



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت مسکن و شهرسازی

بررسی تأثیر ناحیه چشمه ستون روی ناپایداری تیر با اتصالات RBS به کمک آزمایشات تناوبی روی پارہ سازه های فولادی

دکتر اردشیر دیلمی

(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

مهندس افشین مصلحی تبار

مهندس سید سهیل مجید زمانی

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: ۵۶۴ - ۵

چاپ اول: ۱۳۸۹

سرشناسه	دیلمی، اردشیر ۱۳۱۹-
عنوان و نام پدیدآور	بررسی تأثیر ناحیه چشمه ستون روی ناپایداری تیر با اتصالات RBS به کمک آزمایشات
مشخصات نشر	تناوبی روی پارساهاهای فولادی/ اردشیر دیلمی، افشین مصلحی تبار، سهیل مجیدزمانی، تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	۲۳۲ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۰۴۶-۵
وضعیت فهرست نویسی	فیا :
یادداشت	عنوان به انگلیسی: Effect of panel zone on instability of beam with RBS connection using cyclic tests on steel subassemblies
موضوع	ساختمان های فلزی -- اتصال ها -- آزمایش
شناسه افزوده	مصلحی تبار، افشین
شناسه افزوده	مجیدزمانی، سهیل، ۱۳۴۴-
شناسه افزوده	مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
رده بندی کنگره	۱۳۸۹: TA۶۸۴/۴-۸۳۵
رده بندی دیویی	۶۳۳/۱۸۲۱:
شماره کتابشناسی ملی	۴۵۸۷۶۰۲:
مصوبه شماره ۸۹۶۳۹ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن	



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

بررسی تأثیر ناحیه چشمه ستون روی ناپایداری تیر با اتصالات RBS به کمک
آزمایشات تناوبی روی پارساهاهای فولادی

دکتر اردشیر دیلمی، مهندس افشین مصلحی تبار، مهندس سهیل مجیدزمانی

شماره نشر: گ-۵۶۴، چاپ اول: ۱۳۸۹

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تنظیم برای چاپ: نسیم مقدس

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

بها: ۳۰۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مسئولیت صحت دیدگاه های علمی بر عهده نگارندگان محترم می باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران بزرگراه شیخ فضل الله نوری خیابان پل فرهنگیان خیابان ارشد خیابان سوم صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۳۹۶

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

دفتر فروش: تهران خیابان ولی عصر، میدان ولی عصر، مجتمع اداری - تجاری ولی عصر، واحد ۸۲ تلفن: ۸۸۹۴۰۳۶۰

پیشگفتار

کاربرد وسیع سازه‌های فولادی در کشور و عدم دقت کافی در مسائل فنی و مهندسی در ساخت این گونه سازه‌ها از مشکلات مطرح صنعت ساختمان کشور است. از این رو آشنایی با روش‌های مقاوم‌سازی، تقویت و بهسازی سازه‌های فولادی و ارائه راهکارهای ساده و مفید برای اصلاح اتصالات این گونه سازه‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور در سال‌های اخیر پروژه‌های تحقیقی متعددی در زمینه مقاوم‌سازی و اصلاح سازه‌های فولادی و اتصالات آنها و خصوصاً قاب‌های خمشی فولادی که به عنوان یک سیستم اصلی در سازه‌های فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن به اجرا در آمده است.

در سالهای اخیر و به دنبال وقوع زلزله‌های مخرب، رفتار قاب‌های فولادی و اتصالات آنها در مقابل زلزله مورد بررسی و بازنگری قرار گرفته و دیدگاه‌ها و معیارهای جدیدی برای اصلاح روشهای طراحی، اجرا و بهسازی آنها پیشنهاد شده است. درس‌های آموخته شده از این زلزله‌ها ضرورت ویرایش مجدد آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای سازه‌های فلزی را آشکار ساخته است. همچنین استاندارد ۲۸۰۰ ایران نیز در سال ۱۳۸۴ مجدداً ویرایش و در آن بر لزوم استفاده از سیستم‌های شکل‌پذیر (Ductile) تأکید گردید. برای تأمین شکل‌پذیری و جلوگیری از ایجاد شکست ترد در اتصالات، تغییرات و اصلاحات زیادی در نحوه اجرای اتصالات سازه‌های فولادی پیشنهاد شده است. هدف اصلی این اصلاحات انتقال محل تشکیل مفصل پلاستیک از بر ستون به داخلی تیر است تا در نتیجه آن مقدار تنش‌ها و کرنش‌ها در بر ستون که ناحیه‌ای ضعیف تلقی می‌شود، کاهش یافته و در عوض مفصل پلاستیک در تیر که برای آن رفتار شکل‌پذیر مفروض است، تشکیل شود.

یکی از اتصالاتی که در چند سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته، اتصال مقاوم خمشی نرم شده موسوم به (Reduced Beam Section) RBS است. در این اتصال با کاهش سطح مقطع بال تیر در



نزدیکی اتصال تیر به ستون، مقطع بحرانی از مجاورت ستون به محل مقطع کاهش یافته، منتقل می‌شود و کاهش سطح مقطع به صورت یک فیوز شکل‌پذیر محافظ برای اتصال عمل می‌کند، ضمن آن که از انتقال ممان اضافی به اتصال، جلوگیری به عمل می‌آورد و میزان جذب انرژی زلزله را در سیستم افزایش می‌دهد. علی‌رغم رفتار مناسب در مقابل بارهای ناشی از زلزله، اتصالات RBS دارای نقاط ضعفی از قبیل ضعف در مقابل کمانش جانبی و موضعی، می‌باشند.

در این پروژه که نتایج آن تحت عنوان «بررسی تأثیر ناحیه چشمه ستون روی ناپایداری تیر با اتصالات RBS به کمک آزمایشات تناوبی روی پاره‌سازهای فولادی» انتشار می‌یابد، علاوه بر مطالعه عوامل مهم تأثیرگذار بر ناپایداری تیرهای با اتصال RBS از قبیل مقاومت ناحیه چشمه ستون و نسبت‌های لاغری موضعی و جانبی تیرها، ضوابطی ارائه شده است که به کمک آنها می‌توان آثار سوء ناشی از ناپایداری تیرهای با اتصال RBS را محدود کرد. نکته مهم دیگری که در این پروژه مورد توجه خاص قرار گرفته بررسی رفتار اتصالات RBS در تیرهای با ارتفاع کم است که در کشور بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. امید است نتایج این تحقیق مورد توجه و استفاده مهندسان و متخصصان کشور قرار گیرد و گامی هرچند کوچک در کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای این نوع سازه‌ها باشد.

سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات	۱
۱-۱ اصول و فلسفه طراحی لرزه‌ای سازه‌ها	۱
۲-۱ هدف پروژه	۶
۳-۱ معرفی فصول گزارش	۸
فصل دوم: مطالعه عددی بر روی رفتار تناوبی پاره‌سازه‌های با اتصال خمشی RBS	۹
۱-۲ مطالعه پارامتری	۹
۲-۲ تحلیل به روش اجزاء محدود	۱۳
۳-۲ نتایج تحلیل	۱۶
۴-۲ نتیجه‌گیری	۱۹
فصل سوم: برنامه آزمایشگاهی	۲۱
۱-۳ کلیات	۲۱
۲-۳ مشخصات نمونه‌ها	۲۲
۱-۲-۳ نمونه‌های RBS2-S, RBS2-B و RBS2-SM	۲۲
۲-۲-۳ نمونه RBS2	۲۲
۳-۲-۳ نمونه‌های RBS3-S و RBS3-B	۲۴
۴-۲-۳ نمونه‌های RBS4-S, RBS4-B و RBS4-SM	۲۴
۵-۲-۳ نمونه REF	۲۵



۲۶	۳-۳ نحوه اتصال تیر به ستون
۲۹	۴-۳ طراحی نمونه‌ها
۲۹	۱-۴-۳ طراحی ناحیه بریده شده تیر
۳۰	۲-۴-۳ مقاومت ناحیه چشمه ستون
۳۱	۳-۴-۳ معیار ستون قوی-تیر ضعیف
۳۱	۴-۴-۳ معیارهای لاغری
۳۲	۵-۴-۳ طراحی ورق‌های پیوستگی
۳۳	۵-۳ ساخت نمونه‌ها
۳۴	۶-۳ خواص مصالح
۳۴	۷-۳ نصب نمونه‌ها و برپایی آزمایش
۳۷	۸-۳ بارگذاری
۳۸	۹-۳ دستگاه‌های اندازه‌گیری
۴۸	۱۰-۳ پردازش داده‌ها
۴۹	۱۱-۳ معیارهای پذیرش
۵۱	فصل چهارم: نتایج آزمایشگاهی
۵۱	۱-۴ کلیات
۵۱	۲-۴ عملکرد نمونه RBS2-S
۶۳	۳-۴ عملکرد نمونه RBS2-B
۷۳	۴-۴ عملکرد نمونه RBS2-SM
۸۱	۵-۴ عملکرد نمونه RBS2
۹۶	۶-۴ عملکرد نمونه RBS3-S
۱۰۴	۷-۴ عملکرد نمونه RBS3-B
۱۱۱	۸-۴ عملکرد نمونه RBS4-S
۱۱۸	۹-۴ عملکرد نمونه RBS4-B
۱۲۶	۱۰-۴ عملکرد نمونه RBS4-SM
۱۳۳	۱۱-۴ عملکرد نمونه REF
۱۳۷	۱۲-۴ مروری بر عملکرد نمونه‌ها



۱۳-۴ نتیجه گیری ۱۴۸

۱۴-۴ تصاویری از لحظات حساس آزمایشات ۱۵۱

فصل پنجم: پردازش داده‌های آزمایشگاهی ۱۶۵

۱-۵ کمانش جانبی ۱۶۶

۲-۵ کمانش موضعی ۱۶۹

۳-۵ ترکیب موده‌های کمانشی موضعی و جانبی ۱۷۱

۴-۵ انرژی مستهلک شده ۱۷۲

فصل ششم: نتیجه گیری ۱۷۳

پیوست ۱: اتصال خمشی با افزایش نرمی RBS ۱۷۵

پیوست ۲: مروری بر تحقیقات گذشته ۱۸۹

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان شکل

شکل ۱-۱-۱- انواع روش‌های افزایش نرمی اتصال خمشی.....	۴
شکل ۲-۱- نمونه‌ای از اتصال RBS در حال اجرا.....	۵
شکل ۱-۲- شمای کلی (الف) پاره‌سازه؛ (ب) ناحیه RBS.....	۱۰
شکل ۲-۲- مدل اجزاء محدود سه بعدی: (الف) مدل کلی؛ (ب) ریز-مدل.....	۱۴
شکل ۳-۲- پاسخ هیستریتیک نمونه DB3 حاصل از مطالعه عددی.....	۱۵
شکل ۴-۲- تاریخچه بارگذاری.....	۱۵
شکل ۵-۲- پاسخ هیستریتیک لنگر-چرخش پلاستیک کلی مدل‌ها.....	۱۶
شکل ۶-۲- پاسخ هیستریتیک لنگر-چرخش پلاستیک کلی مدل‌ها.....	۱۷
شکل ۷-۲- تأثیر مقاومت برشی ناحیه چشمه روی مقدار استهلاک انرژی آن.....	۱۸
شکل ۱-۳- شمای کلی پاره‌سازه‌های کناری.....	۲۳
شکل ۲-۳- شمای کلی پاره‌سازه میانی با دال (نمونه RBS2).....	۲۳
شکل ۳-۳- شمای کلی پاره‌سازه‌های میانی بدون دال.....	۲۴
شکل ۴-۳- مشخصات اتصال تیر به ستون با ورق پوششی.....	۲۷
شکل ۵-۳- جزییات تقویت جان نمونه RBS2-SM.....	۲۸
شکل ۶-۳- مشخصات اتصال تیر به ستون بدون ورق پوششی.....	۲۸
شکل ۷-۳- طرحی از جزییات برپایی آزمایشات مربوط به پاره‌سازه‌های گوشه‌ای.....	۳۶
شکل ۸-۳- طرحی از جزییات برپایی آزمایش مربوط به پاره‌سازه میانی.....	۳۷
شکل ۹-۳- موقعیت کرنش‌سنج‌ها روی بال فوقانی و زیر بال تحتانی نمونه RBS2.....	۴۰
شکل ۱۰-۳- موقعیت کرنش‌سنج‌های نمونه RBS2 (الف) بر روی بال ستون؛ (ب) بر روی جان تیر و ناحیه چشمه ستون.....	۴۰
شکل ۱۱-۳- موقعیت کرنش‌سنج‌ها روی بال فوقانی و زیر بال تحتانی نمونه RBS2.....	۴۱
شکل ۱۲-۳- موقعیت کرنش‌سنج‌های نمونه RBS2 (الف) بر روی بال ستون؛ (ب) بر روی جان تیر و ناحیه چشمه ستون.....	۴۱



- شکل ۳-۱۳- موقعیت کرنش سنج‌ها روی بال فوقانی و زیر بال تحتانی نمونه RBS3-S ۴۲
- شکل ۳-۱۴- موقعیت کرنش سنج‌های نمونه RBS3-S (الف) بر روی بال ستون؛ (ب) بر روی جان تیر و ناحیه چشمه ستون ۴۲
- شکل ۳-۱۵- موقعیت کرنش سنج‌ها روی بال فوقانی و زیر بال تحتانی نمونه RBS3-B ۴۳
- شکل ۳-۱۶- موقعیت کرنش سنج‌های نمونه RBS3-B بر روی جان تیر و ناحیه چشمه ستون ۴۳
- شکل ۳-۱۷- موقعیت کرنش سنج‌ها روی بال فوقانی و زیر بال تحتانی نمونه‌های RBS4-S و RBS4-B ۴۴
- شکل ۳-۱۸- موقعیت کرنش سنج‌های نمونه‌های RBS4-B و RBS4-S (الف) بر روی بال ستون؛ (ب) بر روی جان تیر و ناحیه چشمه ستون ۴۴
- شکل ۳-۱۹- موقعیت کرنش سنج‌ها روی بال فوقانی و زیر بال تحتانی نمونه RBS4-SM ۴۵
- شکل ۳-۲۰- موقعیت کرنش سنج‌های نمونه RBS4-SM (الف) بر روی بال ستون؛ (ب) بر روی جان تیر و ناحیه چشمه ستون ۴۵
- شکل ۳-۲۱- موقعیت کرنش سنج‌ها روی بال فوقانی و زیر بال تحتانی نمونه REF ۴۶
- شکل ۳-۲۲- موقعیت کرنش سنج‌های نمونه REF (الف) بر روی بال ستون؛ (ب) بر روی جان تیر و ناحیه چشمه ستون ۴۶
- شکل ۳-۲۳- موقعیت تغییر مکان سنج‌های پاره‌سازه‌های گوشه‌ای ۴۷
- شکل ۳-۲۴- موقعیت تغییر مکان سنج‌های پاره‌سازه‌های میانی ۴۷
- شکل ۳-۲۵- تغییر شکل پاره‌سازه تحت تأثیر بارگذاری در نوک تیر ۴۹
- شکل ۳-۲۶- نحوه تعیین θ_p ۵۰
- شکل ۴-۱- منحنی هیستریتیک لنگر-زاویه چرخش کلی نمونه RBS2-S ۵۳
- شکل ۴-۲- منحنی هیستریتیک لنگر-زاویه چرخش تیر نمونه RBS2-S ۵۴
- شکل ۴-۳- منحنی هیستریتیک لنگر-زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS2-S ۵۴
- شکل ۴-۴- پروفیل کرنش در عرض بال فوقانی و تحتانی نمونه RBS2-S ۵۶
- شکل ۴-۵- تاریخچه تغییرات کرنش در وسط ناحیه بریده شده بال‌های نمونه RBS2-S ۵۸
- شکل ۴-۶- تاریخچه تغییرات کرنش در انتهای ناحیه بریده شده بال تحتانی نمونه RBS2-S ۵۹
- شکل ۴-۷- تاریخچه تغییرات کرنش در مقطعی دور از ناحیه بریده شده نمونه RBS2-S ۶۰
- شکل ۴-۸- تاریخچه تغییرات کرنش در حوالی سوراخ دسترسی نمونه RBS2-S ۶۰
- شکل ۴-۹- تاریخچه تغییرات کرنش در سخت‌کننده‌های جان ستون نمونه RBS2-S ۶۱

- شکل ۱۰-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در بر ستون نمونه RBS2-S ۶۱
- شکل ۱۱-۴- منحنی هیستریتیک تنش برشی-کرنش برشی ناحیه چشمه ستون نمونه RBS2-S ۶۲
- شکل ۱۲-۴- تنش محوری در طول ناحیه بریده شده نمونه RBS2-S ۶۲
- شکل ۱۳-۴- منحنی هیستریتیک لنگر-زاویه چرخش کلی نمونه RBS2-B ۶۵
- شکل ۱۴-۴- منحنی هیستریتیک لنگر-زاویه چرخش تیر نمونه RBS2-B ۶۶
- شکل ۱۵-۴- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS2-B ۶۶
- شکل ۱۶-۴- پروفیل کرنش در عرض بال فوقانی و تحتانی نمونه RBS2-B ۶۸
- شکل ۱۷-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در وسط ناحیه بریده شده بال‌های نمونه RBS2-B ۶۸
- شکل ۱۸-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در انتهای ناحیه بریده شده نمونه RBS2-B ۶۹
- شکل ۱۹-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در مقطعی دور از ناحیه بریده شده نمونه RBS2-B ۶۹
- شکل ۲۰-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در حوالی سوراخ دسترسی نمونه RBS2-B ۷۰
- شکل ۲۱-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در سخت‌کننده‌های جان ستون نمونه RBS2-B ۷۰
- شکل ۲۲-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در بر ستون نمونه RBS2-B ۷۱
- شکل ۲۳-۴- منحنی هیستریتیک تنش برشی-کرنش برشی ناحیه چشمه ستون نمونه RBS2-B ۷۲
- شکل ۲۴-۴- تنش محوری در طول ناحیه بریده شده نمونه RBS2-B ۷۲
- شکل ۲۵-۴- منحنی هیستریتیک لنگر-زاویه چرخش کلی نمونه RBS2-SM ۷۵
- شکل ۲۶-۴- منحنی هیستریتیک لنگر-زاویه چرخش تیر نمونه RBS2-SM ۷۵
- شکل ۲۷-۴- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS2-SM ۷۶
- شکل ۲۸-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در وسط ناحیه بریده شده بال‌های نمونه RBS2-SM ۷۷
- شکل ۲۹-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در انتهای ناحیه بریده شده نمونه RBS2-SM ۷۸
- شکل ۳۰-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در حوالی سوراخ دسترسی نمونه RBS2-SM ۷۸
- شکل ۳۱-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در سخت‌کننده‌های جان ستون نمونه RBS2-SM ۷۹
- شکل ۳۲-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در بر ستون نمونه RBS2-SM ۷۹
- شکل ۳۳-۴- تاریخچه تغییرات کرنش در ورق‌های تقویتی جان تیر نمونه RBS2-SM ۸۰
- شکل ۳۴-۴- منحنی هیستریتیک تنش برشی-کرنش برشی ناحیه چشمه ستون نمونه RBS2-SM ۸۰
- شکل ۳۵-۴- تنش محوری در طول ناحیه بریده شده نمونه RBS2-SM ۸۱
- شکل ۳۶-۴- منحنی هیستریتیک لنگر-زاویه چرخش کلی نمونه RBS2 ۸۴
- شکل ۳۷-۴- منحنی هیستریتیک لنگر-زاویه چرخش تیر نمونه RBS2 ۸۴



- شکل ۴-۳۸- منحنی هیسترتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS2..... ۸۵
- شکل ۴-۳۹- تاریخچه تغییرات کرنش در ابتدای ناحیه بریده شده نمونه RBS2..... ۸۶
- شکل ۴-۴۰- تاریخچه تغییرات کرنش در وسط ناحیه بریده شده نمونه RBS2..... ۸۸
- شکل ۴-۴۱- تاریخچه تغییرات کرنش در انتهای ناحیه بریده شده نمونه RBS2..... ۸۹
- شکل ۴-۴۲- تاریخچه تغییرات کرنش در جان تیر نمونه RBS2..... ۹۰
- شکل ۴-۴۳- تغییرات کرنش طولی در بر ستون نمونه RBS2..... ۹۲
- شکل ۴-۴۴- تغییرات کرنش عرضی در بر ستون نمونه RBS2..... ۹۳
- شکل ۴-۴۵- تغییرات کرنش برشی در بر ستون نمونه RBS2..... ۹۴
- شکل ۴-۴۶- کرنش پلاستیک معادل فون میسر در بر ستون نمونه RBS2..... ۹۵
- شکل ۴-۴۷- منحنی هیسترتیک تنش برشی-کرنش برشی ناحیه چشمه ستون نمونه RBS2..... ۹۵
- شکل ۴-۴۸- تنش محوری در طول ناحیه بریده شده نمونه RBS2..... ۹۶
- شکل ۴-۴۹- منحنی هیسترتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS3-S..... ۹۸
- شکل ۴-۵۰- منحنی هیسترتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS3-S..... ۹۹
- شکل ۴-۵۱- منحنی هیسترتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS3-S..... ۹۹
- شکل ۴-۵۲- تاریخچه تغییرات کرنش طولی بالهای تیر در نزدیکی جوش اتصال تیر به ستون نمونه RBS3-S..... ۱۰۰
- شکل ۴-۵۳- تاریخچه تغییرات کرنش در وسط ناحیه بریده شده بال‌های نمونه RBS3-S..... ۱۰۲
- شکل ۴-۵۴- تاریخچه تغییرات کرنش در انتهای ناحیه بریده شده بال‌های نمونه RBS3-S..... ۱۰۳
- شکل ۴-۵۵- تنش محوری در طول ناحیه بریده شده نمونه RBS3-S..... ۱۰۳
- شکل ۴-۵۶- منحنی هیسترتیک لنگر- زاویه چرخش کلی نمونه RBS3-B..... ۱۰۵
- شکل ۴-۵۷- منحنی هیسترتیک لنگر- زاویه چرخش تیر نمونه RBS3-B..... ۱۰۶
- شکل ۴-۵۸- منحنی هیسترتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS3-B..... ۱۰۶
- شکل ۴-۵۹- تاریخچه تغییرات کرنش طولی در محل اتصال تیر به ستون نمونه RBS3-B..... ۱۰۷
- شکل ۴-۶۰- تاریخچه تغییرات کرنش طولی در ابتدای ناحیه بریده شده نمونه RBS3-B..... ۱۰۸
- شکل ۴-۶۱- تاریخچه تغییرات کرنش در وسط ناحیه بریده شده بال‌های نمونه RBS3-B..... ۱۱۰
- شکل ۴-۶۲- تنش محوری در طول ناحیه بریده شده نمونه RBS3-B..... ۱۱۰
- شکل ۴-۶۳- منحنی هیسترتیک لنگر- زاویه چرخش کلی نمونه RBS4-S..... ۱۱۲
- شکل ۴-۶۴- منحنی هیسترتیک لنگر- زاویه چرخش تیر نمونه RBS4-S..... ۱۱۳

- شکل ۴-۶۵- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS4-S ۱۱۳
- شکل ۴-۶۶- تاریخچه تغییرات کرنش طولی بالهای تیر در نزدیکی جوش اتصال تیر به ستون نمونه RBS4-S ۱۱۴
- شکل ۴-۶۷- تاریخچه تغییرات کرنش طولی در ابتدای ناحیه بریده شده بالهای نمونه RBS4-S ۱۱۵
- شکل ۴-۶۸- تاریخچه تغییرات کرنش در وسط ناحیه بریده شده بالهای نمونه RBS4-S ۱۱۷
- شکل ۴-۶۹- تنش محوری در طول ناحیه بریده شده نمونه RBS4-S ۱۱۸
- شکل ۴-۷۰- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش کلی نمونه RBS4-B ۱۲۰
- شکل ۴-۷۱- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش تیر نمونه RBS4-B ۱۲۰
- شکل ۴-۷۲- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS4-B ۱۲۱
- شکل ۴-۷۳- تاریخچه تغییرات کرنش طولی بالهای تیر در نزدیکی جوش اتصال تیر به ستون نمونه RBS4-B ۱۲۲
- شکل ۴-۷۴- تاریخچه تغییرات کرنش طولی در ابتدای ناحیه بریده شده بالهای نمونه RBS4-B ۱۲۳
- شکل ۴-۷۵- تاریخچه تغییرات کرنش در وسط ناحیه بریده شده بالهای نمونه RBS4-B ۱۲۵
- شکل ۴-۷۶- تنش محوری در طول ناحیه بریده شده نمونه RBS4-B ۱۲۶
- شکل ۴-۷۷- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش کلی نمونه RBS4-SM ۱۲۸
- شکل ۴-۷۸- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش تیر نمونه RBS4-SM ۱۲۸
- شکل ۴-۷۹- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه RBS4-SM ۱۲۹
- شکل ۴-۸۰- تاریخچه تغییرات کرنش طولی بالهای تیر در نزدیکی جوش اتصال تیر به ستون نمونه RBS4-SM ۱۳۰
- شکل ۴-۸۱- تاریخچه تغییرات کرنش طولی در ابتدای ناحیه بریده شده بالهای نمونه RBS4-SM ۱۳۱
- شکل ۴-۸۲- تاریخچه تغییرات کرنش در وسط ناحیه بریده شده بالهای نمونه RBS4-SM ۱۳۱
- شکل ۴-۸۳- تنش محوری در طول ناحیه بریده شده نمونه RBS4-SM ۱۳۳
- شکل ۴-۸۴- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش کلی نمونه REF ۱۳۵
- شکل ۴-۸۵- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه REF ۱۳۵
- شکل ۴-۸۶- تاریخچه تغییرات کرنش طولی بالهای تیر در نزدیکی جوش اتصال تیر به ستون نمونه REF ۱۳۶
- شکل ۴-۸۷- تاریخچه تغییرات کرنش طولی در ابتدای ناحیه بریده شده بالهای نمونه REF ۱۳۷
- شکل ۴-۸۸- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش کلی نمونه‌ها (ادامه) ۱۳۹



- شکل ۴-۸۹- منحنی هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش ناحیه چشمه ستون نمونه‌ها (ادامه)..... ۱۴۱
- شکل ۴-۹۰- منحنی پوش حلقه‌های هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش پلاستیک کلی نمونه‌های RBS2-S..... ۱۴۴
- RBS2-SM و RBS2-B..... ۱۴۴
- شکل ۴-۹۱- منحنی پوش حلقه‌های هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش پلاستیک کلی نمونه‌های RBS3-S..... ۱۴۶
- RBS3-B و..... ۱۴۶
- شکل ۴-۹۲- منحنی پوش حلقه‌های هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش پلاستیک کلی نمونه‌های RBS4-S..... ۱۴۶
- RBS4-SM و RBS4-B..... ۱۴۶
- شکل ۴-۹۳- منحنی پوش حلقه‌های هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش پلاستیک کلی نمونه‌های RBS3-B..... ۱۴۷
- RBS4-B و..... ۱۴۷
- شکل ۴-۹۴- منحنی پوش حلقه‌های هیستریتیک لنگر- زاویه چرخش پلاستیک کلی نمونه‌های RBS2-S..... ۱۴۷
- و REF..... ۱۴۷
- شکل ۴-۹۵- نمونه RBS2-S در زاویه چرخش کلی ۳%-شروع کمانش جان..... ۱۵۱
- شکل ۴-۹۶- نمونه RBS2-S در زاویه چرخش کلی ۴%-کمانش جانبی..... ۱۵۱
- شکل ۴-۹۷- نمونه RBS2-S در زاویه چرخش کلی ۴%-کمانش جان..... ۱۵۲
- شکل ۴-۹۸- نمونه RBS2-S در زاویه چرخش کلی ۵%-شروع کمانش بال..... ۱۵۲
- شکل ۴-۹۹- نمونه RBS2-S در زاویه چرخش کلی ۶%-کمانش جانبی..... ۱۵۳
- شکل ۴-۱۰۰- نمونه RBS2-S در زاویه چرخش کلی ۶%-کمانش جانبی..... ۱۵۳
- شکل ۴-۱۰۱- نمونه RBS2-S در زاویه چرخش کلی ۶%-انتهای آزمایش..... ۱۵۴
- شکل ۴-۱۰۲- نمونه RBS2-B در زاویه چرخش کلی ۱%-شروع تسلیم ناحیه چشمه..... ۱۵۵
- شکل ۴-۱۰۳- نمونه RBS2-B در زاویه چرخش کلی ۱.۵%- تسلیم ناحیه چشمه و شروع تسلیم بال ستون..... ۱۵۵
- شکل ۴-۱۰۴- نمونه RBS2-B در زاویه چرخش کلی ۲%-گسترش تسلیم در ناحیه بریده شده و شروع تسلیم جان تیر..... ۱۵۶
- شکل ۴-۱۰۵- نمونه RBS2-B در زاویه چرخش کلی ۳%-ادامه تسلیم در ناحیه چشمه، بال و جان تیر..... ۱۵۶
- شکل ۴-۱۰۶- نمونه RBS2-B در زاویه چرخش کلی ۴%-شکست جوش اتصال بال تحتانی به ستون..... ۱۵۷
- شکل ۴-۱۰۷- نمونه RBS2-SM - ورق تقویتی جان تیر..... ۱۵۷



- شکل ۴-۱۰۸- نمونه RBS2-SM در زاویه چرخش کلی 3%-گسترش تسلیم به خارج از ناحیه بریده شده ۱۵۸
- شکل ۴-۱۰۹- نمونه RBS2-SM در زاویه چرخش کلی 4%-شروع کمناش جانبی ۱۵۸
- شکل ۴-۱۱۰- نمونه RBS2-SM در زاویه چرخش کلی 4%-گسترش تسلیم جان به خارج از ورق‌های تقویتی ۱۵۹
- شکل ۴-۱۱۱- نمونه RBS2-SM در زاویه چرخش کلی 4%-گسترش تسلیم به خارج از ناحیه بریده شده ۱۵۹
- شکل ۴-۱۱۲- نمونه RBS2-SM در زاویه چرخش کلی 5%-شروع کمناش جانبی و موضعی بال ۱۶۰
- شکل ۴-۱۱۳- نمونه RBS2-SM در زاویه چرخش کلی 5%-شروع کمناش موضعی بال ۱۶۰
- شکل ۴-۱۱۴- نمونه RBS2-SM در زاویه چرخش کلی 6%-تشدید کمناش موضعی و جانبی- گسیختگی بال تیر ۱۶۱
- شکل ۴-۱۱۵- نمونه RBS2 در زاویه چرخش کلی 6%-جدایی ورق مضاعف‌کننده از جان ستون ۱۶۱
- شکل ۴-۱۱۶- نمونه RBS3-S در زاویه چرخش کلی 7%-کمناش شدید موضعی و جانبی ۱۶۲
- شکل ۴-۱۱۷- نمونه RBS3-B در زاویه چرخش کلی 7%-کمناش جزئی موضعی و جانبی ۱۶۲
- شکل ۴-۱۱۸- نمونه RBS4-S در زاویه چرخش کلی 6%-کمناش شدید موضعی و جانبی به همراه پیچش ستون ۱۶۳
- شکل ۴-۱۱۹- نمونه RBS4-B در زاویه چرخش کلی 6%-کمناش جزئی موضعی و جانبی ۱۶۳
- شکل ۵-۱- نحوه تعیین $M_{0.03}$ و M_{max} ۱۶۶
- شکل ۵-۲- نرخ افت ظرفیت خمشی تیر در مقابل پارامترهای لاغری جانبی: (الف) λ_{LTB} ؛ (ب) λ_{LTB}^{rbs} ۱۶۷
- شکل ۵-۳- نرخ افت ظرفیت خمشی تیر در مقابل پارامتر لاغری جانبی اصلاح شده ۱۶۹
- شکل ۵-۴- نرخ افت ظرفیت خمشی تیر در مقابل پارامترهای لاغری جانبی: (الف) λ_{FLB} ؛ (ب) λ_{WLB} ۱۷۰
- شکل ۵-۵- نرخ افت ظرفیت خمشی تیر در مقابل پارامترهای لاغری ترکیبی مطابق با معادله (۵-۶) ۱۷۱
- شکل ۵-۶- میزان انرژی مستهلک شده و سهم ناحیه چشمه ستون در استهلاک انرژی ۱۷۲

فهرست جداول

صفحه	عنوان جدول
۱۱	جدول ۱-۲- مشخصات پاره‌سازه‌ها.....
۱۲	جدول ۲-۲- مشخصات ناحیه بریده‌شده تیر.....
۱۲	جدول ۳-۲- نسبت لنگر تیر به ستون.....
۱۸	جدول ۴-۲- مقادیر واقعی ضریب β_e
۲۵	جدول ۱-۳- مشخصات کلی نمونه‌های آزمایشگاهی.....
۲۹	جدول ۲-۳- مشخصات ناحیه بریده شده تیر.....
۳۰	جدول ۳-۳- مشخصات نمونه‌ها و ناحیه چشمه آن‌ها.....
۳۱	جدول ۴-۳- نسبت لنگر تیر به ستون.....
۳۲	جدول ۵-۳- نسبت‌های لاغری موجود و مجاز.....
۳۴	جدول ۶-۳- مشخصات مکانیکی مصالح مصرفی.....
۳۷	جدول ۷-۳- دامنه‌های بارگذاری.....
Error! Bookmark not defined.۳۹	جدول ۸-۳- وضعیت کرنش سنج‌ها.....
۵۲	جدول ۱-۴- خلاصه عملکرد نمونه RBS2-S.....
۶۴	جدول ۲-۴- خلاصه عملکرد نمونه RBS2-B.....
Error! Bookmark not defined.۷۴	جدول ۳-۴- خلاصه عملکرد نمونه RBS2-SM.....
۸۲	جدول ۴-۴- خلاصه عملکرد نمونه RBS2.....
۸۴	جدول ۵-۴- مشخصات رفتاری نمونه RBS2.....
۹۷	جدول ۶-۴- خلاصه عملکرد نمونه RBS3-S.....
۹۸	جدول ۷-۴- مشخصات رفتاری نمونه RBS2.....
۱۰۴	جدول ۸-۴- خلاصه عملکرد نمونه RBS3-B.....
۱۱۱	جدول ۹-۴- خلاصه عملکرد نمونه RBS4-S.....
۱۱۹	جدول ۱۰-۴- خلاصه عملکرد نمونه RBS4-B.....



- جدول ۴-۱۱- خلاصه عملکرد نمونه RBS4-SM..... ۱۲۷
- جدول ۴-۱۲- خلاصه عملکرد نمونه REF..... ۱۳۴
- جدول ۴-۱۳- حداقل لنگر موجود در بر ستون و معیارهای پذیرش..... ۱۵۰

چکیده

قابهای خمشی فولادی از سالها قبل با اطمینان کافی به عنوان یک سیستم اصلی در سازه‌های فولادی در مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. زلزله نورت ریج (۱۹۹۴) در ایالت کالیفرنای آمریکا و زلزله کوبه (۱۹۹۵) در ژاپن سبب شد تعدادی از ساختمان‌های فولادی جوشی با قابهای خمشی، در ناحیه اتصالات تیر به ستون دچار شکست شوند. وقوع این زلزله‌ها و زلزله‌های مخرب دیگر همچنین سبب دگرگونی در نگرش متخصصین به فلسفه ایمنی و ایجاد اطمینان در سازه‌ها در مقابل زلزله گردید. گروه‌های تحقیقاتی متعددی در کشورهای مختلف برای حل مشکل بوجود آمده برای اتصالات گیردار جوشی در اثر زلزله ایجاد شدند. قابهای خمشی و اتصالات آنها در مقابل زلزله از جهات مختلف مانند طراحی، مصالح، اجرا و نظارت مورد بررسی و بازنگری قرار گرفتند و دیدگاه‌ها و معیارهای جدیدی جهت اصلاح روشهای طراحی، اجرا و استفاده از مصالح پیشنهاد گردید. این مطالعات باعث ویرایش مجدد آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای سازه‌های فلزی شد. در آیین‌نامه‌های جدید بر لزوم استفاده از سیستم‌های شکل‌پذیر (Ductile) تأکید بیشتری شده است. برای تأمین شکل‌پذیری و جلوگیری از ایجاد شکست ترد در اتصالات، تغییرات زیادی در نحوه اجرای اتصالات سازه‌های فولادی پیشنهاد گردید. هدف اصلی اصلاحات در روش طراحی، انتقال محل تشکیل مفصل پلاستیک از برستون به داخل تیر می‌باشد تا در نتیجه آن مقدار تنشها و کرنشها در برستون که به علت وجود جوش و تمرکز تنش، ناحیه‌ای ضعیف تلقی می‌شود، کاهش یابد. بطور کلی مجموعه اصلاحات در روش طراحی پیشنهاد شده را می‌توان به دو دسته زیر تقسیم نمود.

۱- اصلاح از طریق افزایش سختی اتصال (روش تقویت اتصال)

۲- اصلاح از طریق کاهش سختی تیر RBS (روش کاهش مقطع تیر در مجاورت ستون)

اتصال از طریق کاهش سختی تیر، (RBS) با برش قسمتی از بالهای تیر در فاصله‌ای مشخص از برستون ایجاد می‌شود. در اتصالات تقویت شده با تقویت اتصال، اتصال را از تیر مقاوم‌تر می‌کنند ولی در اتصال RBS عمل تقویت نسبی اتصال با ضعیف‌تر کردن تیر نسبت به اتصال، صورت



می‌پذیرد. در نتیجه این نوع اتصال مانند یک فیوز شکل‌پذیر عمل نموده ضمن جلوگیری از تمرکز تنش در جوش و انتقال ممان اضافی به اتصال، میزان جذب انرژی در سازه را افزایش می‌دهد. این روش در چند سال اخیر مورد توجه طراحان قرار گرفته و حتی در بعضی آیین‌نامه‌های طراحی نیز بدان اشاره شده است. در مطالعه حاضر به بررسی رفتار قاب خمشی یک طرفه و دو طرفه با اتصال RBS تحت اثر مقاومت ناحیه چشمه ستون (Panel Zone)، اثر نحوه اتصال جان و بال تیر به ستون و اثر وجود دال بتنی در رفتار RBS و ناحیه چشمه ستون به طور خاص پرداخته می‌شود. هدف از انجام این پروژه بررسی رفتار قاب‌های خمشی فولادی با اتصالات RBS تحت اثر بارهای تناوبی می‌باشد. در این پروژه نه نمونه قاب با اتصال RBS مورد آزمایش قرار گرفته است که شامل سه نمونه قاب گملری و شش نمونه قاب میانی می‌باشد. یکی از مدل‌ها با دال بتنی آزمایش شده است. در انتخاب نمونه‌ها سعی گردید ابعاد مقاطع تیرها و ستون‌ها در حد عرف ساخت و سازه‌های کشورمان انتخاب شوند. امکان استفاده از مقاطع ساخته شده به صورت تیر-ورق نیز از دیگر مسائل مورد توجه این پروژه است.

علی‌رغم برخورداری از عملکرد تناوبی مناسب اتصالات RBS، دارای نقطه ضعفی هستند که عبارتست از ضعیف کردن تیر در مقابل کماتش جانبی و موضعی، در این پروژه عوامل مهم تأثیرگذار بر ناپایداری تیرهای با اتصال RBS مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از جمله عوامل مهم می‌توان به مقاومت ناحیه چشمه ستون و نیز نسبت‌های لاغری موضعی و جانبی تیرها اشاره کرد. در این پروژه ضوابطی ارایه شده است که به کمک آنها می‌توان اثرات سوء ناشی از ناپایداری تیرهای با اتصال RBS را محدود کرد. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهند نمونه‌های با ناحیه چشمه با ضخامت متعادل می‌توانند پدیده کماتش را به تأخیر بیندارند.