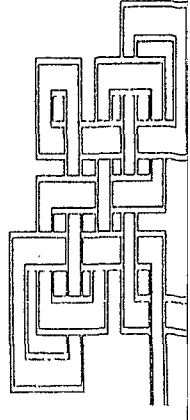
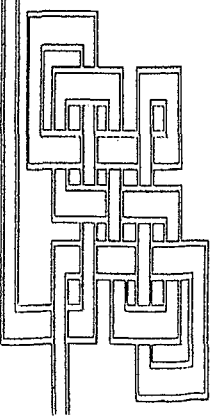


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده عمران

بررسی تجربی - تحلیلی جزئیات اتصال خمشی

تیرهای پیوسته به ستون

نگارش: مهدی دهقانی رنانی

استاد راهنما: دکتر سید رسول میرقادری

استاد مشاور: دکتر علی مزروعی

رساله برای دریافت درجه دکتری

در

مهندسی عمران - مهندسی زلزله

بهمن ماه ۱۳۸۶

۶۷۳۷



۱۳۸۷ / ۲ / ۱۳

اهدا

ارزش معنوی این اثر را به آن مجاهد نستوه، امام خمینی (ره) تقدیم می‌دارم.

## پیشگفتار

الهی به فضیلت این تلاش به سرانجام رسید ...

ولی خود می دانم که لیاقت پذیرشت را ندارد.

((یا سریع الرضا))

این کوشش به ظاهر کثیر را از عبدی با اخلاصی به واقع قلیل، به کرم خویش پذیر.

مهدی دهقانی رنانی

بهمن ماه یکهزار و سیصد و هشتاد و شش

## تقدیر و تشکر

این پژوهش مرهون حسن نظر و راهنمایی استاد گرامی آقای دکترسید رسول میرقادری می باشد. بر خود لازم می دانم کمال تقدیر و تشکر را از ایشان داشته باشم.

همچنین از کمک های دوستان گرامی آقای مهندس امیر حسین شبانی، آقای مهندس شهاب الدین ترا بیان، خانم مهندس ساناز اهل حق، و آقای مهندس ایمانپور تشکر می کنم.

## چکیده

موضوع این پژوهش مطالعه تکمیلی، ارتقاء و تنوع بخشی به جزئیات منحصر به فردی از اتصالات خمشی جوشی تیرهای پیوسته (خرجینی) به ستون و همچنین ارائه و مطالعه جزئیات پیچی اتصال مذکور می باشد. قسمت دیگر این پژوهش مربوط به ارائه و مطالعه جزئیات اتصال خمشی تیر به ستون برای تیرهای جهت عمود بر تیرهای پیوسته می باشد. در جهت نیل به اهداف فوق جمعاً شش نمونه آزمایشی از اتصالات مذکور و همچنین یک نمونه آزمایشی معیار از اتصال خمشی متعارف تیر به ستون با استفاده از ورقهای زیر سری و روسری همه با مقیاس دو سوم ساخته گردید. این نمونه ها مطابق با دستور العمل ضوابط طراحی لرزه ای سازه های فولادی آمریکا تحت بارگذاری چرخه ای آزمایش شد. هر شش نمونه تا  $0/08$  رادیان شاخص تغییر مکان طبقه ای بارگذاری چرخه ای را به خوبی و بدون بروز افت مقاومت قابل توجه تحمل کردند. این امر در حالی است که تحمل  $0/04$  رادیان بارگذاری چرخه ای توسط یک نمونه آزمایشگاهی برای کسب صلاحیت به منظور استفاده در قابهای خمشی ویژه کفایت می کند. در قسمت دیگری از این پژوهش با استفاده از روش اجزاء محدود به محاسبه شاخص گسیختگی در جوشهای نفوذی اتصالات جوشی مورد بررسی پرداخته شد. سپس این شاخص در اتصالات مذکور با اتصالات متعارف قبل و پس از زلزله نورتریج مقایسه گردید. نتایج تحلیل ها نشان داد که شاخص گسیختگی در جوش نفوذی اتصالات خمشی تیرهای پیوسته به ستون در حالتی که تیر از نوع ناودانی بوده و جان ناودانی نیز به ورق اتصال جوش شده است و همچنین در جوش نفوذی اتصال خمشی تیر به ستون برای تیرهای جهت عمود بر تیرهای پیوسته به مراتب کمتر از شاخص گسیختگی در اتصال خمشی معیار می باشد. این شاخص در جوش نفوذی اتصالات خمشی تیرهای پیوسته به ستون در حالتی که تیر با مقطع I شکل می باشد در حد شاخص گسیختگی در اتصال خمشی معیار می باشد. در قسمت دیگری از این پژوهش روابط طراحی اجزاء اتصالات موضوع پژوهش با استفاده از مدل‌های متعدد اجزاء محدود مورد مطالعه پارامتریک قرار گرفت. این مطالعات مبین برآورد قابل اطمینان روابط مذکور از ضخامت مورد نیاز برای اجزای اتصالات مورد بررسی می باشد.

صفحه	فهرست مطالب	عنوان
۱		فصل اول- مبانی اتصالات خمشی و رفتار لرزه‌ای آنها
۱		۱-۱- مقدمه
۱		۲-۱- مفاهیم پایه
۲		اتصالات گیردار
۲		اتصالات ساده
۲		اتصالات نیمه گیردار
۳		سختی اتصال
۵		مقاومت اتصال
۵		شکل‌پذیری اتصال
۷		طبقه بندی اتصالات از نظر میزان صلبیت بر اساس روش آیین نامه سازه‌های فولادی آمریکا
۸		تعیین رده اتصال از نظر تامین میزان شکل‌پذیری
۸		اتصالات قاب‌های خمشی ویژه
۹		اتصالات قاب‌های خمشی متوسط
۹		اتصالات قاب‌های خمشی معمولی
۱۰		۳-۱- رفتار قاب‌های خمشی در زلزله نورتریج ۱۹۹۴
۱۲		۴-۱- بازنگری کلی در جزئیات اتصالات خمشی پس از زلزله نورتریج
۱۲		اتصالات غیر مصلح
۱۳		اتصالات مصلح
۱۴		اتصالات با مقطع تیر کاهش یافته
۱۶		فصل دوم- اتصال خمشی تیرهای پیوسته به ستون
۱۶		۱-۲- قاب خرجینی
۱۷		۲-۲- معرفی اتصال خمشی تیرهای پیوسته به ستون و مروری بر پیشینه پژوهشی طرح
۱۹		۱-۲-۲- ویژگی‌های اتصال خمشی تیرهای پیوسته به ستون
۲۴		۲-۲-۲- ضرورت‌های انجام مطالعات تکمیلی
۳۰		فصل سوم- برپایش و ابزاربندی آزمایش

۳۰	۳-۱- برپایش آزمایش
۳۳	۳-۲- ابزار دقیق
۳۴	۳-۳- اندازه گیری دوران اتصال
۳۶	۳-۴- ثبت تغییر شکل‌های ظاهری نمونه
۳۶	۳-۵- رویه بارگذاری
۳۴	فصل چهارم- نمونه‌های آزمایشگاهی
۳۸	۴-۱- نمونه‌های اول و هفتم
۴۱	۴-۲- نمونه دوم
۴۴	۴-۳- نمونه سوم
۴۷	۴-۴- نمونه‌های چهارم و ششم
۵۰	۴-۵- نمونه پنجم
۵۲	۴-۶- تعیین مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی
۵۳	۴-۷- نکات قابل توجه در فرایند ساخت نمونه‌ها
۵۸	فصل پنجم- نتایج آزمایش‌ها
۵۸	۵-۱- آزمایش اول
۵۸	۵-۱-۱- رفتار کلی نمونه
۵۹	۵-۱-۲- مشاهدات آزمایش
۶۲	۵-۱-۳- بررسی تحلیلی رفتار نمونه
۶۶	۵-۲- آزمایش دوم
۶۶	۵-۲-۱- رفتار کلی نمونه
۶۷	۵-۲-۲- مشاهدات ثبت شده از رفتار نمونه در طول آزمایش
۷۰	۵-۲-۳- بررسی تحلیلی رفتار نمونه
۷۳	۵-۳- آزمایش سوم
۷۳	۵-۳-۱- رفتار کلی نمونه
۷۴	۵-۳-۲- مشاهدات ثبت شده از رفتار نمونه در طول آزمایش



صفحه	فهرست مطالب	عنوان
۷۵		۵-۳-۳- بررسی تحلیلی رفتار نمونه
۷۷		۵-۴- آزمایش چهارم
۷۷		۵-۴-۱- رفتار کلی نمونه
۷۹		۵-۴-۲- مشاهدات ثبت شده از رفتار نمونه در طول آزمایش
۸۱		۵-۴-۳- بررسی تحلیلی رفتار نمونه
۸۴		۵-۵- آزمایش پنجم
۸۴		۵-۵-۱- رفتار کلی نمونه
۸۶		۵-۵-۲- مشاهدات ثبت شده از رفتار نمونه در طول آزمایش
۸۸		۵-۵-۳- بررسی تحلیلی رفتار نمونه
۹۱		۵-۶- آزمایش ششم
۹۱		۵-۶-۱- رفتار کلی نمونه
۹۲		۵-۶-۲- مشاهدات آزمایش
۹۶		۵-۶-۳- بررسی تحلیلی رفتار نمونه
۹۹		۵-۷- آزمایش هفتم
۹۹		۵-۷-۱- رفتار کلی نمونه
۱۰۱		۵-۷-۲- مشاهدات آزمایش
۱۰۷		فصل ششم - مطالعات تحلیلی
۱۰۷		۶-۱- مقدمه
۱۰۷		۶-۲- رفتار غیر خطی هندسی
۱۰۹		۶-۳- رفتار غیر خطی مادی
۱۰۹		۶-۳-۱- تئوری های سخت شدگی کرنشی فولاد
۱۱۰		۶-۳-۲- معیار فون میسر
۱۱۰		۶-۴- المانهای مورد استفاده
۱۱۵		۶-۵- پیش تنیده کردن پیچ ها
۱۱۶		۶-۶- شرایط مرزی

صفحه	فهرست مطالب	عنوان
۱۱۷		۶-۷- شاخصهای گسیختگی
۱۱۹		۶-۸- تکنیک زیر مدلسازی
۱۲۰		۶-۹- معیار سازی مدلها
۱۲۰		۶-۹-۱- مدل اجزاء محدود نمونه اول
۱۲۱		۶-۹-۲- مدل اجزاء محدود نمونه سوم
۱۲۲		۶-۹-۳- مدل اجزاء محدود نمونه چهارم
۱۲۴		۶-۹-۴- مدل اجزاء محدود نمونه پنجم
۱۲۷		۶-۱۰- مطالعه پارامتریک بر رفتار اتصال خمشی تیرهای پیوسته به ستون و روابط طراحی آن
۱۳۱		۶-۱۰-۱- بررسی روابط طراحی ورقهای اتصال
۱۳۳		۶-۱۰-۲- مطالعه صلبیت نمونهها
۱۳۳		۶-۱۱- مطالعه پارامتریک بر رفتار اتصال خمشی تیرهای عمود بر تیرهای پیوسته و روابط طراحی آن
۱۳۶		۶-۱۱-۱- بررسی روابط طراحی ورقهای اتصال
۱۳۹		۶-۱۲- مطالعه پارامتریک رفتار اتصال خمشی پیچی تیرهای پیوسته به ستون و روابط طراحی آن
۱۴۰		۶-۱۲-۱- عملکرد اهرمی
۱۴۲		۶-۱۲-۲- مطالعه پارامتریک
۱۴۵		۶-۱۲-۳- مطالعه صلبیت اتصال
۱۴۶		۶-۱۳- مقایسه شاخص گسیختگی اتصالات مورد بررسی با اتصالات متعارف
۱۴۶		۶-۱۳-۱- اتصالات مرجع
۱۴۶		۶-۱۳-۱-۱- اتصال مرجع اول- اتصال خمشی متعارف پیش از زلزله نورتریج
۱۴۹		۶-۱۳-۱-۲- اتصال مرجع دوم - اتصال خمشی تیر به ستون با مقطع H شکل با استفاده از ورقهای زیر سری و روسری
۱۵۲		۶-۱۳-۱-۳- اتصال مرجع سوم - اتصال خمشی تیر به ستون با مقطع قوطی شکل با استفاده از ورقهای زیر سری و روسری
۱۵۵		۶-۱۳-۲- مقایسه شاخص گسیختگی در اتصالات مرجع
۱۵۵		۶-۱۳-۳- اتصالات مورد بررسی
۱۵۵		۶-۱۳-۱-۳- اتصال مورد بررسی اول (Con1)- اتصال خمشی تیرهای پیوسته به ستون در حالت تیرهای ناودانی
۱۵۸		۶-۱۳-۳-۲- اتصال مورد بررسی دوم (Con2)- اتصال خمشی تیرهای پیوسته به ستون در حالت تیرهای I شکل

صفحه	فهرست مطالب	عنوان
۱۶۲	اتصال خمشی تیرهای جهت عمود بر تیرهای پیوسته (Con3)	۶-۱۳-۳-۳- اتصال مورد بررسی دوم (Con3)-اتصال خمشی تیرهای جهت عمود بر تیرهای پیوسته
۱۶۴	فصل هفتم - جمع بندی	
۱۶۴	۱-۷- اتصال خمشی تیرهای پیوسته به ستون	
۱۶۴	۱-۱-۷- اتصال خمشی جوشی تیرهای پیوسته با مقطع ناودانی به ستون	
۱۶۵	۲-۱-۷- اتصال خمشی جوشی تیرهای پیوسته با مقطع I شکل به ستون	
۱۶۶	۳-۱-۷- اتصال خمشی پیچی تیرهای پیوسته به ستون	
۱۶۶	۲-۷- اتصال خمشی تیرهای جهت عمود بر تیرهای پیوسته	
۱۶۷	۳-۷- اتصال خمشی تیر به ستون با مقطع قوطی با استفاده از ورقهای روسری و زیرسری	
۱۶۸	منابع	
۱۷۲	پیوست یک - طراحی اتصال خمشی تیرهای پیوسته به ستون با استفاده از ورقهای دوزنقه ای	
۱۷۷	پیوست دو - طراحی اتصال خمشی تیرهای پیوسته به ستون با استفاده از ورقهای R	

صفحه	عنوان
۴۱	جدول ۴-۱- مشخصات ابعادی و اجرایی نمونه‌های اول و هفتم
۴۴	جدول ۴-۲- مشخصات ابعادی و اجرایی نمونه دوم
۴۷	جدول ۴-۳- مشخصات ابعادی و اجرایی نمونه سوم
۵۰	جدول ۴-۴- مشخصات ابعادی و اجرایی نمونه چهارم
۵۳	جدول ۴-۵- مشخصات ابعادی و اجرایی نمونه پنجم
۵۴	جدول ۴-۶- مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی در ساخت نمونه‌ها
۵۶	جدول ۴-۷- جزئیات اتصال با جوش شیاری نیم جناغی یک طرفه بدون پشتبند پیش تأیید شده
۵۷	جدول ۴-۸- جزئیات اتصال با جوش شیاری نیم جناغی یک طرفه با پشت بند پیش تأیید شده
۱۲۸	جدول ۶-۱- مشخصات ابعادی نمونه‌های تحلیلی FS1 ، FS2 ، FS3 و SS1 ، SS2 ، SS3
۱۳۴	جدول ۶-۲- تعیین رده صلبیت نمونه‌ها
۱۳۵	جدول ۶-۳- مشخصات ابعادی نمونه‌های تحلیلی PS1 ، PS2 و PS3
۱۴۰	جدول ۶-۴- تعیین رده صلبیت نمونه‌ها
۱۴۶	جدول ۶-۵- تعیین رده صلبیت اتصال
۱۴۷	جدول ۶-۶- مشخصات ابعادی اتصالات مرجع
۱۵۷	جدول ۶-۷- مشخصات ابعادی مدل اتصال مورد بررسی اول (Con1)
۱۵۹	جدول ۶-۸- مشخصات ابعادی مدل اتصال مورد بررسی دوم (Con2)

صفحه	فهرست اشکال	عنوان
۱	شکل ۱-۱- تقسیم بندی اتصالات بر اساس سختی چرخشی آنها	
۳	شکل ۱-۲- منحنی لنگر - دوران اتصال	
۴	شکل ۱-۳- مفهوم سختی اولیه و سکانت در منحنی لنگر- دوران	
۴	شکل ۱-۴- مفهوم مقاومت اتصال در منحنی لنگر- دوران	
۵	شکل ۱-۵- مفهوم سختی، مقاومت و ظرفیت دوران اتصال	
۷	شکل ۱-۶- طبقه بندی اتصالات براساس صلبیت	
۹	شکل ۱-۷- حداکثر افت مقاومت قابل قبول برای اتصالات خمشی ویژه	
۱۰	شکل ۱-۸- ناحیه شروع ترک در اتصالات تیر به ستون	
۱۱	شکل ۱-۹- گسیختگی های اتصال تیر به ستون	
۱۱	شکل ۱-۱۰- گسیختگی های ستون	
۱۲	شکل ۱-۱۱- گسیختگی در اتصال برشی جان	
۱۲	شکل ۱-۱۲- نمونه ای از اتصالات خمشی غیر مسلح با جوش بهبود یافته	
۱۳	شکل ۱-۱۳- اتصال ماهیچه ای	
۱۴	شکل ۱-۱۴- اتصال با ورق زیرسری و روسری	
۱۵	شکل ۱-۱۵- اتصال با مقطع تیر کاهش یافته	
۱۶	شکل ۱-۲- اتصال خرجینی	
۱۷	شکل ۲-۲- رفتار چرخه ای اتصال خرجینی	
۱۹	شکل ۲-۳- جزئیات اتصال خمشی تیرهای پیوسته (خرجینی) به ستون	
۱۹	شکل ۲-۴- مکانیزم انتقال لنگر از تیر به ستون از طریق ورق های اتصال	
۲۱	شکل ۲-۵- لنگرهای ثقلی و لرزه ای در یک اتصال میانی	
۲۳	شکل ۲-۶- نمونه آزمایشی F8	
۲۴	شکل ۲-۷- نمونه آزمایشی F9	
۲۴	شکل ۲-۸- نمونه آزمایشی F10	
۲۶	شکل ۲-۹- جزئیات اتصال خمشی تیر عمود بر امتداد تیرهای پیوسته	
۲۶	شکل ۲-۱۰- جزئیات اتصال خمشی در هر دو امتداد همراه با مهاربندی	
۲۸	شکل ۲-۱۱- قسمتهای مختلف ورق R	
۲۹	شکل ۲-۱۲- ورق های دوزنقه ای و اتصال آن به بال ستون	
۲۹	شکل ۲-۱۳- ورق های دوزنقه ای و بال تقویت شده ستون در ناحیه اتصال	
۳۰	شکل ۲-۱۴- جزئیات اتصال خمشی پیچی تیرهای پیوسته به ستون	

صفحه	فهرست اشکال	عنوان
۳۱	شکل ۳-۱- شرایط تکیه‌گاهی در برپایش آزمایش	
۳۲	شکل ۳-۲- مقایسه تغییر شکل‌های نمونه آزمایشی و یک قاب خمشی تحت بار جانبی	
۳۳	شکل ۳-۳- برپایش آزمایش برای اتصالات تیرهای پیوسته به ستون	
۳۳	شکل ۳-۴- برپایش آزمایش برای اتصالات تیرهای متعارف به ستون	
۳۴	شکل ۳-۵- تغییر مکان سنج یا LVDT	
۳۴	شکل ۳-۶- دستگاه ثبت مقادیر	
۳۵	شکل ۳-۷- نصب کرنش سنج بر روی ساق پیچ	
۳۵	شکل ۳-۸- دستگاه شنک	
۳۶	شکل ۳-۹- شیوه اندازه‌گیری اتصال	
۳۷	شکل ۳-۱۰- تاریخچه بارگذاری	
۳۹	شکل ۴-۱- جزئیات نمونه‌های آزمایشی اول و هفتم	
۴۰	شکل ۴-۲- مشخصات مقاطع تیر و ستون در نمونه‌های اول، دوم، چهارم، پنجم، ششم و هفتم (الف) پروفیل روسی (ج) ابعاد ستون UPE140 (ب) ابعاد پروفیل IPE140	
۴۱	شکل ۴-۳- ابعاد ورق R	
۴۳	شکل ۴-۴- نمونه آزمایشی دوم	
۴۳	شکل ۴-۵- ابعاد ورقهای روسری و زیرسری	
۴۶	شکل ۴-۶- نمونه آزمایشی سوم	
۴۷	شکل ۴-۷- مشخصات (الف) مقطع ستون (ب) مقطع تیر (ج) ورق روسری نمونه سوم	
۴۹	شکل ۴-۸- جزئیات نمونه آزمایشی چهارم	
۴۹	شکل ۴-۹- جزئیات نمونه آزمایشی ششم	
۵۰	شکل ۴-۱۰- ابعاد ورق اتصال	
۵۲	شکل ۴-۱۱- جزئیات نمونه آزمایشی پنجم	
۵۵	شکل ۴-۱۲- جوشهای نفوذی ورق اتصال و ورق پیوستگی	
۵۶	شکل ۴-۱۳- سمت انجام پاس اول جوش نفوذی ورق اتصال	
۵۶	شکل ۴-۱۴- نحوه انجام شیارزنی ریشه جوش	
۵۸	شکل ۴-۱۵- آزمایش امواج فراصوتی جهت اطمینان از کیفیت جوشکاری	
۵۹	شکل ۵-۱- منحنی نیرو- تغییر مکان نمونه اول آزمایشگاهی	
۶۰	شکل ۵-۲- منحنی لنگر تیرهای پیوسته در وجه ستون در مقابل شاخص تغییر مکان نمونه اول آزمایشگاهی	
۶۰	شکل ۵-۳- نمونه اول آزمایشگاهی	

صفحه	فهرست اشکال	عنوان
۶۱	شکل ۵-۴- ترک‌های ایجاد شده در پوشش آهکی بال تیر	
۶۲	شکل ۵-۵- ریزش پوشش آهکی بال تیر در محدوده مفصل پلاستیک	
۶۲	شکل ۵-۶- کماتش موضعی بال تیر در ناحیه مفصل پلاستیک	
۶۴	شکل ۵-۷- محل نصب کرنش سنج در (الف) بال تیر در ناحیه مفصل پلاستیک (ب) ورق R از نمونه اول	
۶۴	شکل ۵-۸- مقادیر کرنش نرمال شده در بالهای تیر در ناحیه مفصل پلاستیک نمونه اول در ازای مقادیر مختلف شاخص تغییر مکان طبقه‌ای	
۶۵	شکل ۵-۹- مقادیر کرنش محوری نرمال شده در ورق اتصال نمونه (ناحیه مجاور اتصال به بال تیر)	
۶۶	شکل ۵-۱۰- نمودار لنگر وارد بر اتصال- دوران اتصال در نمونه اول آزمایشگاهی	
۶۷	شکل ۵-۱۱- منحنی نیرو- تغییر مکان نمونه دوم آزمایشگاهی	
۶۸	شکل ۵-۱۲- منحنی لنگر تیر در وجه ستون در مقابل شاخص تغییر مکان طبقه‌ای برای نمونه دوم آزمایشگاهی	
۶۸	شکل ۵-۱۳- ریزش پوشش آهکی در ناحیه مفصل پلاستیک	
۶۹	شکل ۵-۱۴- کماتش موضعی بال تیر در ناحیه مفصل پلاستیک	
۶۹	شکل ۵-۱۵- کماتش موضعی جان تیر در ناحیه مفصل پلاستیک	
۷۰	شکل ۵-۱۶- کماتش موضعی در بال و جان تیر در انتهای آزمایش	
۷۰	شکل ۵-۱۷- نمونه آزمایشی دوم در انتهای آزمایش	
۷۱	شکل ۵-۱۸- محل نصب کرنش سنج در بالهای فوقانی و تحتانی تیر در ناحیه تشکیل مفصل پلاستیک و ورق روسری نمونه دوم	
۷۲	شکل ۵-۱۹- نمودار مقادیر نرمال شده کرنش نسبت به کرنش تسلیم در بال فوقانی و تحتانی و جان تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک	
۷۳	شکل ۵-۲۰- نمودار لنگر وارد بر اتصال- دوران چشمه اتصال در نمونه دوم آزمایشگاهی	
۷۳	شکل ۵-۲۱- نمودار کرنش فون میسز در ورق روسری در مجاورت نوار جوش نفوذی به ورق R	
۷۴	شکل ۵-۲۲- منحنی نیرو- تغییر مکان نمونه سوم آزمایشگاهی	
۷۴	شکل ۵-۲۳- منحنی لنگر تیر در وجه ستون در مقابل شاخص تغییر مکان طبقه‌ای نمونه سوم	
۷۵	شکل ۵-۲۴- تشکیل اولین ترکها در پوشش آهکی بال تیر	
۷۵	شکل ۵-۲۵- ریزش پوشش آهکی چشمه اتصال و ناحیه مفصل پلاستیک	
۷۶	شکل ۵-۲۶- نمونه آزمایشگاهی سوم در انتهای آزمایش	
۷۷	شکل ۵-۲۷- نمودار مقادیر نرمال شده کرنش در بال فوقانی و تحتانی تیر	
۷۷	شکل ۵-۲۸- محل نصب کرنش سنج در بالهای فوقانی و تحتانی تیر در ناحیه تشکیل مفصل پلاستیک و گلوگاه ورق روسری نمونه سوم	

- شکل ۲۹-۵- نمودار لنگر وارد بر اتصال- دوران چشمه اتصال در نمونه سوم آزمایشگاهی ۷۷
- شکل ۳۰-۵- نمودار مقادیر نرمال شده کرنش در گلوگاه ورق روسری ۷۸
- شکل ۳۱-۵- منحنی نیرو- تغییر مکان نمونه چهارم آزمایشگاهی ۷۹
- شکل ۳۲-۵- منحنی لنگر تیرهای پیوسته در وجه ستون در مقابل شاخص تغییر مکان طبقه‌ای نمونه چهارم آزمایشگاهی ۷۹
- شکل ۳۳-۵- نمونه چهارم آزمایشگاهی ۷۹
- شکل ۳۴-۵- تشکیل اولین ترک‌ها در پوشش آهکی بال تیر ۸۰
- شکل ۳۵-۵- ریزش پوشش آهکی بال تیر ۸۰
- شکل ۳۶-۵- تشکیل مفصل پلاستیک در تیر ۸۱
- شکل ۳۷-۵- وقوع کمانش موضعی در بال تیر ۸۱
- شکل ۳۸-۵- محل نصب کرنش سنج در (الف) بالهای فوقانی و تحتانی تیر در ناحیه مفصل پلاستیک (ب) جان تیر در ناحیه تشکیل مفصل پلاستیک (ج) ورق اتصال در نمونه چهارم ۸۲
- شکل ۳۹-۵- مقادیر کرنش نرمال شده بالها و جان تیر در مفصل پلاستیک نمونه چهارم در ازای مقادیر مختلف شاخص تغییر مکان طبقه‌ای ۸۳
- شکل ۴۰-۵- مقادیر کرنش محوری نرمال شده در ورقهای اتصال نمونه چهارم (در مجاورت اتصال به تیر) ۸۳
- شکل ۴۱-۵- نمودار لنگر اتصال- دوران چشمه اتصال برای نمونه چهارم ۸۴
- شکل ۴۲-۵- منحنی نیرو- تغییر مکان نمونه پنجم آزمایشگاهی ۸۶
- شکل ۴۳-۵- منحنی لنگر تیرهای پیوسته در وجه ستون در مقابل شاخص تغییر مکان طبقه‌ای نمونه پنجم آزمایشگاهی ۸۶
- شکل ۴۴-۵- نمونه آزمایشگاهی پنجم ۸۷
- شکل ۴۵-۵- گسترش ترک در پوشش آهکی بال تیر ۸۷
- شکل ۴۶-۵- جدایش بین ورق رابط و بال تیر ۸۸
- شکل ۴۷-۵- نمونه آزمایشی در پایان آزمایش ۸۹
- شکل ۴۸-۵- محل نصب کرنش سنج در (الف) بال تیر در ناحیه تشکیل مفصل پلاستیک (ب) ورق R از نمونه پنجم ۹۰
- شکل ۴۹-۵- مقادیر کرنش نرمال شده در بالهای تیر در مفصل پلاستیک نمونه پنجم در ازای مقادیر مختلف شاخص تغییر مکان طبقه‌ای ۹۰
- شکل ۵۰-۵- مقادیر کرنش نرمال شده در ورقهای اتصال در نمونه پنجم در ازای مقادیر مختلف شاخص تغییر مکان طبقه‌ای ۹۱



صفحه	فهرست اشکال	عنوان
۹۲	شکل ۵-۵۱- نمودار لنگر وارد بر اتصال- دوران اتصال در نمونه پنجم آزمایشگاه	
۹۲	شکل ۵-۵۲- نمودار لنگر وارد بر اتصال- دوران اتصال در نمونه پنجم آزمایشگاهی در مقیاس بزرگتر	
۹۳	شکل ۵-۵۳- منحنی نیرو- تغییر مکان نمونه ششم آزمایشگاهی	
۹۳	شکل ۵-۵۴- منحنی لنگر تیرهای پیوسته در وجه ستون در مقابل شاخص تغییر مکان طبقه‌ای برای نمونه ششم آزمایشگاهی	
۹۴	شکل ۵-۵۵- ایجاد ترک در پوشش آهکی ورق اتصال	
۹۴	شکل ۵-۵۶- ایجاد ترک در پوشش آهکی بال تیر در مجاورت ورق اتصال دهنده دو تیر	
۹۵	شکل ۵-۵۷- گسترش ترکها در پوشش آهکی بال تیر	
۹۵	شکل ۵-۵۸- رخداد کمانش جانبی تیر و اتکاء تیر به تکیه‌گاه	
۹۶	شکل ۵-۵۹- رخداد کمانش موضعی در بال تیر	
۹۶	شکل ۵-۶۰- نمونه آزمایشگاهی ششم در انتهای آزمایش	
۹۷	شکل ۵-۶۱- محل نصب کرنش سنج در (الف) بالهای فوقانی و تحتانی تیر در ناحیه مفصل پلاستیک (ب) ورق اتصال (ج) چشمه اتصال در نمونه ششم	
۹۸	شکل ۵-۶۲- مقادیر کرنش نرمال شده بالهای تیر در مفصل پلاستیک نمونه ششم در ازای مقادیر مختلف شاخص تغییر مکان طبقه‌ای	
۹۸	شکل ۵-۶۳- مقادیر متوسط کرنش محوری نرمال شده در ورقهای اتصال نمونه ششم ( مجاور ناحیه اتصال به بال تیر)	
۹۹	شکل ۵-۶۴- نمودار لنگر وارد بر اتصال- دوران اتصال در نمونه ششم آزمایشگاهی	
۱۰۰	شکل ۵-۶۵- نمودار مقدار کرنش فون میسر نرمال شده در چشمه اتصال در ازای مقادیر مختلف شاخص تغییر مکان طبقه‌ای	
۱۰۱	شکل ۵-۶۶- منحنی نیرو- تغییر مکان نمونه هفتم آزمایشگاهی	
۱۰۱	شکل ۵-۶۷- منحنی لنگر تیرهای پیوسته در وجه ستون در مقابل شاخص تغییر مکان نمونه هفتم آزمایشگاهی	
۱۰۲	شکل ۵-۶۸- گسترش ترکهای پوشش آهکی مفصل پلاستیک	
۱۰۳	شکل ۵-۶۹- کمانش موضعی در بال تیر	
۱۰۳	شکل ۵-۷۰- تشدید کمانشهای موضعی در بال تیر در انتهای آزمایش	
۱۰۴	شکل ۵-۷۲- محل نصب کرنش سنج در (الف) بالهای فوقانی و تحتانی تیر در ناحیه مفصل پلاستیک (ج) جان تیر در ناحیه مفصل پلاستیک و چشمه اتصال در نمونه هفتم R(ب) ورق	

۱۰۵	شکل ۷۳-۵- نمودار مقادیر نرمال شده کرنش در بال فوقانی و تحتانی و جان تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک
۱۰۶	شکل ۷۴-۵- نمودار نرمال شده کرنش محوری ورق اتصال در راستای قائم
۱۰۶	شکل ۷۵-۵- نمودار لنگر وارد بر اتصال- دوران اتصال در نمونه هفتم آزمایشگاهی
۱۰۷	شکل ۷۶-۵- نمودار مقدار کرنش فون میسر نرمال شده به کرنش تسلیم اسمی فولاد
۱۰۸	شکل ۱-۶- مد کمانشی مدل اجزاء محدود اتصال خمشی تیرهای پیوسته به ستون
۱۱۰	شکل ۲-۶- سخت شدگی همسان
۱۱۰	شکل ۳-۶- سخت شدگی سینماتیک
۱۱۱	شکل ۴-۶- المان SHELL43
۱۱۲	شکل ۵-۶- المان SOLID45
۱۱۲	شکل ۶-۶- المان LINK8
۱۱۳	شکل ۷-۶- المان BEAM4
۱۱۴	شکل ۸-۶- المان PRETS179
۱۱۵	شکل ۹-۶- المان TARGE170
۱۱۶	شکل ۱۰-۶- المان CONTA173
۱۱۷	شکل ۱۱-۶- پیکربندی مدل‌های اجزاء محدود T شکل
۱۲۱	شکل ۱۲-۶- مدل اجزاء محدود نمونه اول آزمایشگاهی
۱۲۲	شکل ۱۳-۶- مقایسه نمودار لنگر- شاخص تغییر مکان نمونه اول آزمایشگاهی و مدل اجزاء محدود آن
۱۲۳	شکل ۱۴-۶- مدل اجزاء محدود نمونه سوم آزمایشگاهی
۱۲۳	شکل ۱۵-۶- مقایسه نمودار لنگر- شاخص تغییر مکان طبقه ای نمونه سوم آزمایشگاهی و مدل اجزاء محدود آن
۱۲۴	شکل ۱۶-۶- مدل اجزاء محدود نمونه چهارم آزمایشگاهی
۱۲۴	شکل ۱۷-۶- مقایسه نمودار لنگر- شاخص تغییر مکان طبقه ای نمونه چهارم آزمایشگاهی و مدل اجزاء محدود آن

صفحه	فهرست اشکال	عنوان
۱۲۵	شکل ۶-۱۸ - مدل اجزاء محدود نمونه آزمایشی پنجم	
۱۲۶	شکل ۶-۱۹ - جزئیات مدلسازی نمونه آزمایشی پنجم	
۱۲۶	شکل ۶-۲۰ روی هم گذاری المان‌های BEAM و SOLID	
۱۲۷	شکل ۶-۲۱ - منحنی‌های هم شدت کرنش پلاستیک و تشکیل مفصل پلاستیک در تیر	
۱۲۷	شکل ۶-۲۲ - مقایسه نمودار لنگر- شاخص تغییر مکان طبقه ای نمونه پنجم آزمایشگاهی و مدل اجزاء محدود آن	
۱۲۹	شکل ۶-۲۳ - مد کمانشی مدل اجزاء محدود نمونه FS1	
۱۲۹	شکل ۶-۲۴ - مد کمانشی مدل اجزاء محدود نمونه SS1	
۱۳۰	شکل ۶-۲۵ - کرنش‌های پلاستیک ایجاد شده در محل مفصل پلاستیک در تیرهای نمونه FS1	
۱۳۰	شکل ۶-۲۶ - کرنش‌های پلاستیک ایجاد شده در محل تشکیل مفصل پلاستیک در تیرهای نمونه SS	
۱۳۱	شکل ۶-۲۷ - منحنی‌های هم شدت تنش در نمونه FS1 در ازای ۰/۰۴ رادیان شاخص تغییر مکان طبقه ای	
۱۳۱	شکل ۶-۲۸ - منحنی‌های هم شدت تنش در نمونه SS1 در ازای ۰/۰۴ رادیان شاخص تغییر مکان طبقه ای	
۱۳۲	شکل ۶-۲۹ - منحنی لنگر ایجاد شده در مفصل پلاستیک در ازای چرخش اتصال برای نمونه‌های SS1 ، SS2 و SS3 درازای ضخامت‌های متفاوت ورق اتصال	
۱۳۳	شکل ۶-۳۰ - منحنی لنگر ایجاد شده در مفصل پلاستیک درازای چرخش اتصال برای نمونه‌های FS1 ، FS2 و FS3 درازای ضخامت‌های متفاوت ورق R	
۱۳۵	شکل ۶-۳۱ - معرفی پارامترهای ابعادی ورق زیرسری و روسری	
۱۳۶	شکل ۶-۳۲ - مد کمانشی مدل اجزاء محدود اتصال خمشی تیر عمود بر تیرهای پیوسته، نمونه PS1	
۱۳۶	شکل ۶-۳۳ - کرنش‌های پلاستیک در نمونه PS1 در ازای ۰/۰۴ رادیان شاخص تغییر مکان طبقه ای	
۱۳۶	شکل ۶-۳۴ - منحنی‌های هم شدت تنش فون میسز در نمونه PS1 در ازای ۰/۰۴ رادیان شاخص تغییر مکان طبقه ای (N/mm <sup>2</sup> )	
۱۳۷	شکل ۶-۳۵ - تلاش‌های برشی و محوری ایجاد شده در ورق اتصال ناشی از عملکرد خمشی تیرهای عمود بر تیرهای پیوسته	
۱۳۹	شکل ۶-۳۶ - منحنی لنگر ایجاد شده در مفصل پلاستیک درازای چرخش اتصال برای نمونه‌های PS1 ، PS2 و PS3 در ازای ضخامت‌های متفاوت ورق اتصال تیرهای پیوسته به ستون	

- ۱۴۰ شکل ۶-۳۷ - منحنی لنگر ایجاد شده در مفصل پلاستیک درازای چرخش اتصال برای نمونه‌های PS2، PS1 و PS3 در ازای ضخامت‌های متفاوت ورق زیرسری
- ۱۴۱ شکل ۶-۳۸ - مکانیزم انتقال نیرو بین ورق رابط و بال‌های تیر
- ۱۴۲ شکل ۶-۳۹ - عملکرد اهرمی در اتصال عضو T شکل به بستر صلب
- ۱۴۳ شکل ۶-۴۰ - تنش فشاری تماسی مابین بال تیر و ورق رابط برای ضخامت ورق رابط برابر با ۲۶ میلیمتر
- ۱۴۳ شکل ۶-۴۱ - تنش فشاری تماسی مابین بال تیر و ورق رابط برای ضخامت ورق رابط برابر با ۸ میلیمتر
- ۱۴۴ شکل ۶-۴۲ - ایجاد جدایش بین لبه ورق رابط و بال تیر ناشی از تغییر شکل خمشی تیر در نمونه با ضخامت ۲۰ میلیمتر برای ورق رابط
- ۱۴۵ شکل ۶-۴۳ - مقدار نیروی ایجاد شده در قسمتهای فشاری و کششی ورق R در ازای تغییرات شاخص تغییر مکان طبقه ای برای حالتی که ضخامت ورق رابط ۲۰ میلیمتر
- ۱۴۶ شکل ۶-۴۴ - منحنی لنگر ایجاد شده در مفصل پلاستیک در مقابل چرخش اتصال در ازای ضخامت‌های متفاوت ورق رابط
- ۱۴۸ شکل ۶-۴۵ - مدل اصلی اتصال خمشی متعارف پیش از زلزله نورتریج
- ۱۴۸ شکل ۶-۴۶ - زیر مدل از اتصال خمشی متعارف پیش از زلزله نورتریج
- ۱۴۹ شکل ۶-۴۷ - مدل سازی دقیق ناحیه سوراخ دسترسی به جوش
- ۱۴۹ شکل ۶-۴۸ - مقادیر شاخص گسیختگی در طول ضلع تحتانی فصل مشترک بال تحتانی و وجه ستون در ازای مقادیر مختلف شاخص تغییر مکان طبقه ای
- ۱۵۰ شکل ۶-۴۹ - مدل اصلی اتصال خمشی تیر به ستون با مقطع H شکل با استفاده از ورقهای زیرسری و روسری
- ۱۵۱ شکل ۶-۵۰ - زیر مدل اتصال خمشی تیر به ستون با مقطع H شکل با استفاده از ورقهای زیرسری و روسری
- ۱۵۱ شکل ۶-۵۱ - مقادیر شاخص گسیختگی در طول ضلع تحتانی فصل مشترک ورق زیرسری و وجه ستون در ازای مقادیر مختلف شاخص تغییر مکان طبقه ای
- ۱۵۲ شکل ۶-۵۲ - مقادیر شاخص گسیختگی در طول ضلع تحتانی فصل مشترک ورق زیرسری و وجه ستون در ازای مقادیر مختلف شاخص تغییر مکان طبقه ای در حالتی که چشمه اتصال به صورت بالانس طراحی شده .