

شبیه‌سازی و تحلیل المان محدود استخوان فمور بر اساس خروجی تصاویر سی‌تی اسکن بیمار

بهزاد کریم‌خانی^{۱*}، سید علی موسوی^۲، فاطمه نصیری^۳

۱- دانشجوی ارشد مهندسی پزشکی، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۳- دانشجوی ارشد مهندسی پزشکی، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

*b.karimkhani2020@gmail.com

ارسال: دی ماه ۱۴۰۰ پذیرش: بهمن ماه ۱۴۰۰

چکیده

یکی از نیازهای امروزه برای طراحی وسایل کمکی یا اعضای مصنوعی و حتی ساخت پروتز بررسی ساختار اندام‌های همان بدن با استفاده از عکس‌های سی‌تی اسکن می‌باشد که به پزشکان و حتی مهندسان پزشکی امکان بهتری برای خدمات بهتر ارائه می‌دهد؛ به پزشکان برای درمان بهتر و به مهندسان پزشک برای طراحی ارگان بدن، اندام یا پروتز متناسب با همان بدن را می‌دهد و برای طراحی آن پروتزی طراحی می‌شود که متناسب با وزن بدن باشد، که خود باعث می‌شود، از آسیب‌های آینده پروتز در آن بدن که یکی از آنها شکستگی می‌باشد، جلوگیری شود. در این پژوهش ابتدا به آناتومی زانو پرداخته خواهد شد و سپس با استفاده از عکس‌های سی‌تی اسکن فرد مورد نظر در نرم افزار میمیکس طرح سه بعدی استخوان فمور استخراج خواهد شد. سپس به نرم افزار تری متیک انتقال داده خواهد شد. پس از آن که سطح بندی استخوان در نرم افزار تری متیک انجام شد، وارد نرم افزار آباکوس شده و بارگذاری دینامیکی و استاتیکی انجام می‌شود و نتایج با هم مقایسه می‌گردد.

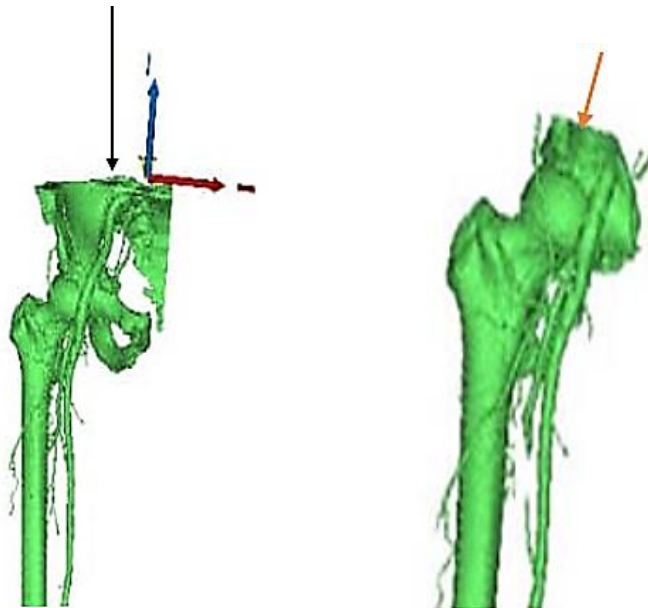
کلمات کلیدی: استخوان فمور، شبیه‌سازی، بارگذاری، آباکوس، میمیکس و تری متیک.

۱- مقدمه

۱-۱- آناتومی زانو

استخوان ران بلندترین، قویترین استخوان در بدن انسان و اولین استخوان اندام تحتانی است که در انتهای فوقانی خود در لگن خاصره قرار می‌گیرد و مفصل ران را به وجود می‌آورد. استخوان ران از بالا در ناحیه حفره حقه ای (استابولوم) با استخوان لگن و از انتها در ناحیه ی زانو با استخوان (درشت نی) ساق پا و به وسیله رباط‌ها با ساق پا (نازک نی) و با کشکک مفصل می‌شود [۱]. مفصل ران از دو قسمت عمده تشکیل شده است. یک گوی یا کره که به آن سر استخوان ران می‌گویند و در واقع قسمت بالایی استخوان ران است (و توسط گردن ران به تنه استخوان ران متصل می‌شود) و یک کاسه گود که قسمتی از استخوان لگن خاصره بوده و به آن

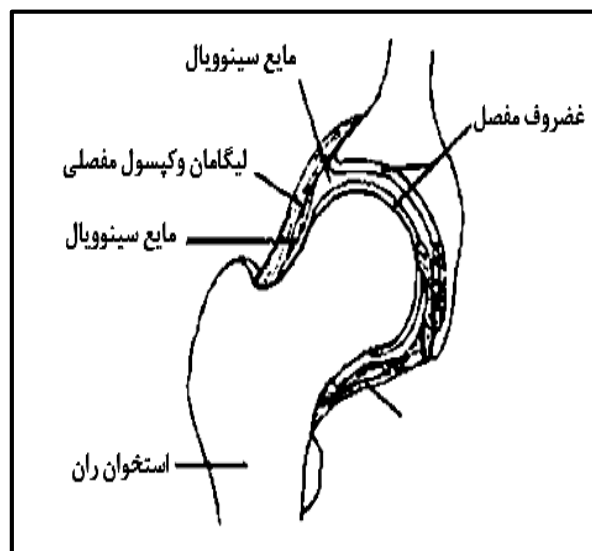
حفره استابولوم می‌گویند. انحناى این گوی و کاسه کاملاً با یکدیگر هماهنگ است به طوری که گوی می‌تواند به راحتی در هر جهتی در درون کاسه حرکت کند و همین امر موجب می‌شود مفصل ران دامنه حرکت زیادی در جهات مختلف داشته باشد، که در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱- استخوان ران و حفره حقه ای، که با فلش مشخص شده است

اطراف لبه حفره استابولوم بافتی محکم به شکل پرده ای قوی به سمت پایین امتداد یافته و به پایین گردن ران می‌چسبند. این بافت که آن را کپسول مفصل ران می‌گویند. سر استخوان ران را درون حفره استابولوم نگه داشته و مانع از بیرون آمدن گوی از کاسه میشود و در واقع به پایداری مفصل کمک می‌کند. بنابراین مفصل ران در اطراف خود به توسط کپسول مفصلی احاطه و محصور شده است. کپسول مفصلی فضای بسته ای را به وجود می‌آورد که درون آن سر استخوان ران و حفره استابولوم قرار دارند، شکل

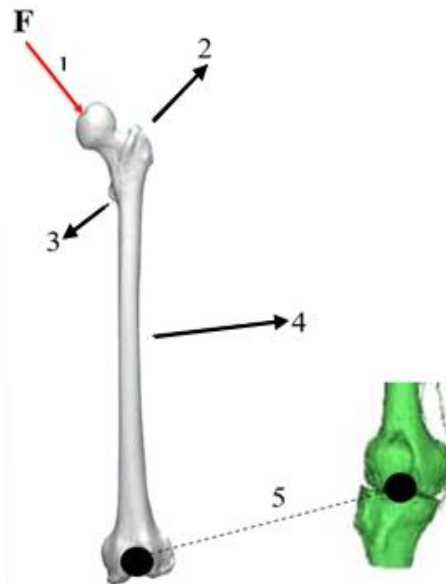
۲.



شکل ۲- نمای کپسول مفصلی، استخوان ران، مایع سینوویال

۲-۱- ساختار اصلی مفصل ران

مفصل ران که مردم به آن مفصل لگن هم می گویند و در بین پزشکان به مفصل هیپ معروف است یک مفصل گوی و کاسه ای است. قسمت گوی آن سر استخوان ران است و قسمت کاسه آن قسمتی از استخوان لگن میباشد که به آن حفره استابولوم می گویند. سر استخوان ران به شکل یک کره گرد و مدور بوده و کاملاً در درون استابولوم که به شکل یک کاسه گود است احاطه شده است. مفصل ران بسیار پایدار است و این پایداری به دو علت است؛ ۱- عمق زیاد کاسه استابولوم که کاملاً اطراف سر استخوان ران را فرا گرفته است. ۲- رباط های محکم و کپسول مفصلی قوی و عضلات پر قدرتی که اطراف مفصل را گرفته اند. استخوان ران بلندترین استخوان بدن است. بالاترین قسمت این استخوان که با لگن مفصل می شود را سر استخوان ران می نامند. سر استخوان ران به شکل گرد و مدور بوده و حالت کروی دارد و به توسط قسمتی از استخوان به نام گردن استخوان ران به قسمت های پایین تر متصل می شود. زاویه بین گردن و تنه استخوان ران مهم بوده و در بعضی بیماری ها تغییر می کند. این زاویه بطور طبیعی در حدود ۱۲۵ درجه است. در پایین تر از سر استخوان ران دو برجستگی دیگر به نام های تروکانتر بزرگ^۲ و تروکانتر کوچک^۳ قرار دارند. این دو برجستگی محل اتصالات عضلات قوی اطراف مفصل ران هستند. به تروکانتر بزرگ عضلات سیرینی یا گلوئتال می چسبند و تروکانتر کوچک محل اتصال عضله ایلوپسواس است [۳و۲].



شکل ۳- ۱) نیرو وارد بر استخوان فمور ۲) برآمدگی بزرگ ۳) برآمدگی کوچک ۴) تنه ۵) محل اتصال استخوان فمور با استخوان تیبیا

۳-۱- غضروف

سطح داخلی حفره استابولوم و سطح خارجی سر استخوان ران با غضروف پوشیده شده است. غضروف بصورت لایه صاف و لغزنده و سفید رنگی است که در مفصل ران در هر طرف حدود ۳ میلیمتر کلفت بوده و وظیفه آن تسهیل حرکت در مفصل است. غضروف مفصلی با ایجاد کردن یک لایه صاف و لغزنده موجب می شود تا استخوان های تشکیل دهنده مفصل به راحتی روی یکدیگر حرکت کنند. این لایه همچنین در ضرباتی که به مفصل وارد میشود شوک ناشی از ضربه را مانند یک کمک فنر جذب می کند.

¹ joint Hip

² trochanter Greater

³ trochanter Lesser

۴-۱- لایه سینوویال

لایه یا پرده سینوویال^۱ یک پرده نازک است که مانند فرش سطح داخلی کپسول مفصلی ران را پوشانیده است. وظیفه این لایه ترشح مایع سینوویال است.

۵-۱- لایه لابروم^۲

یک بافت محکم ولی قابل انعطاف و با قوام لاستیکی است که هم خواص غضروف و هم خواص رباط را دارد. این بافت حلقوی شکل بوده و مانند یک یقه به لبه حفره استابولوم می چسبد. وظیفه لابروم این است که کاسه استابولوم را گودتر و عمیق تر کند و در واقع گودال عمیق تری را، فراهم کند که سر استخوان ران بهتر در آن محصور شود و به این طریق پایداری مفصل ران را بیشتر می کند. کپسول مفصل کپسول مفصل یک پرده بافتی کلفت و محکم به شکل کیسه است که دور تا دور مفصل ران را گرفته است. دو سر این کیسه باز است و در واقع به شکل یک بشکه استوانه ای و بدون دو قاعده بالا و پایین است. دایره بالای این کیسه استوانه ای به دور تا دور حفره استابولوم می چسبد و دایره پایین آن به دور تا دور استخوان ران در نزدیکی تروکانترهای بزرگ و کوچک می چسبد. بدین صورت یک فضای کاملاً بسته بوجود می آید که در درون آن حفره استابولوم و سر استخوان فمور قرار دارند. درون کپسول مفصلی مایع سینوویال قرار دارد [۵ و ۴].

۶-۱- رباط^۳

رباط ها یا لیگامان ها نوار های بافتی کلفت و محکمی هستند که در اطراف و روی کپسول مفصلی ران قرار دارند. یک سر این نوار ها در بالا به لبه استابولوم می چسبد و سر دیگر آنها در پایین به زیر گردن استخوان ران می چسبد. این رباط ها در واقع به روی کپسول مفصل ران چسبیده اند و جزئی از آن شده اند. وظیفه عمده رباط ها این است که اطراف مفصل را محکم بگیرند تا در نرو، که خود باعث پایداری مفصل می شوند. سه رباط مهم در اطراف کپسول مفصل ران قرار گرفته اند. رباط های ایلیوفمورال و پوبوفمورال در جلوی مفصل ران و رباط ایسکیوفمورال در پشت مفصل ران قرار دارند. این رباط ها بیشتر سطح جلویی مفصل ران را تقویت می کنند تا سطح پشتی آن را و به همین دلیل در رفتگی پشتی مفصل ران شایعتر از در رفتگی جلویی آن است. یک رباط محکم دیگر هم در جایی خاص و عجیب قرار دارد. این رباط را که به آن رباط گرد^۴ می گویند، از یک طرف به سر استخوان ران و از طرف دیگر به سطح داخلی حفره استابولوم می چسبد. این رباط موجب می شود سر استخوان ران و حفره استابولوم زیاد از هم دور نشوند، بدون پاره شدن این رباط در رفتگی مفصل ران غیر ممکن است [۶].

۷-۱- بورس^۵

بورس ها کیسه های نازکی هستند که سطح داخلی آن ها با پرده سینوویال پوشیده شده و در درون آنها کمی مایع سینوویال قرار دارد. برای تجسم این ساختمان ها یک کیسه فریزر را در نظر بگیرید که داخل آن کمی روغن مایع ریخته و لبه آنرا دوخته اید. در این وضعیت دو سطح این کیسه فریزر به راحتی روی هم سر می خورند. کیسه بورس هم همینطور عمل می کند. بورس ها در مناطق مختلفی در اطراف مفصل ران قرار گرفته اند. در اطراف مفصل ران حدود بیست بورس قرار دارد. بعضی از آنها بزرگ و بعضی دیگر کوچک هستند. بورس ها در جاهایی قرار گرفته اند که دو ساختمان باید روی هم بلغزند. بطور مثال در محلی که عضلات گلوئتال به تروکانتر بزرگ می چسبند بین این دو یک بورس قرار دارد. این بورس موجب می شود لغزش عضلات بر روی استخوان راحت تر انجام شود [۷].

¹ membrane Synovial

² Labrum

³ ligament

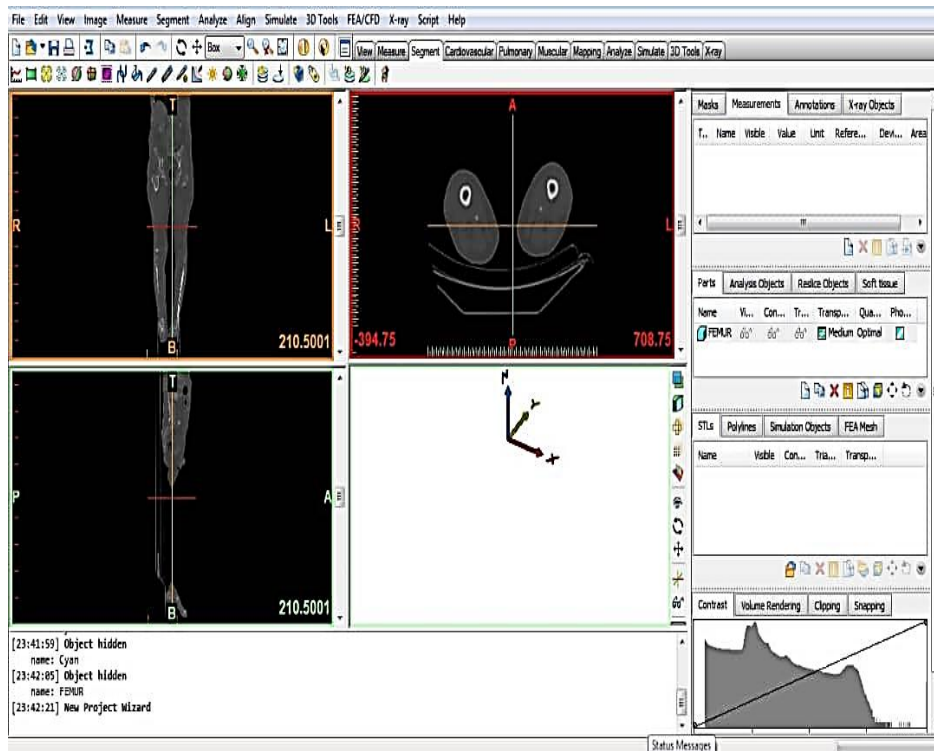
⁴ ligament Round

⁵ Bursa

۲- استخراج استخوان بیمار با استفاده از نرم افزار میمیکس^۱

نرم افزار میمیکس قابلیت های متعددی دارد که از جمله آن می توان به توانایی آن در مش بندی در گونه های متفاوت، امکان انتخاب لایه های تصویر و نوع داده خروجی از نظر فرمت ، امکان مشاهده تصویر به صورت هم زمان در سه برش مختلف و مشاهده تغییرات هر یک حین انجام عمل ویرایش ، امکان حذف نویز در تصویر و امکان اجرای هم زمان چندین فیلتر تصویری و مشاهده تغییرات در لحظه بر مدل مربوط و غیره اشاره کرد. در این پژوهش بررسی استخوان فمور انجام خواهد شد .

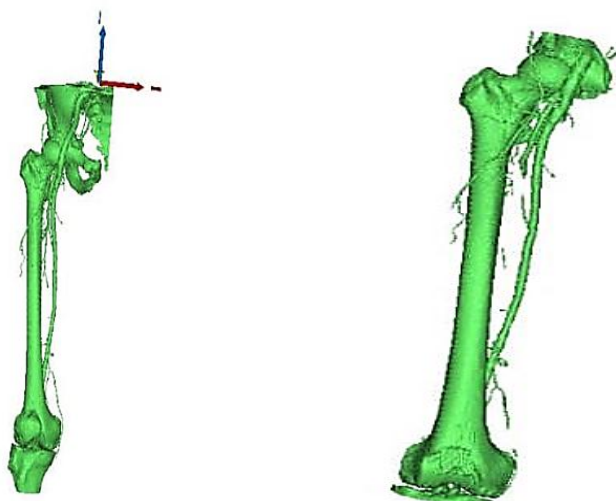
ابتدا عکس های فایل دایکام بیمار به نرم افزار میمیکس [۸] انتقال داده شده است تا مراحل بررسی عکس و مشکلات بیمار نیز صورت گیرد. تصاویر CT استخوان فمور بیمار با استفاده از ویژگی های خاص نرم افزار بامیمیکس ۲۰، پردازش شده است. این مرحله اولیه به طراح ساخت پروتز امکان می دهد ساخت دقیق تری داشته باشد. همچنین به جراح اجازه می دهد تا قبل از هر برش جسمی ، قسمت عمل را بصورت سه بعدی تجسم کند، به این ترتیب می توان استخوانهای خاصی را انتخاب کرد ، آنها را جدا کرد و پنهان کرد ، تا قسمتهای مستقیم در گیر را که باید مورد مطالعه دقیق قرار گیرند، جدا کرد. عناصر پروتز به عنوان پرونده STL در پروژه Mimics وارد شدند تا در تهیه برنامه جراحی مورد استفاده قرار گیرند. این مطالعات موردی قصد دارد مثالی مفید از کاربرد Mimics برای محققان و جراحان باشد. همچنین، امکان تجزیه و تحلیل رایانه در همه مراحل یک مدل سه بعدی مجازی را که نشان دهنده داده های واقعی بیمار است، ارائه می دهد. جراح اجازه می دهد قبل از ایجاد برش واقعی ، با شرایط بیمار سازگار شود [۹-۱۱]. مراحل انجام شده در شکل ۴، آمده است.



شکل ۴- مرحله وارد نمودن عکس های سی تی اسکن در نرم افزار میمیکس

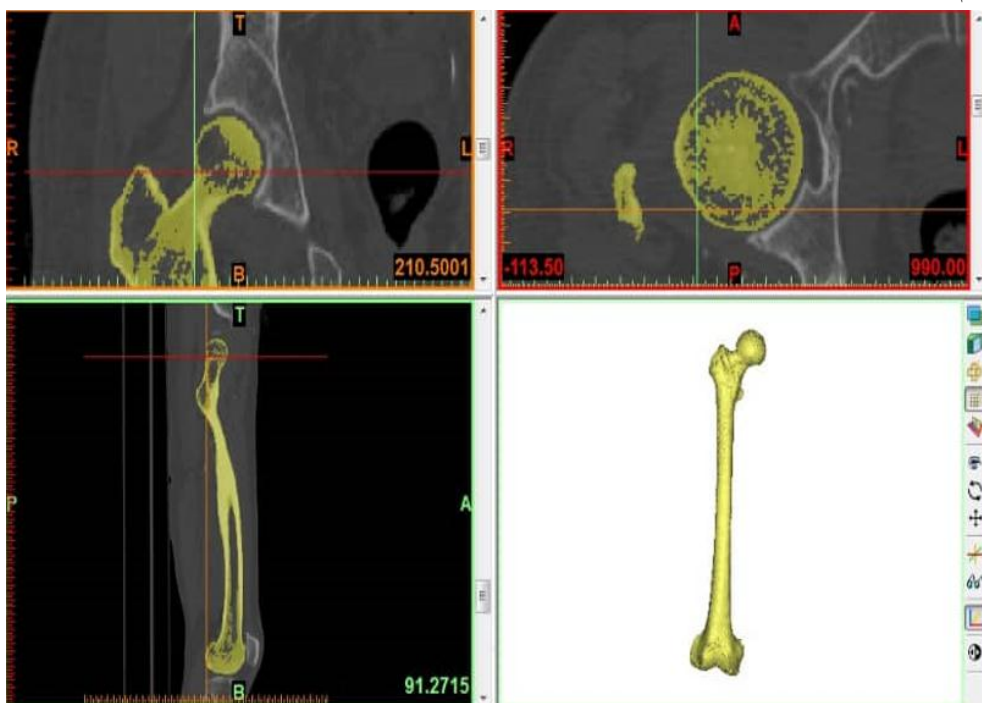
پس از انجام مراحل فوق ، مراحل جداسازی استخوان انجام خواهد شد که در شکل ۵ آمده است.

¹ Mimics Research 20.0



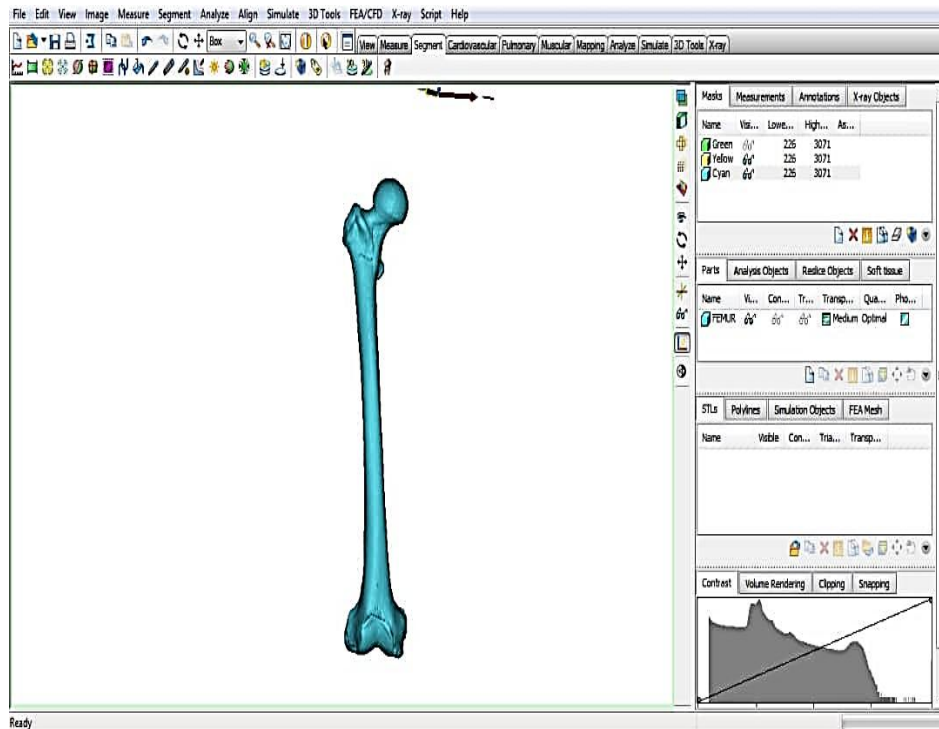
شکل ۵- جدا سازی استخوان فمور با استفاده از نرم افزار میمکس

پس از آن انجام مراحل بعدی ارتز صورت می گیرد که به صورت شکل ۶ به دست خواهد آمد.



شکل ۶- آماده سازی استخوان فمور و ویرایش قسمت های اضافه

پس از آن که ویرایش های لازم صورت گرفت استخوان بیمار نهایی به صورت شکل مقابل به دست خواهد آمد که در شکل ۷ آمده است.



شکل ۷- استخوان نهایی جدا شده در نرم افزار میمیکس

۳- استخراج استخوان بیمار با استفاده از نرم افزار تریمتیک^۱

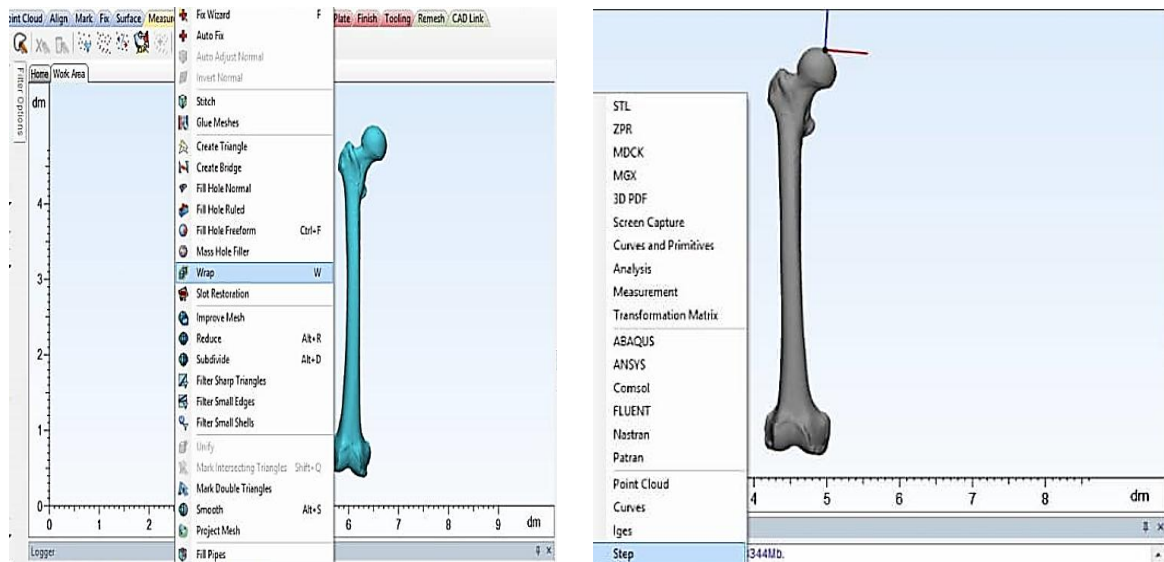
مدلهای سه بعدی ایجاد شده استخوان فمور ایجاد شده در نرم افزار میمیکس قابلیت استفاده در نرم افزار تری متیک را دارند. تری متیک قابلیت بهینه سازی مش های ایجاد شده بر روی جسم را دارد، قابلیت طراحی ایمپلنت منحصر بفرد را در خود دارد و تمامی این عملیات بر روی مدل^۳ بعدی آناتومیکی انجام می شود. به همین دلیل تریمتیک بیشترین دقت و سریعترین راه ممکن برای طراحی ایمپلنت لازم هم برای استخوان فمور را میسر می نماید. سپس این مدل ایمپلنت قابلیت انتقال^۲ به نرم افزارهای^۳ cad و^۴ cae را به منظور ایجاد طرح های متنوع تر و تحلیل المان محدود این مدل ها دارد [۱۳-۱۲]. پس از آن استخوان وارد نرم افزار میمیکس شده ، شکل ۸ و اقدامات لازم جهت ارسال به نرم افزار cad انجام می شود و به آن ارسال می گردد.

¹ 3-matic Research 12.0

² export

³ Computer-aided design

⁴ Computer Aided Engineering



شکل ۸- آماده شدن استخوان فمور برای انتقال به نرم افزار آباکوس

اکنون آماده است تا استخوان فمور به نرم افزار آباکوس انتقال داده شود.

۴- استخراج استخوان بیمار با استفاده از نرم آباکوس^۱

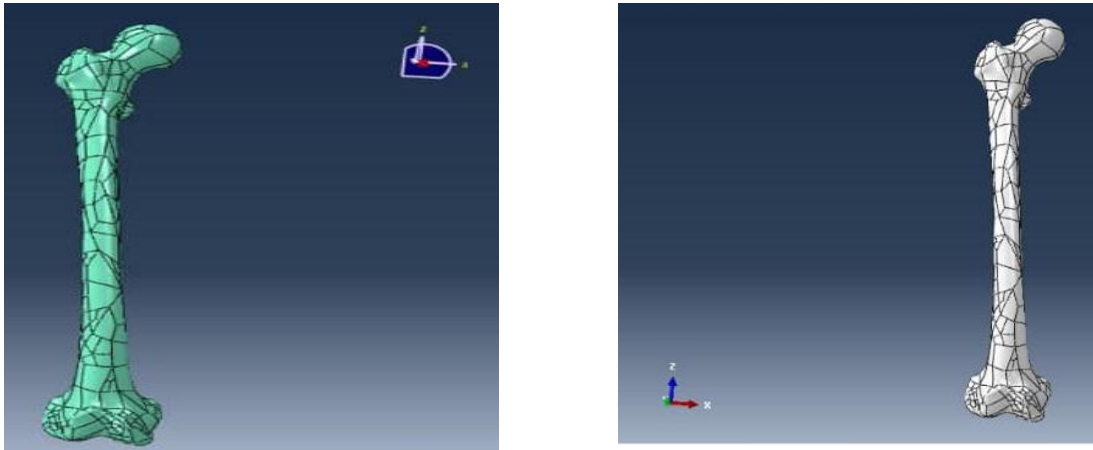
در سال ۲۰۱۷ بینکایی و همکاران، با توجه به ناهمگنی ماده استخوان ران، از نرم افزار و میمیکس^۲ و انسیس^۳ برای تعیین توزیع تراکم مواد معدنی استخوان و خصوصیات مواد از طریق اطلاعات تصویر CT استفاده کردند. این مدل ناهمگن استخوان ران می تواند به سرعت بازسازی شود و پشتیبانی داده و راهنمای نظری برای تشخیص و درمان بیماریهای استخوانی با تجزیه و تحلیل عناصر محدود در شبیه سازی های مختلف، می توان از ویژگی های مکانیکی و نقاط ضعف استخوان ران که برای طراحی و انتخاب مواد پروتز مفید هستند، مطلع شد. یک نرم افزار پردازش تصویر پزشکی برای طراحی و مدل سازی سه بعدی است که توسط مترالایز ن.وی^۴ ساخته شده است. از میمیکس برای ایجاد مدل های سطح سه بعدی از داده های تصویر دو بعدی برای کاربردهای مختلف مهندسی استفاده می شود و برای ایجاد تصاویر پزشکی از آن استفاده کردند، آنها از انسیس برای تحلیل ها مورد نیاز خود استفاده کردند [۱۴]. در سال ۲۰۲۱ کومار و همکاران، ماده استخوان یک ماده زیست ترکیبی طبیعی است. رفتار استخوان تحت بارهای مختلف را می توان با استفاده از تجزیه و تحلیل عناصر محدود که به طور گسترده ای از ابزار عددی برای تحلیل تنش استفاده می شود، تخمین زد. تجزیه و تحلیل تنش استخوان با خواص مواد مناسب و هندسه دقیق یک کار چالش برانگیز است. تعیین استرس دقیق برای تصمیم گیری بالینی در زمینه بیومکانیک ارتوپدی بسیار مفید است. هدف از این کار تهیه مدل جامد استخوان از تصاویر توموگرافی کامپیوتری اسکن شده از انسان است که از یک مرکز مراقبت های پزشکی به دست می آید. تنش فشاری در استخوان قشر مغز تحت شرایط بارگیری مختلف برآورد می شود که با استفاده از بررسی نرم افزاری می توان به آن رسید [۱۵]. پس از انجام مراحل قبل نیز اکنون نوبت به ارسال به نرم افزار آباکوس می رسد، که پس از مراحل قبل این عمل انجام می شود و بارگذاری های لازم روی آن انجام می شود، که نتایج حاصل برای آماده سازی بارگذاری در شکل ۹، آمده است.

^۱ ABAQUS

^۲ Mimics

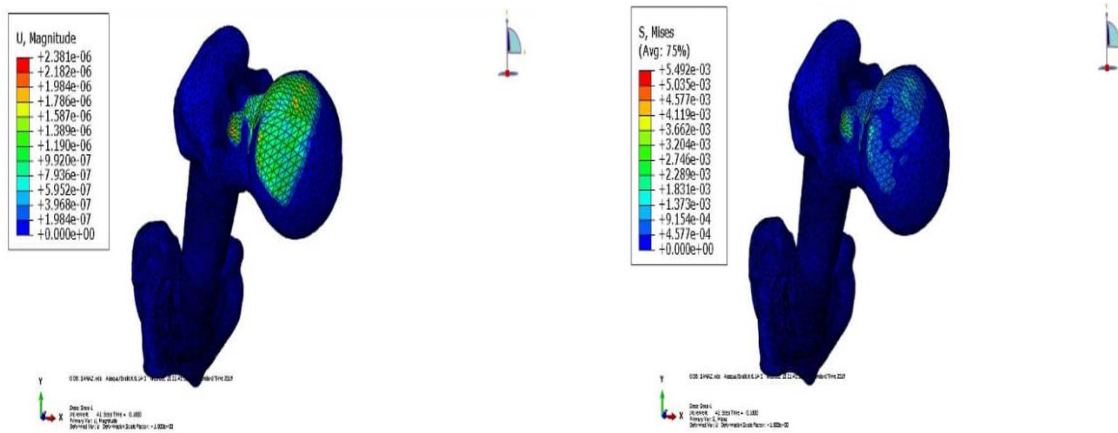
^۳ ANSYS

^۴ Materialize NV



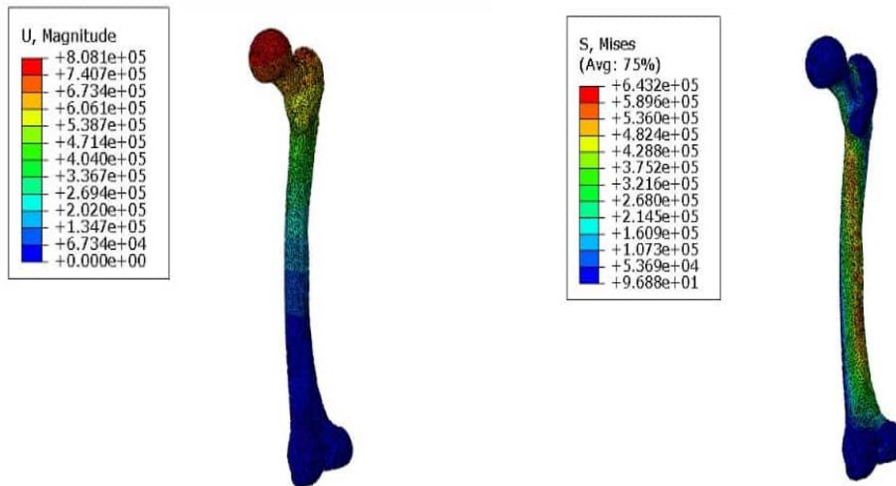
شکل ۹- انتقال استخوان به نرم افزار آباکوس و آماده سازی استخوان برای بارگذاری نیروها

در مدل ناهمگن استخوان ران، تجزیه و تحلیل مکانیکی با اجزای محدود می‌تواند برای شبیه سازی توزیع تنش استخوان ران در شرایط مختلف انجام شود. با استفاده از نرم افزار آباکوس، با تعیین بارهای مختلف، مشخصات تنش استخوان ران را تحت تأثیر نیروی جاذبه و فشار افقی شبیه سازی شده است. برای تجزیه و تحلیل اثر جاذبه، با پایین آمدن جابجایی اندام تحتانی، یک نیروی رو به پایین ۷۵۰ نیوتن به سر استخوان ران وارد شد. همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با این شرایط، نتیجه شبیه سازی نشان می‌دهد از توزیع تنش فون میس نشان داده شده در شکل ۱۰ و تغییر شکل نشان داده شده در همان شکل، می‌توان دریافت که تنش بزرگ بر روی قسمت بالایی شافت ران متمرکز شده است که همان قسمت سر استخوان فمور است.



شکل ۱۰- بار گذاری استاتیکی بر استخوان فمور بیمار

برای شبیه سازی تأثیر ضربه افقی در بارگذاری دینامیکی، نیروها را در جهت افقی ۷۵۰ نیوتن به سه موقعیت استخوان ران وارد شده است. نتایج در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که بیشترین فشار در موقعیت فوقانی استخوان ران بیشتر است، در حالی که تغییر شکل حداکثر در موقعیت میانی بیشتر است.



شکل ۱۱- بار گذاری دینامیکی بر استخوان فمور بیمار

۵- نتایج

با استفاده از نتایج نرم افزاری این پژوهش از آنجا که مدل نا همگن استخوان ران، توزیع تراکم مواد معدنی استخوان و خصوصیات مواد را نشان می دهد، می توان از این داده ها برای تشخیص و پیش بینی شکستگی استخوان فمور استفاده کرد. در تجزیه و تحلیل المان محدود، اثر گرانش و نیروی ضربه را با استفاده از بارهای مد نظر تجزیه و تحلیل شده است که استخوان ران در شرایط بارگذاری قرار گرفت، که خود می تواند جهت طراحی و ساخت و انتخاب مواد پروتز متناسب با بدن این فرد مورد استفاده قرار گیرد.

با مقایسه توزیع استرس، می توان دریافت که ماکزیمم تنش موجود در دو طرف بالا و پایین شافت ران در هر سه شرایط ظاهر می شود. این موقعیت ها هر دو نقاط ضعیف استخوان ران هستند که در آنها شکستگی مستعد بروز است. در طراحی پروتز، قدرت ساختاری موقعیت های ماکزیمم تنش باید در نظر گرفته شود تا از شکستگی های پروتز جلوگیری شود. یکی از مواردی که پژوهش اخیر نشان داد، میتوان نیروهای وارد بر اندام های اسکلتی یک فرد، مثل استخوان فمور را به دست آورد و متناسب با آن پروتز شخصی برای هر فردی ساخته و مورد استفاده قرار گیرد و ضرایب ایمنی لازم برای ساخت ایجاد شود که مشکلات ناشی از شکستگی ایجاد نگردد و تا حد زیادی این مشکلات را کاهش دهد.

۶- منابع و مراجع

۱. کریم خانی، بهزاد و زارع پور، حمید و یعقوبی، سمیه، ۱۳۹۹، طراحی و تحلیل یک نمونه جدید پیچ ارتوپدی برای فیکساتور ترمیم شکستگی استخوان فمور، پنجمین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک و هوافضا، تهران.
2. Vannini V. Pogliani. G. "The Color Atlas of Human Anatomy". Beekman House New York. (1979).
3. LL, J., Lateral capsular ligament complex: anatomical and surgical considerations. Am J Sports Med 7, 1: 979p.156-160, (1979).
4. Keith L. Moor, "Clinically oriented Anatomy", Williams & Wilkins 8 th edition, (2006).
5. A.W. Rogers, "Textbook of Anatomy", Churchill Livingstone, (1992).
6. Richard L. Drake, A. Wayne Vogl, Adam W.M. Mitchell- "Gray's Anatomy for Students 2 th Edition," (2010).
7. Van De Graaff, "Human Anatomy", WBC, M. Graw – Hill – 5 th edition, (1998).
8. Aspar, M. A. S. M., Abd Razak, N. A., Kadir, M. R. A., & Manap, H. (2017). Development of 3 dimensional model of femur bone considering cortical and cancellous structures. International journal of engineering technology and sciences, 4(1), 109-116.
9. Kashi, A.R., Saha, S. and Christensen, R.W. (2007) 'History of TMJ implants, TMJ reconstructive surgery and future research directions', International Journal of Medical Implants and Devices, Vol. 2, No. 2, 66pp.
10. Mimics Student Edition Course Book (2010) Published by Materialise NV as teaching support. Mimics Tutorial (2009) Mimics software help, Materialise NV.

11. Xia, J.J., Gateno, J. and Teichgraeber, J.F. (2005) 'Three-dimensional computer-aided surgical simulation for maxillofacial surgery', in Atlas Oral Maxillofacial Surg. Clin. Am., March, Vol. 13, No. 1, pp.25-39.
12. Li, J., Wang, M., Li, L. et al. Finite element analysis of different configurations of fully threaded cannulated screw in the treatment of unstable femoral neck fractures. J Orthop Surg Res 13, 272 (2018).
13. Zhang, R. Y., Zhao, Y. P., Su, X. Y., Li, J. T., Zhao, J. X., Zhang, L. C., & Tang, P. F. (2021). The Oval- like Cross- section of Femoral Neck Isthmus in Three- dimensional Morphological Analysis. Orthopaedic Surgery, 13(1), 321-327.
14. Zhang, B., Wang, X., Yu, Y., & Zheng, J. (2017). Heterogeneous modelling and finite element analysis of the femur. In MATEC Web of Conferences (Vol. 139, p. 00055). EDP Sciences.
15. Kumar, K., & Prasad, R. B. (2021). Stress analysis of cortical bone of human femur. Materials Today: Proceedings.