



صلى الله عليه وسلم



دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه عمران

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

رشته‌ی عمران گرایش سازه

تاثیر خوردگی حفره‌ای بر ظرفیت باربری ستون‌های قوطی‌شکل سرد نورد  
شده تحت تنش فشاری تک محوره با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

استاد راهنما

دکتر یاسر شریفی

نگارنده

محمود هوشیار

اسفند ۱۳۹۲



دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه عمران

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش سازه

محمود هوشیار

تأثیر خوردگی حفره‌ای بر ظرفیت باربری ستون‌های قوطی‌شکل سده نورد شده تحت تنش فشاری تک محوره با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

در تاریخ ۹۲/۱۲/۱۴ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه **خیلی** به تصویب نهایی رسید.

امضاء  
امضاء  
امضاء  
امضاء

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر یاسر شریفی با مرتبه علمی استادیار

۲- استاد داور داخلی گروه دکتر سید صادق ناصرعلوی با مرتبه علمی استادیار

۳- استاد داور داخلی گروه دکتر عباس درب همنوی با مرتبه علمی استادیار

۴- نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی دکتر روح الله صابری با مرتبه علمی استادیار



تمامی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های  
حاصل از پژوهش موضوع این پایان‌نامه، متعلق به دانشگاه  
ولی عصر (عج) رفسنجان است.



بتم بدرقه‌ی راه کن ای طایر قدس که دراز است ره مقصد و من نوسنم

خدای مهربانم را که همیشه سرچشمه لطف و امید در زندگی ام بوده و خواهد بود، خزاران بار شکر می گویم.

- ضمن شکر و قدردانی صمیمانه از زحمات خانواده عزیزم، مادر مهربان و خواهران و برادران عزیزم که همواره مشوق اصلی من در راه فراگیری علم و دانش بودند.

- بر خود لازم و بایسته می دانم که مراتب سپاس و شکر ویژه را خدمت استاد راهنمای بزرگوار و با محترم جناب آقای دکتر یاسر شریفی تقدیم نمایم. کنشاد، رفقا و علم ایشان

را دوست می دارم و همواره از درگاه الهی برایشان سلامتی و شادی طلب می کنم.

از حضور و اودان محترم جناب آقای دکتر علوی و در دب منبری و ناینده تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر روح الله صابری پاسکندارم.

از سرکار خانم مهندس منبر جو به خاطر تمام راهنمایی ها و دلگرمی هایشان در پیشبرد بهتر پایان نامه صمیمانه پاسکندارم.

دلمیان از تمامی دوستان و همکلاسی های عزیزم کمال شکر و قدردانی را دارم. باشد که این خردترین، نجشی از زحمات آمان را پاس گوید.

همیشه مادر را به یاد تشییع می‌کردم که با حرم بار تراشیده شدن، کوچک و کوچک ترمی شود.  
ولی پدر یک خودکار شکیل و زیباست که در ظاهر ابهت‌ش را همیشه حفظ می‌کند و خم به ابرو نمی‌آورد و خیلی سرسخت‌تر از این حرفاست فقط پنج  
کس نمی‌بیند و نمی‌داند که چقدر دیگر می‌تواند بنویسد.

تقدیم به:

مادر عزیزم و روح بلند پدرم  
آنانکه دعای ایشان تکیه‌گاه تلاش مایم بوده و هست

## چکیده

آیین‌نامه‌های معتبر سازه‌های فولادی سرد نورد شده، در رابطه با ظرفیت باربری ستون‌های فولادی قوطی شکل تحت اثر بارهای وارده نقایصی را به همراه دارد، از جمله می‌توان لحاظ نکردن اثرات تنش‌های پسماند و همچنین عیوب اولیه سیستم (که شامل عیوب هندسی و مکانیکی می‌باشد) دانست. از آنجا که روز به روز استفاده از این گونه سازه‌ها رو به گسترش است لذا به دست آوردن رابطه‌ای دقیق و نزدیک‌تر به واقعیت جهت محاسبه ظرفیت باربری این اعضا امری ضروری به نظر می‌رسد و نیاز به بررسی و پژوهش‌های بیشتری دارد. اگر یک عضو سازه‌ای دچار خرابی ناشی از خوردگی شود، خصوصیات مقطع عضو تغییر می‌کند، در نتیجه شاهد تغییر رفتار آن تحت بارهای وارده خواهیم بود. به دلیل بروز خوردگی، مصالح عضو سازه‌ای کاهش پیدا می‌کند، لذا تأثیراتی شامل کاهش مقاومت عضو، کاهش پایداری، کاهش سختی، کاهش شکل‌پذیری و در نهایت افزایش احتمال خرابی و انهدام سازه را بر جای می‌گذارد. پدیده خوردگی حفره‌ای در ستون‌های قوطی شکل فولادی، کاهش ضخامت قطعه را به همراه خواهد داشت، که باعث کاهش چشمگیر ظرفیت باربری و مقاومت نهایی ستون خواهد شد. لذا بررسی تأثیر خوردگی حفره‌ای بر ستون‌های فلزی قوطی شکل تحت تنش فشاری و ظرفیت نهایی سازه آسیب دیده، امری ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق سعی بر آن شده است که در ابتدا به بررسی ظرفیت باربری ستون‌های فولادی سرد نورد شده تحت تنش فشاری تک محوری بر طبق آیین‌نامه AISI پرداخته و سرانجام با تحلیل غیر خطی المان محدود که با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS صورت گرفته مقاومت نهایی اعضای مورد نظر به دست آورده و اثرات پارامترهایی از قبیل تنش‌های پسماند و همچنین عیوب اولیه در سیستم بر روی ظرفیت باربری مورد مطالعه قرار گرفته و سرانجام به تأثیرات خوردگی حفره‌ای بر روی ظرفیت باربری این گونه اعضا پرداخته شده است. در این تحقیق اثر عمق، قطر و حجم خوردگی مورد ارزیابی قرار گرفته است و همچنین اثرات پارامترهایی از قبیل ابعاد مقطع، تنش پسماند، عیوب اولیه در سیستم و تأثیرات حفرات خوردگی در مقایسه با عمق خوردگی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بررسی شده است.

**واژگان کلیدی:** ستون‌های فلزی قوطی شکل سرد نورد شده، ظرفیت باربری، خوردگی،

روش المان محدود غیر خطی، شبکه عصبی مصنوعی









فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول
۱	مقدمه
۷	۱-۱- طرح مسئله و اهمیت پژوهشی آن
۸	۲-۱- اهداف پژوهش
۸	۳-۱- روش انجام پژوهش
۱۱	فصل دوم
۱۱	پیشینه‌ی پژوهش
۱۱	۱-۲- محاسن و معایب فولاد به عنوان یک ماده‌ی سازه‌ای
۱۱	۲-۲- محاسن فولاد به عنوان یک ماده‌ی باربر
۱۱	۱-۲-۲- مقاومت زیاد
۱۲	۲-۲-۲- یکنواختی و دوام
۱۲	۳-۲-۲- قابلیت الاستیک
۱۲	۴-۲-۲- قابلیت چکش‌خواری
۱۲	۵-۲-۲- قابلیت توسعه و تهیه سریع
۱۳	۳-۲- معایب فولاد به عنوان یک ماده‌ی باربر
۱۳	۱-۳-۲- هوازدگی
۱۳	۲-۳-۲- مقاوم نبودن در مقابل آتش‌سوزی
۱۳	۳-۳-۲- حساسیت در برابر کم‌انرژی
۱۳	۴-۲- پروفیل‌های سازه‌های فولادی
۱۴	۵-۲- خصوصیات فولادهای ساختمانی
۱۶	۶-۲- مشخصات مکانیکی فولاد سرد نورد شده
۱۷	۷-۲- تنش تسلیم، تنش کششی و رابطه تنش و کرنش
۳۳	فصل سوم
۳۳	مواد و روش‌ها

عنوان	صفحه
۱-۳-۱- کمانش ستون‌ها.....	۳۳
۳-۱-۱-۱- روش تعادل خنثی.....	۳۴
۳-۱-۲- بار بحرانی ستون اولر.....	۳۵
۳-۱-۳- تئوری خطی ستون - یک مسئله مقدار خاص.....	۴۰
۳-۱-۴- مفهوم طول مؤثر و منحنی طرح.....	۴۰
۳-۱-۵- معادلات دیفرانسیل از درجه بالاتر برای ستون‌ها.....	۴۲
۳-۱-۵-۱- ستون دو سر مفصلی.....	۴۳
۳-۱-۵-۲- انتهای ستون ثابت و سر آن آزاد.....	۴۴
۳-۱-۶- تئوری تغییر شکل‌های بزرگ برای ستون‌ها.....	۴۶
۳-۱-۷- رفتار ستون‌های معیوب.....	۵۳
۳-۱-۸- ستون‌ها با انحناء اولیه.....	۵۳
۳-۱-۹- ستون‌ها تحت بار خارج از مرکز.....	۵۷
۳-۱-۱۰- خلاصه رفتار ستون معیوب.....	۵۹
۳-۱-۱۱- کمانش غیر ارتجاعی ستون‌ها.....	۶۰
۳-۱-۱۲- تئوری مدول دوگانه.....	۶۲
۳-۱-۱۳- تئوری مدول مماسی.....	۶۷
۳-۱-۱۴- تئوری شانلی برای رفتار غیر ارتجاعی ستون.....	۷۰
۳-۱-۱۵- ستون‌های غیر ارتجاعی با بارگذاری خارج از مرکز.....	۷۶
۳-۱-۱۶- بار کمانش ستون‌های کوتاه.....	۸۰
۳-۱-۱۷- طرح ستون‌های فولادی.....	۸۲
۳-۲- خوردگی.....	۸۴
۳-۲-۱- تعریف خوردگی.....	۸۵
۳-۲-۲- اهمیت و ارزیابی خسارت خوردگی.....	۸۷
۳-۲-۲-۱- بعد اقتصادی خوردگی.....	۸۷
۳-۲-۲-۲- بعد ایمنی خوردگی.....	۸۷
۳-۲-۲-۳- بعد کاهش ضایعات خوردگی.....	۸۸
۳-۲-۳- تقسیم‌بندی انواع خوردگی در فلزات یا آلیاژها.....	۸۸

۸۸.....	۴-۲-۳- عوامل موثر در خوردگی فلزات .....
۸۹.....	۵-۲-۳- حفاظت در برابر خوردگی .....
۹۰.....	۶-۲-۳- هزینه‌های خوردگی .....
۹۲.....	۷-۲-۳- طراحی مناسب .....
۹۳.....	۸-۲-۳- انواع خوردگی .....
۹۴.....	۱-۸-۲-۳- خوردگی یکنواخت .....
۹۴.....	۲-۸-۲-۳- خوردگی گالوانیکی .....
۹۶.....	۳-۸-۲-۳- خوردگی شکافی یا درزی .....
۹۸.....	۴-۸-۲-۳- خوردگی رشته‌ای .....
۱۰۰.....	۵-۸-۲-۳- خوردگی حفره‌ای .....
۱۰۲.....	۶-۸-۲-۳- خوردگی مرزدانه‌ای ..
۱۰۳.....	۷-۸-۲-۳- خوردگی جدایشی .....
۱۰۴.....	۸-۸-۲-۳- خوردگی سائیدگی .....
۱۰۶.....	۹-۸-۲-۳- خوردگی تنشی .....
۱۰۹.....	۱۰-۸-۲-۳- خوردگی خستگی .....
۱۱۱.....	۳-۳- آشنایی با نرم افزار ABAQUS .....
۱۱۲.....	۱-۳-۳- آشنایی با روش اجزاء محدود .....
۱۱۲.....	۲-۳-۳- روش‌های عددی حل معادلات دیفرانسیل .....
۱۱۲.....	۱-۲-۳-۳- روش تفاضل محدود .....
۱۱۳.....	۲-۲-۳-۳- روش تغییر .....
۱۱۳.....	۳-۲-۳-۳- روش‌های باقی‌مانده وزنی .....
۱۱۳.....	۳-۳-۳- روش اجزاء محدود .....
۱۱۴.....	۴-۳-۳- آشنایی مقدماتی با نرم‌افزار ABAQUS .....
۱۱۴.....	۵-۳-۳- قسمت‌های مختلف آباکوس .....
۱۱۵.....	۱-۵-۳-۳- ABAQUS/Standard .....
۱۱۵.....	۲-۵-۳-۳- ABAQUS/Explicit .....
۱۱۶.....	۳-۵-۳-۳- ABAQUS/Cae .....
۱۱۶.....	۴-۵-۳-۳- ABAQUS/Viewer .....

صفحه	عنوان
۱۱۶	ABAQUS/Aqua-۵-۵-۳-۳
۱۱۶	ABAQUS/Design-۶-۵-۳-۳
۱۱۶	ABAQUS/Design-المانها در-۱-۶-۵-۳-۳
۱۱۷	ABAQUS Interface for Moldflow-۷-۵-۳-۳
۱۱۷	ABAQUS Interface for MSC.Adams-۸-۵-۳-۳
۱۱۷	ABAQUS نرم افزار-۶-۳-۳
۱۱۹	روشهای حل معادلات غیر خطی-۷-۳-۳
۱۱۹	روش دو بخشی-۱-۷-۳-۳
۱۲۱	روش نابجایی-۲-۷-۳-۳
۱۲۳	روش نیوتن-۳-۷-۳-۳
۱۲۴	روش وتری-۴-۷-۳-۳
۱۲۵	روش طول قوس-۵-۷-۳-۳
۱۲۶	ABAQUS/CAE محیطهای-۸-۳-۳
۱۲۹	آشنای با شبکه عصبی مصنوعی-۴-۳
۱۳۱	الهام از طبیعت-۱-۴-۳
۱۳۳	تاریخچه شبکههای عصبی مصنوعی-۲-۴-۳
۱۳۴	کاربرد شبکههای عصبی-۳-۴-۳
۱۳۵	آشنایی با مدول نرون-۴-۴-۳
۱۴۰	چگونگی پردازش دادهها در یک نرون-۵-۴-۳
۱۴۱	معماری شبکههای عصبی-۶-۴-۳
۱۴۴	آموزش شبکههای عصبی-۷-۴-۳
۱۵۰	آنالیز حساسیت-۵-۳
۱۵۰	روش هیل-۱-۵-۳
۱۵۱	روش Statsoft-۲-۵-۳
۱۵۱	بررسی آییننامه AISI-۶-۳
۱۵۳	محاسبه ظرفیت باربری-۱-۶-۳
۱۵۳	ملاحظات نسبت عرض مسطح به ضخامت-۱-۱-۶-۳
۱۵۴	عرض موثر اجزا سخت شده-۲-۱-۶-۳

صفحه	عنوان
۱۵۶	۳-۱-۶-۳- نحوه تعیین $f_e$ .....
۱۵۶	۳-۱-۶-۳-۱- مقاطعی که تحت کمانش پیچشی یا پیچشی-خمشی قرار ندارند.....
	۳-۱-۶-۴- مقاطعی دارای یک یا دو محور تقارن تحت کمانش پیچشی یا پیچشی
۱۵۹	خمشی .....
۱۶۱	۳-۱-۶-۵- $A_e$ مساحت موثر محاسبه شده تحت تنش $F_n$ .....
۱۶۱	۳-۱-۶-۶- تعیین ظرفیت باربری ستون براساس آیین نامه AISI .....
۱۶۱	۳-۶-۲- مثال هایی از مقاطع قوطی شکل در تعیین ظرفیت باربری .....
۱۶۱	۳-۲-۶-۱- برای مقطع بدون انحنا .....
۱۶۸	۳-۲-۶-۲- برای مقطع با انحنا .....
۱۷۵	۳-۷- روش انرژی .....
۱۷۶	۳-۷-۱- مرز ستون کوتاه .....
۱۷۷	۳-۷-۲- مقطع قوطی شکل .....
۱۹۳	فصل چهارم .....
۱۹۳	نتایج و بحث .....
۱۹۳	۴-۱- بررسی آیین نامه AISI .....
۱۹۵	۴-۱-۱- نمودار تنش- کرنش اعضای فولادی سرد نورد شده .....
۱۹۷	۴-۱-۲- خصوصیات شیمیایی فولاد مورد نظر .....
۱۹۸	۴-۱-۳- خصوصیات فیزیکی فولاد AS1163 .....
۲۰۱	۴-۱-۴- خصوصیات فولاد AS-1163 .....
۲۰۲	۴-۱-۵- مرز ستون کوتاه، طول مورد نظر برای تعیین ظرفیت باربری .....
۲۰۳	۴-۱-۶- تعیین ظرفیت باربری ستون بر اساس آیین نامه AISI .....
۲۰۳	۴-۱-۶-۱- بررسی اثر ضخامت بر روی ظرفیت باربری .....
۲۰۷	۴-۱-۶-۲- تأثیر شعاع انحنای گوشه بر روی ظرفیت باربری .....
۲۱۲	۴-۱-۶-۳- تأثیر تنش تسلیم بر روی ظرفیت باربری .....
۲۱۶	۴-۱-۶-۴- تأثیر طول بر ظرفیت باربری .....
۲۲۰	۴-۲- مدل سازی اجزاء محدود و مقایسه نتایج با آیین نامه AISI .....

عنوان	صفحه
۴-۲-۱- تأثیر عیب اولیه کلی بر روی ظرفیت باربری بر اساس مدل سازی با نرم افزار ABAQUS	۲۲۲
۴-۲-۲- تأثیر ضخامت بر روی ظرفیت باربری با استفاده از نرم افزار ABAQUS و مقایسه با آیین نامه AISI	۲۲۷
۴-۲-۱- هندسه مورد استفاده برای مقطع قوطی شکل سرد نورد شده	۲۲۷
۴-۲-۲- مش بندی مورد استفاده	۲۲۷
۴-۲-۳- تأثیر تنش تسلیم بر ظرفیت باربری بر اساس نرم افزار ABAQUS	۲۳۲
۴-۲-۴- تأثیر تنش پسماند بر ظرفیت باربری با استفاده از نرم افزار ABAQUS	۲۳۷
۴-۲-۵- تأثیر طول بر روی ظرفیت باربری با استفاده از نرم افزار ABAQUS	۲۴۳
۴-۲-۶- تأثیر شعاع انحنای گوشه بر روی ظرفیت باربری	۲۴۷
۴-۳- اثرات خوردگی حفره ای بر روی مقاومت نهایی ستون های فولادی قوطی شکل سرد نورد شده	۲۵۱
۴-۳-۱- خوردگی	۲۵۱
۴-۳-۲- ستون ها	۲۵۲
۴-۳-۳- تأثیر خوردگی بر روی ستون ها	۲۵۳
۴-۳-۴- مدل سازی اجزاء محدود	۲۵۶
۴-۳-۵- تأثیر عمق و سطح حفرات خوردگی در ظرفیت باربری نهایی ستون های فولادی	۲۵۶
۴-۴- نتایج آنالیز شبکه های عصبی مصنوعی	۲۵۷
۴-۴-۱- تخمین ظرفیت باربری ستون های فولادی قوطی شکل سرد نورد شده بر اساس آیین نامه AISI	۲۷۵
۴-۴-۲- تخمین ظرفیت باربری ستون های فولادی قوطی شکل سرد نورد شده بر اساس نرم افزار ABAQUS	۲۷۸
۴-۴-۳- تخمین ظرفیت باربری ستون های فولادی قوطی شکل سرد نورد شده بر اساس نرم افزار ABAQUS با در نظر گرفتن اثرات تنش پسماند و عیوب اولیه در سیستم	۲۸۱
۴-۴-۴- تخمین ظرفیت باربری ستون های فولادی قوطی شکل خورده شده	۲۸۴
۴-۵- آنالیز حساسیت	۲۸۷
فصل پنجم	۲۹۳

خ

صفحه

عنوان

---

۲۹۳	نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها
۲۹۳	۵-۱- نتیجه‌گیری کلی
۲۹۷	۵-۲- پیشنهادها
۲۹۹	منابع

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲.....	شکل ۱-۱- حداکثر ظرفیت باربری ستون بر حسب ضریب لاغری.....
۵.....	شکل ۲-۱- کمانش کلی و محلی در ستون‌های بلند و کوتاه.....
۶.....	شکل ۳-۱- کمانش موضعی در عضو فشاری با مقطع قوطی شکل.....
۱۷.....	شکل ۱-۲- منحنی تنش-کرنش بر اساس SHARP-YIELDING.....
۱۸.....	شکل ۲-۲- منحنی تنش-کرنش بر اساس GRADUAL-YIELDING.....
۲۰.....	شکل ۳-۲- منحنی بار- تغییرشکل در حالت ایده‌آل.....
۲۱.....	شکل ۴-۲- منحنی بار- تغییرشکل در حالت ارتجاعی.....
۲۴.....	شکل ۵-۲- منحنی ستون.....
۳۲.....	شکل ۶-۲- خوردگی در سازه‌های فولادی.....
۳۵.....	شکل ۱-۱-۳- پایداری تعادل.....
۳۶.....	شکل ۲-۱-۳- ستون اولر.....
۳۹.....	شکل ۳-۱-۳- رفتار ستون اولر.....
۴۱.....	شکل ۴-۱-۳- طول مؤثر برای شرایط مرزی مختلف.....
۴۲.....	شکل ۵-۱-۳- منحنی ستون برای فولاد ساختمانی.....
۴۳.....	شکل ۶-۱-۳- ستون با شرایط مرزی غیر مشخص.....
۴۴.....	شکل ۷-۱-۳- ستون دو سر مفصلی.....
۴۵.....	شکل ۸-۱-۳- ستون ثابت-آزاد.....
۴۶.....	شکل ۹-۱-۳- تغییر شکل‌های بزرگ یک ستون.....
۵۲.....	شکل ۱۰-۱-۳- منحنی بار- تغییر شکل ستون برای تغییر شکل‌های بزرگ.....
۵۳.....	شکل ۱۱-۱-۳- ستون با انحناء اولیه.....
۵۶.....	شکل ۱۲-۱-۳- منحنی‌های بار - تغییر شکل ستون‌ها با انحناء اولیه.....
۵۷.....	شکل ۱۳-۱-۳- ستون تحت بار خارج از مرکز.....
۵۹.....	شکل ۱۴-۱-۳- منحنی‌های بار - تغییر شکل ستون‌های تحت بار خارج از مرکز.....
۶۱.....	شکل ۱۵-۱-۳- منحنی ستون.....
۶۴.....	شکل ۱۶-۱-۳- شکل تئوری مدول کاهش یافته.....