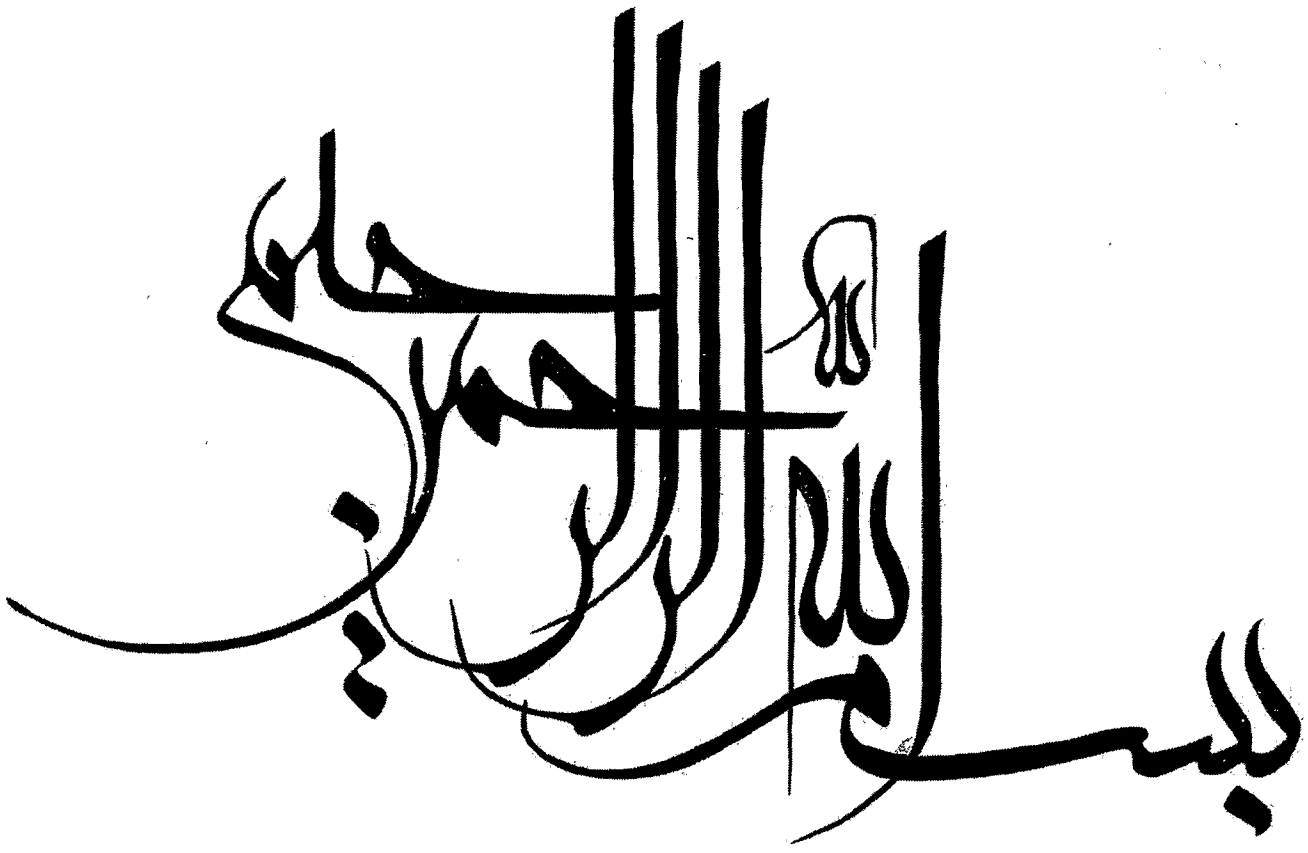
٣٠٩٩



١١٠٠٠

۸۷/۱/۱۰ ۸۷۰۰
۸۸/۲۶

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک– طراحی کاربردی

تحلیل بافت استخوان به کمک روش المان محدود مبتنی بر داده های سیستم برش نگاری کامپیوتری کمی

سید مجید ناظمی

۱۳۸۸ /۱/ ۱۷

استاد راهنما:

دکتر مجید میرزایی

شهریور ۱۳۸۷

۱۱۰۰۰۰

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای **سید مجید ناظمی** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان تحلیل بافت استخوان به کمك روش اجزاء محدود مبتنی بر داده های سیستم QCT** در تاریخ ۱۳۸۷/٦/۲۳ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مجید میرزائی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر غلامحسین لیاقت	استاد	
استاد ناظر	دکتر محمد گلزار	استادیار	
استاد ناظر	دکتر ناصر سلطانی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر غلامحسین لیاقت	استاد	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی مکانیک است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر محمد مرزبان ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ——— و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ——— از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب سید مجید ناظم دانشجوی رشته مکانیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: سید مجید ناظم

تاریخ و امضا: ۱۳۸۷/۱۱/۱۷

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی

دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱٥ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

تقدیم

به پربهاترین گنج‌های گیتی که بودنم مدیون وجودشان و شدنم مرهون شعورشان است:

یگانه آموزگار عشق، فداکاری و محبت، مادرم.

یگانه آموزگار کوشش، ایستادگی و مودت، پدرم.

سپاس

«آن‌که سپاس بندگان را بجا نیاورد، آفریدگار را سپاس‌گزار نبوده»

«و گویند سپاس خدای را که ما را بدین راه رهنمون شد و اگر خدا راهبر نبود، هرگز راه نمی‌یافتیم.» (اعراف، ۴۳)

خداوند والا مرتبه را سپاس که در سایه‌ی توجه‌ها و لطف‌های بی‌کرانش این پایان‌نامه به انجام رسید.

و با سپاس و قدردانی از جناب آقای دکتر مجید میرزایی که مرا به شاگردی پذیرفتند و از رهنمودها، دقت و شکیبایی ایشان، بسیار بهره بردم.

از همه‌ی استادان گرامی‌ام در دانشگاه شیراز و دانشگاه تربیت مدرس به ویژه آقایان دکتر مجید میرزایی، دکتر مجتبی محزون و دکتر محمد اقتصاد، سپاس‌گزارم. مایه‌ی خوشبختی است که در این دوران تحصیلی، افتخار شاگردی استادان فرزانه و دانشمندی چون ایشان نصیبم شد. یاد خوبی‌های این معلمان بزرگوار را هیچ‌گاه فراموش نخواهم کرد.

و با سپاس ویژه از دوست بسیار عزیزم، دکتر احد زینالی، به سبب ارائه اطلاعات و راهنمایی‌های مفیدش، که راه‌گشای کلیدی به انجام رسیدن این پژوهش بوده است؛ دوست عزیزی که تجربیات علمی و اطلاعات خویش را بی‌هیچ منتی در اختیارم نهاد.

از خداوند منان طول عمر و توفیق روزافزون این بزرگواران را در جهت سربلندی فرهنگ و دانش این سرزمین خواستارم.

سید مجید ناظمی ۱۳۸۷

چکیده

نظر به اهمیت نقش شکستگی های مهره ای در افزایش مرگ و میر و کاهش کیفیت زندگی بیماران و به منظور کاهش عوارض برخی مداخلات پزشکی همچون جراحی، مطالعات بسیاری توسط پژوهشگران مختلف در زمینه پیش بینی غیرتهاجمی استحکام صورت گرفته است که عمدتا بر پایه تعیین تراکم متوسط کل استخوان (BMD) با استفاده از روش های جذب انرژی دوگانه و برش نگاری کامپیوتری کمی استوار می باشند. از آنجا که در روشهای معمول، تفاوت هندسه و توزیع غیر یکنواخت تراکم استخوان و ویژگیهای مکانیکی استخوانها در افراد مختلف نادیده گرفته می شود، لذا روش های مذکور غالبا به نتایج قابل قبولی منجر نمی شوند.

در این پژوهش، از روش المان محدود مبتنی برداده های سیستم برش نگاری کامپیوتری کمی (QCT)، برای پیش بینی استحکام تجربی تنه مهره انسان استفاده گردید. مهمترین ویژگی این روش آن است که در آن ظرافت های موجود در هندسه و توزیع تراکم نمونه مورد مطالعه در نظر گرفته می شود. برای این منظور ابتدا چهار عدد مهره پشتی- کمری از سه جسد مذکر با میانگین سن ۴۲ سال تهیه گردیدند. پس از تصویر برداری از نمونه ها، با استفاده از دانسیته های مرجع موجود در فانتوم استاندارد برش نگاری کامپیوتری کمی، توزیع دانسیته هر یک از نمونه ها تعیین گردید. سپس به کمک برنامه ای که در محیط نرم افزار MATLAB تهیه گردید، بخش بندی تصویر صورت گرفته و بافت سخت استخوان از محیط زمینه جدا گردید. به کمک برنامه دیگری که در محیط نرم افزار Maple تهیه گردید، هندسه دقیق و ویژگی های مکانیکی تک تک وکسلهای بافت استخوان، استخراج و مدل المان محدود سه بعدی نمونه ها در محیط نرم افزار ANSYS تولید گردید. سپس استحکام فشاری نهایی هر نمونه به کمک روش المان محدود خطی، مدل ساده مکانیکی و روش المان محدود غیر خطی با در نظر گرفتن رفتارهای مادی الاستیک خطی- کاملا پلاستیک و الاستیک خطی- پلاستیک خطی، محاسبه و با یکدیگر مقایسه گردیدند. در ادامه تحقیق، با اعمال فشار تک محوری بر روی نمونه های مذکور، استحکام فشاری نمونه ها بصورت تجربی نیز اندازه گیری گردیدند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که روش المان محدود غیر خطی مبتنی بر داده های سیستم برش نگاری کامپیوتری کمی با در نظر گرفتن مدل ماده الاستیک خطی- پلاستیک خطی قادر است استحکام فشاری تجربی تنه مهره را با دقت بالاتری نسبت به روش المان محدود خطی، مدل ساده مکانیکی و همچنین روش المان محدود غیر خطی با در نظر گرفتن رفتار الاستیک خطی- کاملا پلاستیک، پیش بینی کند.

در ادامه این مطالعه، الگوی نهایی آسیب دیدگی در نمونه های پشتی به کمک روش المان محدود مبتنی بر داده های سیستم برش نگاری کامپیوتری کمی بصورت غیر تهاجمی پیش بینی گردید و با تصاویر رادیوگرافی تهیه شده از نمونه ها پس از اعمال تست مکانیکی مقایسه گردیدند. بار و موقعیت شروع آسیب دیدگی نیز در نمونه کمری به کمک روش المان محدود مبتنی بر داده های سیستم برش نگاری کامپیوتری پیش بینی گردید. سپس تست مکانیکی بر روی نمونه تا حصول بار شروع آسیب دیدگی پیش بینی شده ادامه یافته و تصاویر رادیوگرافی به منظور تشخیص موقعیت شروع آسیب دیدگی، از آن تهیه گردید. نتایج نشان می دهند که روش المان محدود مبتنی بر داده های سیستم برش نگاری کامپیوتری کمی قادر است موقعیت و بار شروع و الگوی نهایی آسیب دیدگی را بخوبی پیش بینی نماید.

کلمات کلیدی: برش نگاری کامپیوتری کمی، روش المان محدود، استخوان، استحکام.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جداول ..... د

فهرست اشکال ..... ه

فصل اول ۱

کلیات ۱

۱-۱- بافت استخوان: ۲

۱-۲- ساختمان ستون فقرات و مهره ها: ۳

۱-۳- انواع ضایعات و شکستگی های مهره ای: ۷

۱-۴- اهمیت بررسی شکستگی های فشاری مهره ای: ۹

۱-۵- لزوم استفاده از رهیافت مکانیک محیط های پیوسته و داده های مستخرج از سیستم QCT به منظور مدل کردن رفتار مادی بافت اسفنجی استخوان: ۱۱

۱-۶- برش نگاری کامپیوتری: ۱۳

فصل دوم ۱۷

مدل کردن رفتار مکانیکی و اعمال ثوابت مادی مناسب به بافت استخوان بر پایه داده های مستخرج از سیستم برش نگاری کامپیوتری کمی ۱۷

۲-۱- مقدمه: ۱۸

۲-۲- مدل های رفتار مادی مورد استفاده به منظور مدل کردن بافت اسفنجی استخوان: ۱۸

۲-۲-۱- مواد اورتوتروپ و همسانگرد: ۲۱

۲-۳- محاسبه مدول یانگ محوری و تنش تسلیم بافت اسفنجی استخوان با استفاده از داده های مستخرج از سیستم QCT: ۲۷

۲-۴- تعیین ثوابت مادی اورتوتروپیک بافت اسفنجی استخوان: ۲۹

۲-۵- تعیین تنش و کرنش نهایی بافت اسفنجی استخوان: ۳۳

۲-۶- ویژگی های مکانیکی بافت قشری: ۳۴

۲-۷- تولید مدل المان محدود سه بعدی یک اندام استخوانی به کمک برنامه های تهیه شده: ۳۵
۲-۷-۱- بخش بندی تصاویر برش نگاری کامپیوتری: ۳۵
۲-۷-۲- تهیه برنامه بخش بندی: ۳۷
۲-۷-۳- تهیه برنامه درشت سازی شبکه: ۳۹
۲-۷-۴- تهیه برنامه ای به منظور حذف بافت های نرم سطحی: ۴۲
۲-۷-۵- تهیه برنامه تولید ویژگی های مکانیکی: ۴۲
فصل سوم ۴۵
پیش بینی غیر تهاجمی استحکام فشاری تنه مهره انسان به کمک روش المان محدود مبتنی بر داده های سیستم برش نگاری کامپیوتری کمی ۴۵
۳-۱- مقدمه: ۴۶
۳-۲- تهیه نمونه ها: ۴۶
۳-۳- پیش بینی استحکام نهایی نمونه ها به کمک روش المان محدود: ۴۷
۳-۳-۱- تهیه تصاویر: ۴۷
۳-۳-۲- تهیه مدل المان محدود سه بعدی: ۴۹
۳-۳-۳- برآورد استحکام فشاری به کمک روش المان محدود خطی: ۵۱
۳-۳-۴- بررسی همگرایی مدل المان محدود خطی: ۵۳
۳-۳-۵- محاسبه استحکام فشاری به کمک المان محدود غیر خطی: ۵۴
۳-۳-۶- بررسی همگرایی مدل المان محدود غیر خطی: ۵۷
۳-۴- بررسی صحت روش المان محدود مبتنی بر سیستم QCT: ۵۸
۳-۴-۱- برآورد سفتی نمونه ها با در در نظر گرفتن مدل ساده مکانیکی: ۵۸
۳-۴-۲- برآورد استحکام فشاری نهایی نمونه ها بر پایه مدل ساده مکانیکی: ۵۹
۳-۵- آماده سازی نمونه ها به منظور اعمال تست مکانیکی: ۶۱
۳-۶- تست مکانیکی: ۶۳
۳-۷- مقایسه سفتی محاسبه شده از روش المان محدود مبتنی بر سیستم QCT با مقادیر مشابه تجربی: ۶۸
۳-۸- مقایسه استحکام فشاری برآورد شده از طرق مختلف: ۶۹
فصل چهارم ۷۲
پیش بینی بار و موقعیت آسیب دیدگی های موضعی در تنه مهره انسان ۷۲
۴-۱- مقدمه: ۷۳

۴-۲- پیش بینی بار و موقعیت آسیب دیدگی های موضعی در نمونه های پشتی: ۷۳
۴-۳- پیش بینی بار و موقعیت شروع آسیب دیدگی در تنه مهره انسان به کمک روش المان محدود مبتنی بر داده های سیستم QCT: ۸۰
۴-۳-۱- تهیه نمونه: ۸۱
۴-۳-۲- تهیه تصویر: ۸۱
۴-۳-۳- تهیه مدل المان محدود: ۸۱
۴-۳-۴- تحلیل به کمک روش المان محدود غیر خطی: ۸۲
۴-۳-۵- پیش بینی بار و موقعیت شروع آسیب دیدگی: ۸۳
۴-۳-۶- اعمال تست مکانیکی: ۸۵
۴-۴- پیش بینی بار و موقعیت شروع آسیب دیدگی و الگوی نهایی آن به کمک روش المان محدود خطی: ۸۸
فصل پنجم ۹۱
بحث و پیشنهادات ۹۱
نتیجه گیری: ۹۲
پیشنهادات: ۹۴

فهرست جداول

جدول ۲-۱) ثوابت مادی محاسبه شده برای بافت اسفنجی استخوان پاشنه ۳۱

جدول ۲-۲) ثوابت مادی محاسبه شده برای نمونه های استخوان بافت سر ران ۳۱

جدول ۲-۳) ثوابت مادی محاسبه شده برای بافت اسفنجی ستیغ استخوان خاصره ای ۳۲

جدول ۲-۴) ثوابت مادی محاسبه شده برای نمونه های استخوان بافت مهره ۳۲

جدول ۳-۱) سفتی های پیش بینی شده نمونه ها برای شبکه های دارای ابعاد المان... ..... ۵۳

جدول ۳-۲) مقادیر سفتی برآورد شده از طرق المان محدود خطی و مدل ساده مکانیکی... ..... ۵۹

جدول ۳-۳) مقادیر برآورد شده استحکام فشاری نهایی نمونه ها به کمک روش های... ..... ۶۰

جدول ۳-۴) مقایسه مقادیر سفتی برآورد شده از طرق المان محدود خطی و تست فشاری تک محوری ۶۸

جدول ۳-۵) مقادیر برآورد شده استحکام فشاری نهایی نمونه ها از طرق مختلف ۷۰

جدول ۳-۶) درصد خطای برآورد استحکام فشاری تجربی به کمک روش های مختلف ۷۱

جدول ۴-۱) پیش بینی شکل گیری و توسعه نواحی آسیب دیده در نمونه T۱۱-۱... ..... ۷۴

جدول ۴-۲) پیش بینی شکل گیری و توسعه نواحی آسیب دیده در نمونه T۱۱-۲... ..... ۷۹

جدول ۴-۳) پیش بینی شکل گیری و توسعه نواحی آسیب دیده در نمونه T۱۱-۱... ..... ۹۰

فهرست اشکال

شکل ۱-۱) بافت اسفنجی و قشری استخوان ران ۳

شکل ۱-۲) ستون فقرات ۴

شکل ۱-۳) آناتومی ستون فقرات انسان ۶

شکل ۱-۴) تولید و آشکارسازی پرتو باریک. ۱۵

شکل ۱-۵) اولین اسکن خطی ۱۵

شکل ۱-۶) حرکات اسکنینگ در دستگاه های CT ۱۶

شکل ۲-۱) نمودار تنش معادل – کرنش معادل برای یک ماده الاستیک خطی- کاملا پلاستیک ۱۹

شکل ۲-۲) نمودار تنش معادل – کرنش معادل برای یک ماده الاستیک خطی- پلاستیک خطی ۲۰

شکل ۲-۳) منحنی های خطی و توانی برازش شده بین دانسیته و مدول یانگ محوری برای بافت... ..... ۲۸

شکل ۲-۴) منحنی های خطی و توانی برازش شده بین دانسیته و تنش تسلیم برای بافت... ..... ۲۹

شکل ۲-۵) منحنی خطی گذرنده از مبدا برازش شده بین تنش نهایی و تنس تسلیم بافت... ..... ۳۴

شکل ۲-۶) تصویر CT تهیه شده از یک مقطع از مهره محبوس شده در یک فانتوم مهره..... ۳۸

شکل ۲-۷) تصویر بخش بندی شده مقطع تهیه شده از مهره بصورت دودویی ۳۹

شکل ۲-۸) مدل المان محدود سه بعدی یک نمونه مهره پشتی انسان ۴۰

شکل ۲-۹) مراحل درشت سازی شبکه المان محدود اولیه نمونه مهره پشتی انسان... ..... ۴۱

شکل ۲-۱۰) اعمال ویژگی های مکانیکی به المان های تشکیل دهنده مدل المان محدود... ..... ۴۴

شکل ۳-۱) نمونه استخراج شده از جسد ۴۷

شکل ۳-۲) رابطه بین عدد CT و دانسیته استخوان... ..... ۴۸

شکل ۳-۳) مدل المان محدود سه بعدی نمونه T۱۱-۲ ... . ۵۰

شکل ۳-۴) شرایط مرزی اعمال شده به مدل المان محدود سه بعدی نمونه T۱۱-۲ ..... ۵۲

شکل ۳-۵) نمودار نیرو- جابجایی T۱۱-۱ بدست آمده به کمک روش ۵۵

شکل ۳-۶) نمودار نیرو- جابجایی T۱۱-۲ بدست آمده به کمک روش ۵۵
شکل ۳-۷) نمودار نیرو- جابجایی T۱۱-۳ بدست آمده به کمک روش ۵۶
شکل ۳-۸) نمودار نیرو- جابجایی L۱ بدست آمده به کمک روش ۵۶
شکل ۳-۹) نمودار نیرو- جابجایی به دست آمده برای نمونه T۱۱-۲ برای شبکه های... ..... ۵۷
شکل ۳-۱۰) نمودار تنش- کرنش لاستیک مورد استفاده در تست ها ۶۳
شکل ۳-۱۱) نمونه لاستیکی مورد استفاده در تست های مکانیکی ۶۳
شکل ۳-۱۲) تنه مهره به همراه نمونه های لاستیکی در بین فک های دستگاه تست فشار ۶۴
شکل ۳-۱۳) نمودار نیرو- جابجایی تجربی نمونه T۱۱-۱ ..... ۶۵
شکل ۳-۱۴) نمودار نیرو- جابجایی تجربی نمونه T۱۱-۲ ..... ۶۶
شکل ۳-۱۵) نمودار نیرو- جابجایی تجربی نمونه T۱۱-۳ ..... ۶۶
شکل ۳-۱۶) نمودار نیرو- جابجایی تجربی نمونه L۱ ..... ۶۷
شکل ۴-۱) تصویر رادیوگرافی از اندپلیت نمونه T۱۱-۱ پس از اعمال تست مکانیکی ۷۶
شکل ۴-۲) تصویر رادیوگرافی از نماهای قدامی (راست) و جانبی (چپ) نمونه T۱۱-۱ ..... ۷۸
شکل ۴-۳) تغییر فرم نهایی مدل المان محدود T۱۱-۲... ..... ۸۰
شکل ۴-۴) مدل المان محدود سه بعدی نمونه L۱ ... . ۸۲
شکل ۴-۵) مدل المان محدود سه بعدی تنه مهره L۱ در نیروی عکس العمل ۸۴
شکل ۴-۶) نمودار نیرو- جابجایی نمونه L۱ حاصل از تحلیل به کمک روش المان محدود ۸۵
شکل ۴-۷) نمودار نیرو- جابجایی تجربی نمونه L۱ ..... ۸۶
شکل ۴-۸) تصاویر رادیوگرافی از نمای جانبی و خلفی نمونه L۱ پس از اعمال تست مکانیکی ۸۷

فصل اول

کلیات

۱-۱- بافت استخوان:

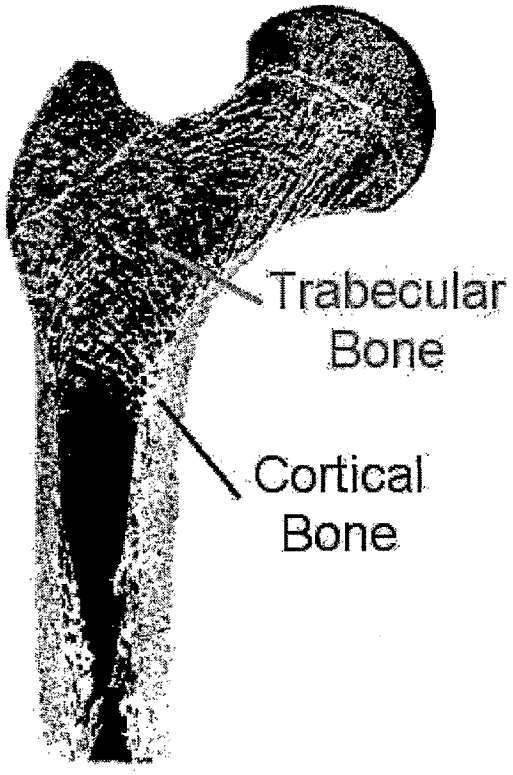
استخوان یک بافت سخت می باشد که در بدن مهره داران یافت می شود. مجموعه استخوان ها که اسکلت بدن را تشکیل می دهند سازه بدن را پشتیبانی کرده، ارگان های داخلی را در برابر عوامل خارجی محافظت نموده و حرکت را تسهیل می کنند.

از دیدگاه مکانیک مواد استخوان یک ماده مرکب[۱] نسبتا سخت و کم وزن می باشد که بیشتر از فسفات کلسیم تشکیل شده. به طور کلی استخوان دارای استحکام فشاری نسبتا زیاد ولی استحکام کششی پایین می باشد. با وجودی که استخوان یک ماده ترد[۲] بشمار می رود، اما دارای ضریب الاستیسیته قابل توجهی نمی باشد.

بافت استخوان می تواند اسفنجی یا فشرده باشد. بافت فشرده که اصطلاحا بافت قشری[۳] نامیده می شود، قسمت زیادی از جرم اسکلت بدن را تشکیل می دهد اما به دلیل چگالی بالای آن حجم کمی از کل بافت های استخوانی اسکلت بدن را به خود اختصاص داده است. اما بافت اسفنجی دارای یک ساختمان مشبک به شکل لانه زنبور بوده، حجم زیاد و در عین حال جرم کمتری از مجموع استخوان های اسکلت بدن را به خود اختصاص می دهد. در شکل ۲-۱، بافت های اسفنجی و فشرده استخوان ران[۴] نشان داده شده اند. چگالی حفره های موجود در بافت اسفنجی می تواند نقطه به نقطه تغییر کند. این حفره ها حاوی مغز استخوان[۵] که وظیفه تولید خون را بر عهده دارد، می باشند. معیار سنجش چگالی این حفره ها که نقشی اساسی در تعیین خواص مکانیکی استخوان دارای بافت اسفنجی ایفا می کنند، کمیتی بنام کسر حجمی استخوان[۶] می باشد که بصورت نسبت حجم استخوان خالص به کل حجم، محاسبه می شود.

---

۱ Composite Material
۲ Brittle
۳ Cortical Bone
۴ Femur
۵ Marrow
۶ Bone Volume Fraction



شکل ۱-۱) بافت اسفنجی و قشری استخوان ران [۱].

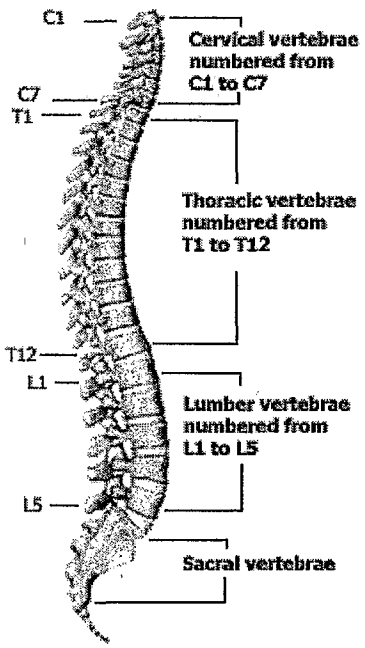
۱-۲- ساختمان ستون فقرات و مهره ها:

استخوان بندی تنه مهره داران، شامل ستون فقرات و قفسه سینه است. ستون فقرات، محور مرکزی بدن را تشکیل داده و در عقب ناحیه تنه و در خط وسط قرار گرفته و از قاعده جمجمه شروع شده و در تمامی گردن و طول تنه امتداد دارد.

ستون مهره‌ها از ۲۶ مهره استخوانی تشکیل شده است. این مهره ها طوری به هم وصل شده‌اند که یک ستون استخوانی را درست کرده اند. در داخل هر کدام از مهره ها سوراخ بزرگی وجود دارد. این سوراخها در طول ستون مهره ها مجرایی را تشکیل می‌دهند که نخاع ، یعنی طنابی که از مغز جدا می‌شود، در داخل آن قرار گرفته است. اتصال مهره ها به یکدیگر بسیار دقیق است و آن چنان

استحکامی به ستون مهره ها می‌دهد که وزن بدن را به راحتی تحمل می‌کند و به چپ و راست؛ جلو و عقب نیز خم می‌شود، و در همین حال نخاع را که ساختمان عصبی بسیار ظریف و مهمی است، در داخل خود محافظت می‌کند.

شمارش مهره ها از بالا به پایین صورت گرفته و از ۵ قسمت تشکیل شده است: گردنی (Cervical) هفت مهره، پشتی یا سینه‌ای (Thoracic) دوازده مهره، کمری (Lumbar) پنج مهره، استخوان خاجی (Sacral) یک مهره و استخوان دنبالچه‌ای یک مهره. طول ستون مهره ها در مردان ۷۰ سانتیمتر و در زنان ۶۰ سانتیمتر است و ۱/۴ طول یک ستون مهره ای را دیسکهای بین مهره ای تشکیل می‌دهند. این دیسک ها نیروی وزن بدن را که توسط ستون فقرات به اندام های تحتانی منتقل می شود را بصورت یکنواخت بر روی تنه مهره ها توزیع می کند. شکل ۱-۲ ساختمان ستون فقرات و نحوه نام گذاری مهره ها را نشان می دهد.



شکل ۱-۲) ستون فقرات [۲].

هر مهره از یک بخش قدامی (تنه) و یک بخش خلفی (قوس مهره ای) ساخته شده و سوراخ مهره ای در بین این دو بخش قرار دارد. در مجموع هر مهره از قسمتهای زیر تشکیل شده است:

- **تنه مهره:** دارای ۵ سطح فوقانی[۱]، تحتانی[۲]، قدامی[۳]، خلفی[۴] و جانبی[۵] است. سطح خلفی، حد قدامی کانال نخاعی را می‌سازد و سطح فوقانی و تحتانی محل قرارگیری دیسک بین مهره هاست.
- **قوس مهره‌ای:** قوس مهره‌ای از نخاع محافظت می‌کند و از قسمتهای زیر تشکیل شده است:

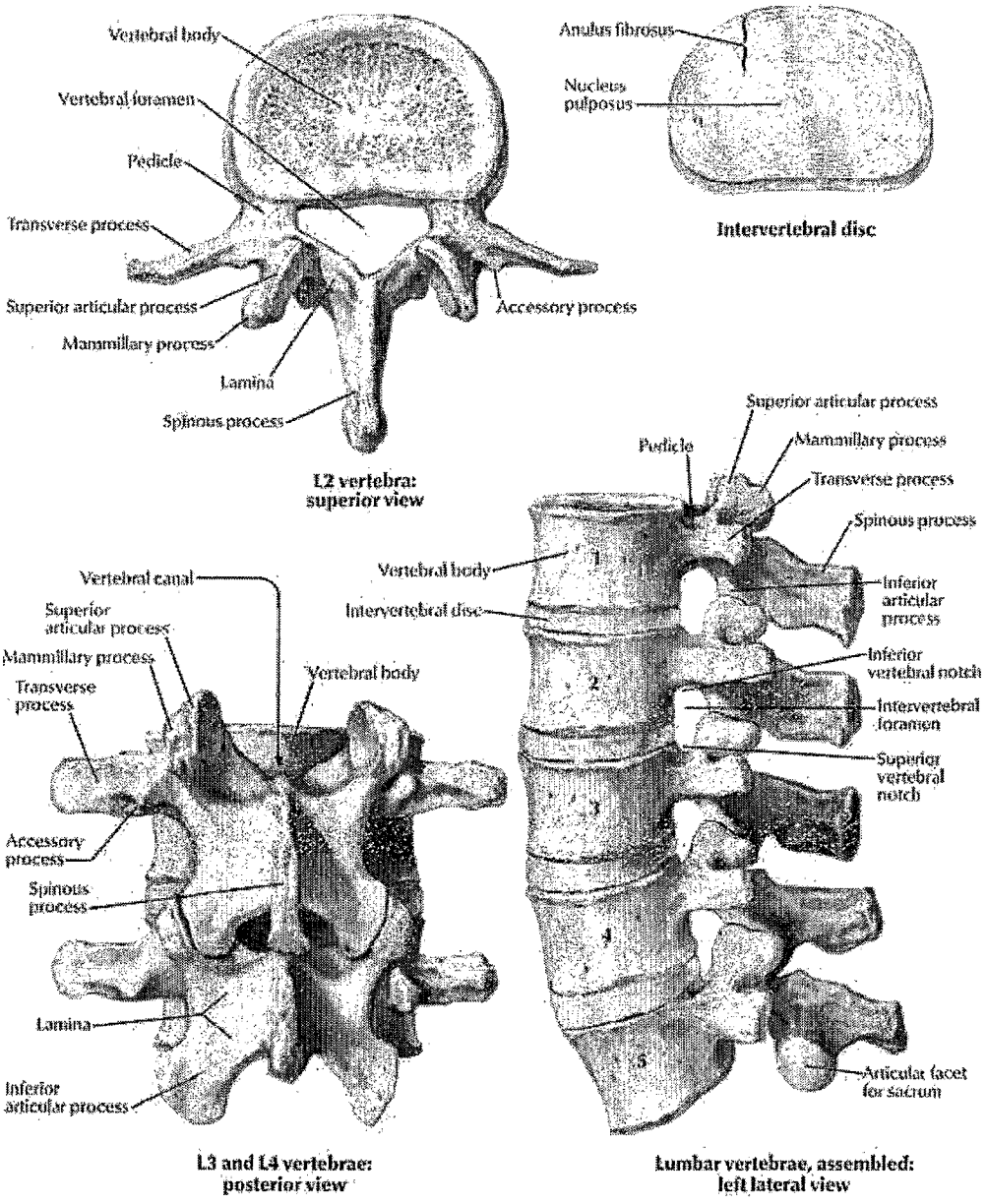
۱. یک جفت پایه[۶] که قسمتهای قدامی جانبی قوس مهره‌ای را تشکیل می‌دهند.

۲. یک جفت تیغه[۷] که قسمتهای خلفی قوس مهره‌ای[۸] را بوجود می‌آورند.

۳. هفت زایده که شامل ۴ زایده مفصلی[۹] (۲ تا فوقانی و ۲ تا تحتانی)، دو زایده عرضی[۱۰] و یک زایده شوکی[۱۱] می‌باشد.

---

۱ Superior
۲ Inferior
۳ Anterior
٤ Posterior
٥ Lateral
٦ Pedicle
٧ Lamina
٨ Vertebral Foramen
٩ Articular Process
١٠ Transverse Process
١١ Spinous Process



شکل ۱-۳) آناتومی ستون فقرات انسان [۳].

شکستگی جسم مهره یا قوس خلفی آن اغلب با خونریزی و تغییر مکان قطعات شکسته همراه است و در نتیجه ممکن است نخاع فشرده و له شود و یا قطع گردد که ضایعات عصبی حسی و یا