل ۳: فراخوانی داده خام.

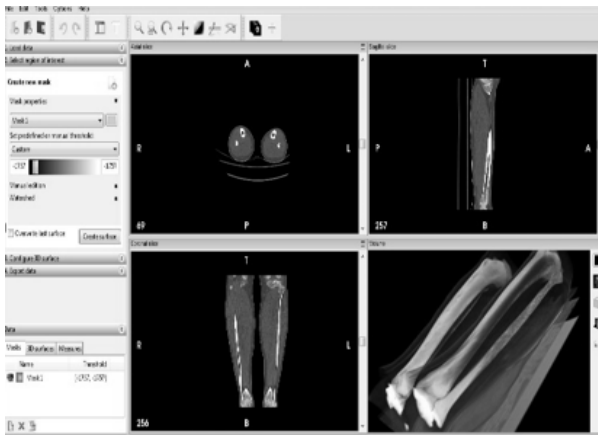
با توجه به شکل نشان داده شده مجموعه عکس‌های ورودی به دسته‌هایی قابل اجرا تقسیم می‌گردد و این عمل به صورت خودکار توسط نرم‌افزار صورت می‌پذیرد. این عکس‌ها با توجه به مشخصات ریاضی مشابه موجود در بانک داده‌ها تقسیم بندی می‌شود و این اجازه را به کاربر می‌دهد که برای انتخاب آزاد باشد. با توجه با آزمایش‌های متعددی که انجام گردید، بهترین جواب از نظر کمی دارای بیشترین تعداد عکس است. شکل ۴ تعریف داده در نرم‌افزار برای طراحی مدل است.



شکل ۴: تعریف داده.

## ۷ مدل‌سازی استخوان ساق پا

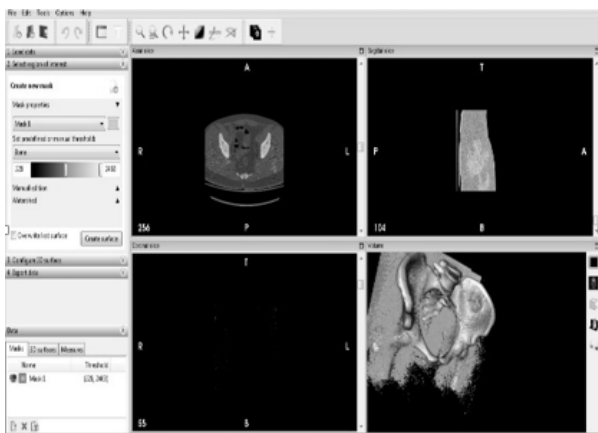
تمامی مراحل برای مدل‌سازی ساق مشابه استخوان ران می‌باشد. در شکل ۹ مدل ساق پای بدست آمده نشان داده شده‌است.



شکل ۹: مدل ساق پا.

## ۸ مدل‌سازی استخوان لگن

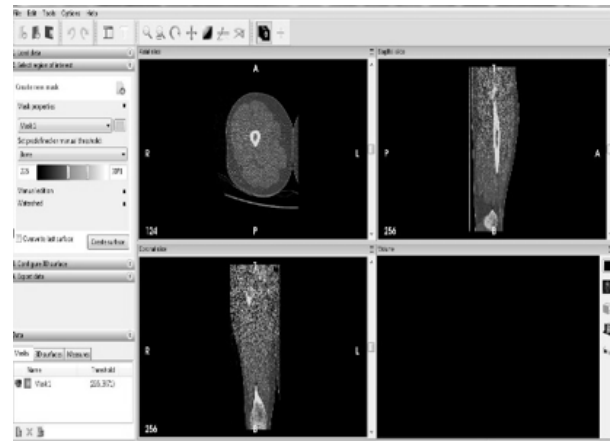
تمامی مراحل مدل‌سازی استخوان لگن همانند استخوان ران است. شکل ۱۰ مدل به‌دست‌آمده لگن انسان با توجه به فیلترهای موجود در نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: مدل به‌دست‌آمده لگن انسان

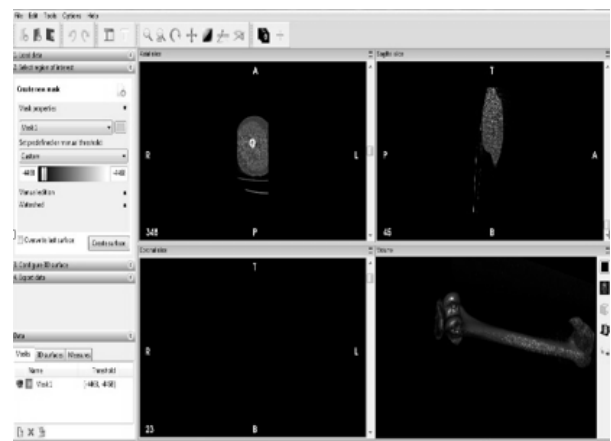
## ۹ عیوب نرم‌افزار

در این نرم‌افزار حتماً باید از مقاطع در سه جهت کرنال-محوری-ساجیتال استفاده کرد. می‌توان از برش‌هایی با ضخامت‌های مختلف استفاده کرد که در این پژوهش از برش‌های ۳ و ۱ میلی‌متری استفاده شده است. برش‌ها با ضخامت‌های بالاتر آزمایش شده است. برای بالا بردن دقت از برش‌هایی با ضخامت کمتر استفاده می‌شود. فایل stl بدست آمده در نرم‌افزارهای طراحی قابل اجرا بوده که به ساخت پروتزهای مصنوعی کمک ویژه‌ای می‌کند، همچنین این فایل را می‌توان با استفاده از روش نمونه‌سازی سریع ساخت. نرم‌افزار به کندی اجرا می‌شود و تعداد نادری از آن در دسترس است. تابعی



شکل ۷: نمایان‌سازی توسط نرم‌افزار.

یکی دیگر از امکانات موجود در این نرم‌افزار امکان انتخاب فیلترهای مختلف بر روی مدل سه‌بعدی است. در این فیلترینگ می‌توان بافت‌های مختلف را انتخاب کرد و بافت‌های غیر ضروری را حذف یا ترکیبی از دو بافت را داشت. از جمله بافت‌های موجود در این فیلترها می‌توان به بافت ماهیچه‌ای، بافت چربی، بافت عروق و شبکه عصبی اشاره کرد. با انجام هر یک از این فیلترها می‌توان بافت مورد نظر را به صورت یک مدل سه‌بعدی ذخیره کرد. داشتن یک مدل کمک می‌کند که در جراحی بتوان موقعیت دقیق محل جراحی را تشخیص داد و با تحلیل بافت‌های دیگر محدوده آسیب دیده را جدا کرد یا اینکه موانعی که در آناتومی بدن برای جراحی مزاحمت ایجاد می‌کند را بتوان تشخیص و برای جلوگیری از آسیب دیدن آن‌ها چاره‌ای اندیشید. از دیگر مزایای داشتن یک مدل سه‌بعدی از یک بافت می‌توان به معاینه بعد از عمل برای اطمینان حاصل کردن از پاره نشدن بخیه‌های داخلی اشاره کرد که پزشک با بهره بردن از این امکان می‌تواند از صحت عملکرد کادر پزشکی اطمینان پیدا کند. در مرحله آخر می‌توان مدل بدست آمده را به صورت یک فایل stl به صورت عکس یا مدل سه‌بعدی ذخیره کرد. در این مرحله کافی است با انتخاب آدرس برای ذخیره‌سازی فایل اقدام کرد. در شکل ۸ استفاده از نمایان‌سازی‌های مختلف و انجام فیلترهای مناسب برای گرفتن مدل مورد نیاز نشان داده شده است.



شکل ۸: انتخاب نمایان‌سازی و فیلتر مناسب.

- DAAAM International Conference on Advanced Technologies for Developing Countries, ATDC'05, 2005.*
- [4] Chelule, KL, Coole, T, and Cheshire, DG. Fabrication of medical models from scan data via rapid prototyping techniques. in *Proceedings of the 2000 Conference on Time Compression Technologies*. Cardiff International Arena, 2000.
- [5] Sintini, Irene, Fitzpatrick, Clare K., Clary, Chadd W., Castelli, Vincenzo P., and Rullkoetter, Paul J. Computational evaluation of tkr stability using feedback-controlled compressive loading. *Journal of Orthopaedic Research*, 36(7):1901-1909, 2018.
- [6] Sahoo, Debasis, Deck, Caroline, Yoganandan, Narayan, and Willinger, Rémy. Development of skull fracture criterion based on real-world head trauma simulations using finite element head model. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 57:24 – 41, 2016.
- [7] Belytschko, T., Kulak, R.F., Schultz, A.B., and Galante, J.O. Finite element stress analysis of an intervertebral disc. *Journal of Biomechanics*, 7(3):277 – 285, 1974.
- [8] Yan Kang, Engelke, K., and Kalender, W. A. A new accurate and precise 3-d segmentation method for skeletal structures in volumetric ct data. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 22(5):586-598, 2003.
- [9] Palter, Vanessa N and Grantcharov, Teodor P. Individualized deliberate practice on a virtual reality simulator improves technical performance of surgical novices in the operating room: a randomized controlled trial. *Annals of surgery*, 259(3):443-448, 2014.
- [10] Rengier, Fabian, Mehndiratta, Amit, Von Tengge-Koblogk, Hendrik, Zechmann, Christian M, Unterhinninghofen, Roland, Kauczor, H-U, and Giesel, Frederik L. 3d printing based on imaging data: review of medical applications. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 5(4):335-341, 2010.
- [11] Caponetti, Laura and Fanelli, Anna Maria. Computer-aided simulation for bone surgery. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 13(6):86-92, 1993.
- [12] Guo, Fan, Tang, Jin, and Peng, Hui. Adaptive estimation of depth map for two-dimensional to three-dimensional stereoscopic conversion. *Optical Review*, 21(1):60-73, Jan 2014.
- [13] Fishman, George. *Monte Carlo: concepts, algorithms, and applications*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [14] Viceconti, M, Sudanese, A, Toni, A, and Giunti, A. A software simulation of tibial fracture reduction with external fixator. *Computer methods and programs in biomedicine*, 40(2):89-94, 1993.
- [15] McMenamin, Paul G, Quayle, Michelle R, McHenry, Colin R, and Adams, Justin W. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3d) printing technology. *Anatomical sciences education*, 7(6):479-486, 2014.
- [16] CYCAS, E. and PLANTS, T. Safety data sheet, 2013.
- [17] Farrior III, Jay B. Home temporal bone dissection: anatomic approaches to ear surgery. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 88(3):310-315, 1980.

برای پیش پردازش اطلاعات تعریف نشده است. اینوسالیوس یک تصویر نیمه اتومات تولید می‌کند و نیاز به رندرهای مختلفی دارد. تقسیم بندی با استفاده از مقیاس هاونسفیلد<sup>۴</sup> انجام می‌شود. این مقیاس تراکم رادیویی را توصیف می‌کند. در این مقیاس مقادیر خالص با توجه به تراکم در منطقه تقسیم می‌شود [۳۳، ۳۴]. بنابراین هوا، چربی، استخوان، عضله و بسیاری از ناهنجاری‌ها ممکن است قبل از تقسیم بندی بر روی تصویر پیدا شود. همچنین بعضی از ناهنجاری‌ها به دلیل سرو صدا و آلودگی‌های اطراف به هنگام عکس برداری باعث ایجاد عیوب در فرآیند شده است. اگر در زمان عکس برداری به کالیبراسیون دستگاه دقت نشود و دستگاه در حالت کالیبره نباشد، شاید در هنگام اسکن بیمار بافت سخت و نرم دارای کنتراست یکسان شود و مشکل ایجاد کند. این امر باعث کنتراست یکسان در بافت سخت و نرم می‌شود. این موضوع در هنگام فیلتر عیوبی مانند حذف بخشی از استخوان به عنوان بافت نرم یا بالعکس حذف بافت نرم به عنوان بافت سخت ایجاد می‌کند و باعث ایجاد ضایعه بر روی استخوان می‌گردد [۳۵، ۳۶].

## ۱۰ نتیجه‌گیری

با توجه به روش ارائه شده می‌توان گفت که این روش راحت‌ترین و دقیق‌ترین روش برای مدل‌سازی استخوان است زیرا در این روش داده خام خروجی دستگاه سی‌تی اسکن مستقیماً تبدیل به یک مدل سه بعدی با پسوند sti می‌شود که باعث بالا رفتن سرعت عمل می‌گردد. این نکته قابل توجه است زیرا در پزشکی سرعت عمل مورد توجه قرار می‌گیرد. ولی در روش‌های قبل، برای اینکه بتوان به نمونه سه بعدی دست یافت زمان زیادی صرف می‌شود که باعث اتلاف وقت و آسیب رسیدن به بیمار می‌شود. در روش ارائه شده دقت ابعادی دستگاه سی تی اسکن بسیار بالا است. فایل خروجی دستگاه را می‌توان به صورت مستقیم مدل کرد که مدل سه بعدی بدست آمده از استخوان دارای دقت ابعادی بالایی هست. از دیگر مزایای این روش سهولت مقایسه دو استخوان در فضای سه بعدی است که کمک ویژه‌ای به تشخیص آسیب استخوان می‌کند. در حال حاضر یک مدل سه بعدی از استخوان‌های لگن، ران و ساق پا جهت ساخت به روش تولید سریع و با کمک پرینتر سه بعدی ارائه شده است.

## مراجع

- [1] Al Qahtani, Waleed M. S. and El-Anwar, Mohamed I. Advanced computational methods in bio-mechanics. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 6(4):742-746, Apr. 2018.
- [2] Ecabert, Olivier, Peters, Jochen, Schramm, Hauke, Lorenz, Cristian, von Berg, Jens, Walker, Matthew J, Vembar, Mani, Olszewski, Mark E, Subramanyan, Krishna, Lavi, Guy, et al. Automatic model-based segmentation of the heart in ct images. *IEEE transactions on medical imaging*, 27(9):1189-1201, 2008.
- [3] Raos, Pero, Stoić, Antun, and Lucić, Mirjana. Rapid prototyping and rapid machining of medical implants. in *4th*

<sup>4</sup>Hounsfield

- [30] Wells, William M, Grimson, W Eric L, Kikinis, Ron, and Jolesz, Ferenc A. Adaptive segmentation of mri data. *IEEE transactions on medical imaging*, 15(4):429-442, 1996.
- [31] Sun, Zhonghua. 3d multislice ct angiography in post-aortic stent grafting: a pictorial essay. *Korean journal of radiology*, 7(3):205-211, 2006.
- [32] Nino-Murcia, Matilde, Jeffrey Jr, R Brooke, Beaulieu, Christopher F, Li, King CP, and Rubin, Geoff D. Multidetector ct of the pancreas and bile duct system: value of curved planar reformations. *American Journal of Roentgenology*, 176(3):689-693, 2001.
- [33] Galantucci, Luigi Maria, Percoco, Gianluca, Angelelli, Giuseppe, Lopez, Carlos, Introna, Francesco, Liuzzi, Claudia, and De Donno, Antonio. Reverse engineering techniques applied to a human skull, for cad 3d reconstruction and physical replication by rapid prototyping. *Journal of medical engineering & technology*, 30(2):102-111, 2006.
- [34] Webb, PA. A review of rapid prototyping (rp) techniques in the medical and biomedical sector. *Journal of medical engineering & technology*, 24(4):149-153, 2000.
- [35] Pretorius, E Scott and Fishman, Elliot K. Spiral ct and three-dimensional ct of musculoskeletal pathology: emergency room applications. *Radiologic Clinics of North America*, 37(5):953-974, 1999.
- [36] Calhoun, Paul S, Kuszyk, Brian S, Heath, David G, Carley, Jennifer C, and Fishman, Elliot K. Three-dimensional volume rendering of spiral ct data: theory and method. *Radiographics*, 19(3):745-764, 1999.
- [18] Suzuki, Mamoru, Ogawa, Yasuo, Kawano, Atsushi, Hagiwara, Akira, Yamaguchi, Hiroya, and Ono, Hidenori. Rapid prototyping of temporal bone for surgical training and medical education. *Acta oto-laryngologica*, 124(4):400-402, 2004.
- [19] Schroeder, William J, Martin, Kenneth M, and Lorensen, William E. The design and implementation of an object-oriented toolkit for 3d graphics and visualization. in *Proceedings of Seventh Annual IEEE Visualization'96*, pp. 93-100. IEEE, 1996.
- [20] Yoo, Terry S. *Insight into images: principles and practice for segmentation, registration, and image analysis*. AK Peters/CRC Press, 2004.
- [21] Pianykh, Oleg S. *Medical Images in DICOM*, pp. 81-114. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [22] Cerini, R, Faccioli, N, Barillari, M, De Iorio, M, Carner, M, Colletti, V, and Mucelli, R Pozzi. Bionic ear imaging. *La radiologia medica*, 113(2):265-277, 2008.
- [23] Fox, Lee A, Vannier, Michael W, West, O Clark, Wilson, Anthony J, Baran, Gregg A, and Pilgram, Thomas K. Diagnostic performance of ct, mpr and 3dct imaging in maxillofacial trauma. *Computerized medical imaging and graphics*, 19(5):385-395, 1995.
- [24] Nghiem, HV, Dimas, CT, McVicar, JP, Perkins, JD, Luna, JA, Winter Iii, TC, Harris, A, and Freeny, PC. Impact of double helical ct and three-dimensional ct arteriography on surgical planning for hepatic transplantation. *Abdominal imaging*, 24(3):278-284, 1999.
- [25] Rao, Narayana Dlv, Singh Gulati, Manpreet, Paul, Shashi Bala, Pande, Girish Kumar, Sahni, Peush, and Chattopadhyay, Tushar Kanti. Three-dimensional helical computed tomography cholangiography with minimum intensity projection in gallbladder carcinoma patients with obstructive jaundice: Comparison with magnetic resonance cholangiography and percutaneous transhepatic cholangiography. *Journal of gastroenterology and hepatology*, 20(2):304-308, 2005.
- [26] Peloschek, Philipp, Sailer, Johannes, Weber, Michael, Herold, Christian J, Prokop, Mathias, and Schaefer-Prokop, Cornelia. Pulmonary nodules: sensitivity of maximum intensity projection versus that of volume rendering of 3d multidetector ct data. *Radiology*, 243(2):561-569, 2007.
- [27] Salvolini, Luca, Secchi, Elisabetta Bichi, Costarelli, Leonardo, and De Nicola, Maurizio. Clinical applications of 2d and 3d ct imaging of the airways—a review. *European journal of radiology*, 34(1):9-25, 2000.
- [28] Diederich, S, Lentschig, M, Overbeck, T, Wormanns, D, and Heindel, W. Detection of pulmonary nodules at spiral ct: comparison of maximum intensity projection sliding slabs and single-image reporting. *European radiology*, 11(8):1345-1350, 2001.
- [29] Sherekar, Rahul Manohar and Pawar, Anand. A MATLAB image processing approach for reconstruction of DICOM images for manufacturing of customized anatomical implants by using rapid prototyping. *American Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 1(5):48-53, 2014.