



دانشگاه شهروز

مجمع فنی و مهندسی

دانشکده عمران

از اطلاعات دانشکده عمران  
توسط مدیر کارگاه

۱۰ / ۱۲ / ۱۳۸۱

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران - سازه

تحلیل غیرخطی تیر-ستونهای فالژی پرشده از بتن

استاد راهنما

دکتر رضا پورحسینی

استاد مشاور

دکتر نادر عبدلی یزدی

پژوهش و نگارش

جلیل عمادی

زمستان ۱۳۸۰

۴۴ ۵۲۱

## قدردانی :

فدا را سپاسگزارم که توفیق کسب علم را به من عنایت نمود و چنین مقدر کرد که از مفضل اساتید بزرگی چون آقایان دکتر رضا پورمسینی، دکتر نادر عبدلی و دکتر کاظم برخورداری بهره‌مند گردم. در اینجا بر خود لازم می‌دانم از همه این بزرگواران و زحمات دلسوزانه استاد ارجمند جناب آقای دکتر رضا پورمسینی که مسئولیت راهنمایی این پروژه را بعهده گرفتند و در این راستا از هر گونه ارشاد و راهنمایی دریغ ننمودند قدردانی کرده و تشکر نمایم. همچنین از دوستانی که بدون یاری آنها تهیه این پروژه مقدور نبود تقدیر و تشکر می‌کنم و از خداوند منان توفیق روزافزون برای آنها مسئلت می‌نمایم.

جلیل عمادی

یزد - زمستان ۱۳۸۰

تقدیم به :

پدر

مادر

و همسران

حوزه معاونت آموزشی  
مدیریت تحصیلات تکمیلی

صور تجلسه دفاع پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو : جلیل عمادی

رشته : عمران- سازه

عنوان پایان نامه : تحلیل غیرخطی تیرستونهای فلزی پرشده از بتن

استاد راهنما : دکتر رضا پورحسینی

استاد مشاور : دکتر نادر عبدلی یزدی

متخصص و صاحب نظر از دانشگاه یزد : دکتر حسین علی رحیمی

متخصص و صاحب نظر خارج از گروه : دکتر محسن علی شایانفر

نماینده تحصیلات تکمیلی : مهندس مهدی خداداد


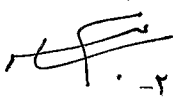


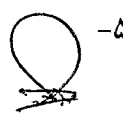
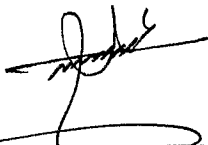
امتیازات بدست آمده (بر اساس ماده چهار آئین نامه آموزشی) به شرح ذیل می باشد .

- |      |                   |   |
|------|-------------------|---|
| ۱۹   | امتیاز از ۱ تا ۲۰ | ۱- میزان انطباق محتوی با عنوان پایان نامه   |
| ۱۹   | امتیاز از ۱ تا ۲۰ | ۲- اهمیت نظری ، توسعه ای ، کاربردی، موضوع تحقیق   |
| ۱۹/۵ | امتیاز از ۱ تا ۲۰ | ۳- نحوه ارائه ، کیفیت دفاع و چگونگی پاسخگویی به سوالات                                      |
| ۱۸/۵ | امتیاز از ۱ تا ۲۰ | ۴- کیفیت تجزیه و تحلیل و انسجام مطالب   |
| ۱۸/۵ | امتیاز از ۱ تا ۲۰ | ۵- توانائی دانشجو در نتیجه گیری و اهمیت نتایج بدست آمده از لحاظ بنیادی ، توسعه ای و کاربردی |
| ۱۹/۵ | امتیاز از ۱ تا ۲۰ | ۶- نحوه نگارش   |

دفاع از پایان نامه مورد تایید هیات داوران قرار گرفت.

و با نمره به عدد ۱۹ با حروف نوزده تمام و امتیاز عالی به تصویب رسید.


امضاء هیات داوران

 -۳	 -۲	
 -۶	 -۵	 -۴

تاریخ دفاع :

تائیدیه دانشکده

بدینوسیله انجام کار و اتمام پروژه فوق گواهی می شود.

رئیس دانشکده/گروه :   
تاریخ:

# فهرست مطالب

صفحه

عنوان

چکیده

فصل اول-مقاطع مختلط و تاریخچه‌ای از تحقیقات انجام گرفته

- ۱-۱- مقدمه ..... ۳
- ۲-۱- تاریخچه ..... ۵
- ۳-۱- انواع مقاطع مورد استفاده در ستونهای مختلط ..... ۸
- ۴-۱- مقایسه مقاطع مورد استفاده در ستونهای مختلط ..... ۱۰
- ۱-۴-۱- ستونهای مختلط با مقطع فولادی قرار داده شده در داخل بتن ..... ۱۰
- ۲-۴-۱- ستونهای مختلط با مقطع فولادی پر شده با بتن ..... ۱۱
- ۳-۴-۱- ستونهای مختلط با مقطع دو عدد ناودانی و بستهای موازی و پر شده با بتن ..... ۱۲
- ۴-۴-۱- ستونهای مختلط با مقطع قوطی حاصل از جوش ورقهای نازک فولادی ..... ۱۴

فصل دوم-بررسی خواص بتن و فولاد در مقاطع مختلط و روشهای تحلیل این

مقاطع

- ۱-۲- تعیین مدول الاستیسیته بتن ..... ۱۸
- ۲-۲- تعیین مقاومت بتن محبوس شده و مقاومت جاری شدن فولاد ..... ۲۰
- ۱-۲-۲- ستونهای بتنی مسلح ..... ۲۰
- ۲-۲-۲- ستونهای مختلط ..... ۲۲
- ۳-۲- حفاظت در مقابل آتش سوزی ..... ۲۶
- ۴-۲- روشهای تحلیل مقاطع مختلط ..... ۲۷

- ۲۸ ..... ۲-۴-۱- تحلیل بر اساس رابطه لنگر- انحناء
- ۳۰ ..... ۲-۴-۲- تحلیل بر اساس منحنی تغییر شکل سینوسی
- ۳۱ ..... ۲-۴-۳- تحلیل به روش اجزاء محدود

### فصل سوم- بررسی چسبندگی بین فولاد و بتن

- ۳۳ ..... ۳-۱- مقاومت چسبندگی در مقاطع مختلط
- ۳۵ ..... ۳-۲- اثر پارامترهای مختلف
- ۳۵ ..... ۳-۲-۱- اثر سن
- ۳۷ ..... ۳-۲-۲- اثر ابعاد
- ۳۸ ..... ۳-۲-۳- اثر انقباض
- ۴۰ ..... ۳-۲-۴- اثر نحوه عمل آوردن
- ۴۱ ..... ۳-۲-۵- اثر درجه حرارت
- ۴۳ ..... ۳-۳- نتیجه گیری

### فصل چهارم- بررسی اتصالات تیر به ستون در ستونهای مختلط

- ۴۶ ..... ۴-۱- مقدمه
- ۴۷ ..... ۴-۲- اتصال تیر به ستونهای با مقطع فولادی پر شده با بتن
- ۴۸ ..... ۴-۲-۱- اتصال تیپ "A"
- ۴۹ ..... ۴-۲-۲- اتصال تیپ "B"
- ۵۱ ..... ۴-۲-۳- اتصال تیپ "C"
- ۵۲ ..... ۴-۲-۴- اتصال تیپ "D"
- ۵۳ ..... ۴-۳- اتصال ستون به ستون
- ۵۴ ..... ۴-۴- اتصال ستون به فونداسیون
- ۵۴ ..... ۴-۵- نتیجه گیری

## فصل پنجم- بررسی رفتار ستونهای مختلط کوتاه

- ۵۷ ..... ۱-۵- مقدمه
- ۵۸ ..... ۲-۵- ستونهای مختلط کوتاه
- ۵۹ ..... ۱-۲-۵- تعیین بار لهیدگی ستونهای مختلط کوتاه
- ۶۰ ..... ۲-۲-۵- تعیین لنگر مقاوم نهایی (MU)
- ۶۱ ..... ۳-۲-۵- ستونهای کوتاه تحت اثر بار با خروج از مرکزیت

## فصل ششم- روش طراحی ستونهای فلزی پر شده از بتن

- ۶۵ ..... ۱-۶- مقدمه
- ۶۵ ..... ۲-۶- روشهای پیشنهادی آئین نامه‌های مختلف
- ۶۴ ..... ۳-۶- طراحی ستون مرکب کوتاه
- ۶۴ ..... ۱-۳-۶- محدودیت لاغری
- ۶۷ ..... ۲-۳-۶- بار لهیدگی ستون (NU)
- ۶۸ ..... ۳-۳-۶- لنگر مقاوم نهایی (MU)
- ۷۳ ..... ۴-۳-۶- بدست آوردن دیاگرام اندرکنش
- ۷۶ ..... ۴-۶- طراحی ستونهای مرکب لاغر
- ۷۶ ..... ۱-۴-۶- روند طراحی
- ۷۷ ..... ۲-۴-۶- تعیین بار محوری ماکزیمم طراحی
- ۷۸ ..... ۳-۴-۶- خلاصه روش طراحی

## فصل هفتم- بررسی نتایج برخی آزمایشهای انجام شده

- ۸۱ ..... ۱-۷- مقدمه
- ۸۲ ..... ۲-۷- مشخصات نمونه‌ها



۸۴	۳-۷- وسایل اندازه‌گیری تغییر شکلها و کرنش‌ها
۸۴	۴-۷- نتایج
۸۷	۵-۷- حالت نهایی
۸۸	۶-۷- مدل عددی
۹۱	۷-۷- خلاصه و نتیجه‌گیری
۹۱	۸-۷- بررسی ستونها با شکل مقاطع مختلف
۹۱	۱-۸-۷- مشخصات نمونه‌ها
۹۲	۲-۸-۷- نتایج آزمایش‌ها
۹۶	۳-۸-۷- بررسی منحنی‌های بار- تغییر شکل
فصل هشتم- بررسی رفتار ستونهای فلزی پر شده از بتن با استفاده از روش اجزاء محدود غیر خطی	
۹۸	۱-۸- مقدمه
۹۹	۲-۸- روشهای محاسبه مقاومت ستونهای فلزی پر شده از بتن
۱۰۱	۱-۲-۸- محاسبه مقاومت ستونهای فلزی پر شده از بتن توسط روش LRFD
۱۰۱	۲-۲-۸- محاسبه مقاومت ستونهای فلزی پر شده با بتن توسط روش ارائه شده $U_y$
۱۰۲	۳-۲-۸- مشخصات نمونه‌های در نظر گرفته شده برای محاسبه مقادیر نیروی لهیدگی به روش طرح LRFD
۱۰۶	۳-۸- نحوه مدلسازی و آماده کردن مدل برای آنالیز اجزاء محدود
۱۱۱	۴-۸- مشخصات نمونه‌ها؛ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و ضوابط آئین نامه‌ای با نتایج حاصل از روش اجزاء محدود
۱۱۸	۵-۸- بررسی مقاطع دایره‌ای توسط روش اجزاء محدود
۱۲۵	۶-۸- بررسی اثر نوع بتن و فولاد و ضخامت جداره فولادی

۱۲۶	۱-۶-۸ - مقاومت فشاری بتن
۱۲۸	۲-۶-۸ - فولاد مصرفی
۱۲۹	۳-۶-۸ - ضخامت جداره فولادی
۱۳۳	۷-۸ - نتیجه گیری

## فصل نهم - بررسی رفتار تیر - ستونهای فلزی پر شده از بتن

۱۳۵	۱-۹ - مقدمه
۱۳۵	۲-۹ - منحنی اندرکنش تیر - ستونهای فلزی پر شده از بتن
۱۳۸	۲-۹ - الف - روش ساده برای کنترل گسیختگی
۱۳۹	۱-۲-۹ - تعیین منحنی اندرکنش تیر - ستونهای فلزی پر شده از بتن توسط روش BS5400
۱۴۲	۱-۱-۲-۹ - تعیین لنگر مقاوم نهایی تیر - ستونهای فلزی پر شده از بتن (Mu)
۱۴۳	۲-۲-۹ - تعیین منحنی اندرکنش تیر - ستونهای فلزی پر شده از بتن توسط روش LRFD
۱۴۴	۳-۹ - مدل اجزاء محدود جهت آنالیز تیر - ستونهای فلزی پر شده از بتن
۱۴۵	۴-۹ - مشخصات نمونه‌ها با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و ضوابط آیین نامه‌ای با نتایج حاصل از روش اجزاء محدود
۱۵۰	۵-۹ - رسم منحنی اندرکنش تیر - ستونهای فلزی پر شده از بتن با مقاطع مختلف مربعی و دایره‌ای
۱۵۵	۶-۹ - نتیجه گیری

## فصل دهم - نتیجه گیری

۱۵۸	۱-۱۰ - جمع‌بندی مطالب ارائه شده
۱۶۰	۲-۱۰ - نیازهای پژوهشی آینده
۱۶۲	ضمیمه
۱۶۶	Abstract
۱۶۷	منابع و مراجع

## فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۹	شکل (۱-۱) انواع مقاطع مورد استفاده در ستونهای مختلط
۱۰	شکل (۲-۱) مقطع مختلط با نسبت عرض به ضخامت زیاد
۱۳	شکل (۳-۱) مقاطع مختلط تشکیل شده از دو عدد ناودانی روبروی هم
۱۵	شکل (۴-۱) تیپ گسیختگی
۱۵	شکل (۵-۱) الگوی گسیختگی در نمونه‌های بتنی و مختلط
۱۶	شکل (۶-۱) مودهای گسیختگی
۱۸	شکل (۱-۲) منحنی تنش - کرنش کوتاه مدت برای بتن‌های معمولی
۲۱	شکل (۲-۲) مدل اصلاح شده Park, Kent (۱۹۶۴) برای رفتار تنش کرنش بتن محبوس شده توسط تنگهای مستطیلی [۸]
۲۸	شکل (۳-۲) مقطع مستطیلی پر شده با بتن و دیاگرامهای تنش و کرنش
۳۶	شکل (۱-۳) اثر سن بر روی مقاومت چسبندگی [۱۲]
۳۶	شکل (۲-۳) اثر سن بر روی مقاومت چسبندگی [۱۲]
۳۷	شکل (۳-۳) اثر سن بر روی مقاومت چسبندگی [۱۲]
۳۸	شکل (۴-۳) اثر ابعاد بر روی مقاومت چسبندگی [۱۲]
۴۰	شکل (۵-۳) رابطه بین تغییرات مقاومت چسبندگی و انقباض [۱۲]
۴۲	شکل (۶-۳) اثر درجه حرارت بر روی مقاومت چسبندگی [۱۲]

- شکل (۱-۴) اتصالات تیپ در ساختمانهای مرکب ..... ۴۶
- شکل (۲-۴) اتصال نوع A با استفاده از پیچ مهاری ..... ۴۸
- شکل (۳-۴) اتصال نوع A با اجزاء مدفون در بتن ..... ۴۸
- شکل (۴-۴) اتصال عبور از میان (تیپ B) ..... ۵۰
- شکل (۵-۴) اتصال تیر به ستون مختلط توسط پیچهای ممتد ..... ۵۱
- شکل (۶-۴) اتصال جوشی تیر به ستون مختلط ..... ۵۳
- شکل (۷-۴) جزئیات اتصال ستون به ستون ..... ۵۴
- شکل (۸-۴) نحوه سوراخکاری بر روی بدنه ستون در حالتی که دو تیر عمود بر هم به ستون برخورد می‌نمایند ..... ۵۵
- شکل (۱-۵) منحنی تیپ تنش-کرنش برای فولاد و بتن معمولی [۱] ..... ۵۸
- شکل (۲-۵) بلوک تنش برای محاسبه لنگر مقاوم نهایی (MU) [۵] ..... ۶۱
- شکل (۳-۵) مقطع مرکب تحت اثر نیروی فشاری همراه با خروج از مرکزیت [۵] ..... ۶۲
- شکل (۴-۵) منحنی اندرکنش برای ستون کوتاه [۵] ..... ۶۳
- شکل (۱-۶) مقطع مختلط و کرنش‌ها ..... ۶۸
- شکل (۲-۶) تنش‌ها وقتی که  $KU > KU_b$  ..... ۷۰
- شکل (۳-۶) تنش‌ها وقتی که  $KU < KU_b$  ..... ۷۲
- شکل (۴-۶) رابطه تجربی بین  $\alpha$  و  $\lambda$  برای استفاده در طراحی [۱۷] ..... ۷۵
- شکل (۱-۷) کمانش موضعی مقطع فولادی توخالی و توپر ..... ۸۱
- شکل (۲-۷) سطح مقطع نمونه‌ها [۱۳] ..... ۸۲

- شکل (۳-۷) موقعیت وسایل اندازه‌گیری تغییرشکها و کرنش‌ها برای ستون‌ها و تیرها [۱۳] ..... ۸۴
- شکل (۴-۷) منحنی نیروی محوری-کاهش طول ستونها [۲] ..... ۸۵
- شکل (۵-۷) منحنی بار-تغییرشکل تیرها [۲] ..... ۸۵
- شکل (۶-۷) منحنی بار محوری - کرنش دو نمونه تیر و ستون [۱۳] ..... ۸۷
- شکل (۷-۷) خرابی ستون [۱۳] ..... ۸۸
- شکل (۸-۷) عرض مؤثر ستونهای فولادی جعبه‌ای پر شده با بتن [۲] ..... ۸۹
- شکل (۹-۷) نمونه آزمایش و موقعیت وسایل اندازه‌گیری [۳] ..... ۹۳
- شکل (۱۰-۷) مقایسه بین رفتار نمونه‌ها: (a) دایره (b) مربع (c) مستطیل [۳] ..... ۹۴
- شکل (۱۱-۷) نمونه‌ای از کماتش موضعی پروفیل فولادی برای مقطع مربع ودایره [۳] ..... ۹۵
- شکل (۱-۸) عرض مؤثر ستونهای فولادی جعبه‌ای پر شده با بتن [۲] ..... ۱۰۱
- شکل (۲-۸) مقایسه بین نتایج آزمایشگاه و نتایج ناشی از روش طرح LRFD ..... ۱۰۶
- شکل (۳-۸) مدل اجزاء محدود و المانهای آن ..... ۱۰۷
- شکل (۴-۸) منحنی بارگذاری و باربرداری در سخت‌شوندگی ایزوتروپیک [۱۲] ..... ۱۰۸
- شکل (۵-۸) منحنی تنش - کرنش ایده‌آل شده فولاد [۱۳] ..... ۱۰۹
- شکل (۶-۸) منحنی تنش - کرنش بتن [۳] ..... ۱۰۹
- شکل (۷-۸) مدل تنش-کرنش ارائه شده توسط CEB-FIP (1970) [۲] ..... ۱۱۰
- شکل (۸-۸) نمونه آزمایش و موقعیت وسایل اندازه‌گیری تغییر شکل‌ها و کرنش‌ها [۲] ..... ۱۱۱
- شکل (۹-۸) مقایسه بین نتایج آزمایشگاه و نتایج ناشی از روش طرح LRFD ..... ۱۱۵
- شکل (۱۰-۸) مقایسه بین نتایج ناشی از روش اجزاء محدود و روش LRFD برای مقاطع دایره‌ای ..... ۱۲۲
- شکل (۱۱-۸) تأثیر نسبت  $\frac{D}{t}$  بر مقاومت محوری نمونه‌های با مقطع دایره‌ای ..... ۱۲۵

- شکل (۸-۱۲) اثرات افزایش مقاومت فشاری بتن مصرفی ..... ۱۲۸
- شکل (۸-۱۳) بررسی تأثیر افزایش تنش تسلیم فولاد در مقطع ستونهای مرکب ..... ۱۲۹
- شکل (۸-۱۴) مقایسه تأثیر ضخامت پوسته فولادی ..... ۱۳۱
- شکل (۸-۱۵) مقایسه اثرات افزایش مقاومت فشاری بتن، تنش تسلیم فولاد و ضخامت جداره فولادی بر روی نیروی لهیدگی ..... ۱۳۲
- شکل (۹-۱) منحنی اندرکنش برای تیر-ستونهای فلزی پرشده از بتن ..... ۱۳۶
- شکل (۹-۲) منحنیهای واقعی و ایدهآل ..... ۱۳۷
- شکل (۹-۳) منحنی اندرکنش و مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی، روش اجزاء محدود و روش طرح BS5400 ..... ۱۴۸
- شکل (۹-۴) منحنی اندرکنش برای مقطع مستطیلی به ابعاد 25\*25cm و  $ts=5mm$  ..... ۱۵۰
- شکل (۹-۵) منحنی اندرکنش برای مقطع مستطیلی به ابعاد 30\*30cm و  $ts=6mm$  ..... ۱۵۱
- شکل (۹-۶) منحنی اندرکنش برای مقطع مستطیلی به ابعاد 40\*40cm و  $ts=8mm$  ..... ۱۵۱
- شکل (۹-۷) منحنی اندرکنش برای مقطع مستطیلی به ابعاد 50\*50cm و  $ts=10mm$  ..... ۱۵۲
- شکل (۹-۸) منحنی اندرکنش برای مقطع مستطیلی به ابعاد 60\*60cm و  $ts=12mm$  ..... ۱۵۲
- شکل (۹-۹) منحنی اندرکنش برای مقطع مستطیلی به ابعاد 70\*70cm و  $ts=13.5mm$  ..... ۱۵۳
- شکل (۹-۱۰) منحنی اندرکنش برای مقطع دایره‌ای به قطر 25cm و  $ts=3mm$  ..... ۱۵۳
- شکل (۹-۱۱) منحنی اندرکنش برای مقطع دایره‌ای به قطر 30cm و  $ts=3.5mm$  ..... ۱۵۴
- شکل (۹-۱۲) منحنی اندرکنش برای مقطع دایره‌ای به قطر 35cm و  $ts=4mm$  ..... ۱۵۴
- شکل (۹-۱۳) منحنی اندرکنش برای مقطع دایره‌ای به قطر 40cm و  $ts=5mm$  ..... ۱۵۵

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

- جدول (۱-۱) خلاصه تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده در مورد ستونهای مختلط ..... ۶
- جدول (۱-۲) ضرائب  $c_1$  و  $c_2$  بر حسب  $\frac{L_e}{D_e}$  ..... ۲۶
- جدول (۱-۳) مشخصات نمونه ها [۱۲] ..... ۳۵
- جدول (۲-۳) اثر ابعاد بر روی مقاومت چسبندگی [۱۲] ..... ۳۷
- جدول (۳-۳) کرنش انقباضی نمونه ها [۱۲] ..... ۳۹
- جدول (۴-۳) اثر نحوه عمل آوردن بتن بر روی مقاومت چسبندگی [۱۲] ..... ۴۱
- جدول (۵-۳) نتایج آزمایشات برای دماهای مختلف [۱۲] ..... ۴۲
- جدول (۱-۷) مشخصات نمونه‌ها و مصالح مصرفی [۲] ..... ۸۳
- جدول (۲-۷) تنش‌های پس ماند [۲] ..... ۸۳
- جدول (۳-۷) مقایسه بین نتایج تئوری و تجربی [۲] ..... ۹۰
- جدول (۴-۷) مشخصات نمونه‌ها [۳] ..... ۹۲
- جدول (۱-۸) مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی ..... ۱۰۳
- جدول (۲-۸) محاسبه نیروی لهیدگی توسط روش آئین‌نامه LRFD ..... ۱۰۴
- جدول (۳-۸) مقایسه بین نتایج آزمایشگاه و نتایج ناشی از LRFD ..... ۱۰۵