

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران و معماری

گروه عمران

عنوان پایان نامه :

بررسی و بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال صلب خمشی کان‌ایکسال، برای مقاطع فولادی رایج در ایران

دانشجو :

مریم مقیمی

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر وحیدرضا کلات‌جاری

استاد مشاور :

جناب آقای دکتر علی کیهانی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار :

بهمن ماه - ۱۳۹۴

## تقدیم بابوسہ بردستان پدرم

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، سکوت، مهربانی...

پدرم راه تمام زندگیت

پدرم دهنوشی، همشکیت

## تقدیم به مادر عزیزتر از جانم

مادم، هستی من ز، هستی تو ست، تا، تسم و، هستی دارم دست دوست

نگلسار جاودانی مادراست

چشم سار مهربانی مادراست

# سپاس

از زحمات و الطاف استاد بزرگوار، جناب آقای دکتر کلات جاری که در زمان انجام این تحقیق و سوزانه و بردبارانه مرایاری و پشتیبانی فرمودند، و نیز جناب آقای دکتر علی کیهانی که از مشاوره با ایشان بهره مند بودم صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

همچنین از، همسر مهربانم، آقای مهندس احمد کر یوانی که صبورانه مراد انجام این پژوهش یاری کردند صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب **مریم مقیمی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران (سازه) دانشکده مهندسی عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "بررسی و بهبود عملکرد لرزه-ای اتصال صلب خمشی کان ایکسال، برای مقاطع فولادی رایج در ایران" تحت راهنمایی دکتر وحیدرضا کلات جاری، متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۲۶ / ۱۱ / ۱۳۹۴

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

## چکیده

پس از زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج کالیفرنیا، تعداد قابل توجهی از ساختمان‌های فولادی با اتصالات خمشی خسارت دیدند، بعد از این واقعه تحقیقات زیادی برای بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصالات خمشی صورت گرفت. اتصال صلب خمشی کان‌ایکس‌ال (ConXL) یکی از اتصالات مطرح در آیین‌نامه AISC-358 برای قاب‌های خمشی ویژه و متوسط می‌باشد. این اتصال به صورت ریخته‌گری تولید می‌گردد. در این تحقیق رفتار اتصال کان‌ایکس‌ال در ترکیب با مقاطع فولادی رایج در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، یکی از اهداف تحقیق شناسایی هندسه‌ی بهینه‌ی تیر با مقطع کاهش‌یافته در اتصال صلب خمشی کان‌ایکس‌ال است که با توجه به معیارهای در نظر گرفته شده که عبارتند از: میزان استهلاک انرژی نمونه‌ها، دوری مفصل پلاستیک از چشمه اتصال و سختی بیشتر نمودار بار-تغییر مکان بهترین هندسه برش به عنوان هندسه بهینه اتصال انتخاب گردید. اثر نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها و بتن پرکننده ستون نیز، مورد مطالعه قرار گرفت.

کلمات کلیدی : زلزله نورث ریج، اتصال خمشی کان‌ایکس‌ال، عملکرد لرزه‌ای، تیر با مقطع کاهش‌یافته.

## لیست مقاله‌های استخراج شده از پایان‌نامه :

- (۱) بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی کائیکس‌ال تحت بارگذاری چرخه‌ای  
دومین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار، ایران، تهران
- (۲) بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی کان‌ایکس‌ال با کاهش موضعی مقطع تیر (RBS)، تحت بارگذاری چرخه‌ای  
چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه‌های نوین، ایران، یاسوج
- (۳) بررسی اثر نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها بر رفتار لرزه‌ای اتصال صلب خمشی کان‌ایکس‌ال (ConXL)  
چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه‌های نوین، ایران، یاسوج

## فهرست مطالب

### فصل اول : مقدمه

- ۱-۱- مقدمه ..... ۲
- ۲-۱- محتوای پایان نامه ..... ۴

### فصل دوم : کلیات

- ۱-۲- هدف تحقیق ..... ۸
- ۲-۲- پیشینه تحقیق ..... ۹
- ۳-۲- روش تحقیق ..... ۱۲

### فصل سوم : اتصالات صلب خمشی بعد از زلزله نورتریج و بررسی رفتار آنها

- ۱-۳- کلیات ..... ۱۴
- ۲-۳- انواع اتصالات ..... ۱۵
- ۱-۲-۳- اتصالات ساده ..... ۱۵
- ۲-۲-۳- اتصالات نیمه صلب ..... ۱۵
- ۳-۲-۳- اتصالات صلب ..... ۱۶
- ۳-۳- آسیب دیدگی ساختمان های خمشی فولادی جوشی ..... ۱۶
- ۴-۳- اصلاح رفتار اتصالات صلب خمشی ..... ۱۸
- ۱-۴-۳- سخت کردن اتصالات ..... ۱۸
- ۲-۴-۳- نرم کردن اتصالات ..... ۱۹
- ۵-۳- انواع اتصالات صلب توصیه شده در آیین نامه FEMA-350 ..... ۲۰
- ۱-۵-۳- اتصال صلب WUF-W ..... ۲۱
- ۲-۵-۳- اتصال صلب WUF-B ..... ۲۱
- ۳-۵-۳- اتصال صلب FF ..... ۲۲
- ۴-۵-۳- اتصال صلب WFP ..... ۲۳
- ۵-۵-۳- اتصال صلب RBS ..... ۲۴



## فصل چهارم : معرفی تیر با مقطع کاهش یافته (RBS) و روابط طراحی

- ۱-۴- کلیات ..... ۲۶
- ۲-۴- روش طراحی قاب‌های فولادی با اتصالات صلب RBS ..... ۲۶
- ۱-۲-۴- طراحی تیرها ..... ۲۶
- ۱-۱-۲-۴- محدودیت تیرها بر اساس مقررات AISC-358 ..... ۲۷
- ۲-۱-۲-۴- معیارهای لاغری تیرها ..... ۲۷
- ۳-۱-۲-۴- مهار جانبی تیرها ..... ۲۷
- ۲-۲-۴- طراحی ستون‌ها ..... ۲۷
- ۱-۲-۲-۴- محدودیت ستون‌ها بر اساس مقررات AISC-358 ..... ۲۸
- ۲-۲-۲-۴- معیاری لاغری ستون‌ها ..... ۲۸
- ۳-۲-۴- طراحی اتصالات ..... ۲۹
- ۱-۳-۲-۴- طراحی ناحیه بریده شده تیر (ناحیه RBS) ..... ۲۹

## فصل پنجم : معرفی اتصال صلب خمشی کان‌ایکسال

- ۱-۵- کلیات ..... ۳۶
- ۲-۵- محدودیت‌ها در اتصال کان‌ایکسال ..... ۳۸
- ۱-۲-۵- ضوابط تیرها: ..... ۳۸
- ۲-۲-۵- ضوابط ستون‌ها ..... ۳۹
- ۳-۲-۵- محدودیت‌های سیستم یقه ..... ۳۹
- ۴-۲-۵- محدودیت‌های اتصالات سیستم یقه ..... ۴۰
- ۵-۲-۵- محدودیت‌های اتصال جان تیر به یقه الحاقی جان ..... ۴۲
- ۶-۲-۵- محدودیت‌های روابط تیر- ستون ..... ۴۳
- ۳-۵- روش طراحی ..... ۴۳

## فصل ششم : مدلسازی عددی اتصال کان‌ایکسال در نرم‌افزار آباکوس و صحت‌سنجی

- ۱-۶- کلیات ..... ۵۴
- ۲-۶- طراحی نمونه‌ها ..... ۵۴

۵۵	۳-۶ هندسه مدل ها
۵۵	۴-۶ مدل سازی و تحلیل اجزاء محدود
۵۶	۵-۶ خصوصیات مصالح نمونه های مورد بررسی
۵۶	۶-۶ بارگذاری
۵۸	۷-۶ مراحل انجام مدل سازی در نرم افزار آباکوس
۵۸	۶-۷-۱ مرحله اول: ماژول Part
۶۰	۶-۷-۲ مرحله دوم: ماژول property
۶۳	۶-۷-۳ مرحله سوم: ماژول Assembly
۶۳	۶-۷-۴ مرحله چهارم: ماژول Step
۶۵	۶-۷-۵ مرحله پنجم: ماژول Interaction
۶۶	۶-۷-۶ مرحله ششم: ماژول Load
۶۸	۶-۷-۷ مرحله هفتم: ماژول Mesh
۶۹	۶-۷-۸ مرحله هشتم: ماژول Job
۷۰	۶-۷-۹ مرحله نهم: ماژول Visualization
۷۱	۶-۸ صحت سنجی مدل سازی

### فصل هفتم : بررسی نمونه های عددی

۷۴	۷-۱ کلیات
۷۴	۷-۲ ارزش گذاری معیارهای انتخاب بهینه
۷۵	۷-۳ بررسی نمونه های عددی مرحله اول، پروفیل های ایرانی
۸۸	۷-۴ بررسی نمونه های عددی مرحله دوم، انتخاب پارامترهای بهینه برش
۸۸	۷-۴-۱ نحوه انتخاب پارامترهای برش و ارائه نتایج حاصل از نمونه ها
۹۱	۷-۴-۲ ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل نمونه ها برای اتصال با مقطع تیر IPE450
۹۸	۷-۴-۳ ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل نمونه ها برای اتصال با مقطع تیر IPE550
۱۰۲	۷-۴-۴ ارزیابی اثر کاهش در مقطع تیر (RBS) بر عملکرد اتصال
۱۰۴	۷-۵ تاثیر نیروی پیش تنیدگی پیچ ها بر عملکرد اتصال
۱۰۷	۷-۶ تاثیر حذف بتن پرکننده ستون بر عملکرد اتصال

فصل هشتم : نتیجه گیری و پیشنهادها

۱۱۴.....	۱-۸- کلیات .....
۱۱۴.....	۲-۸- نتایج .....
۱۱۷.....	۳-۸- پیشنهادها.....
۱۱۹.....	مراجع.....

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۳- روش‌های افزایش نرمی اتصال خمشی (برش دوزنقه‌ای، برش ثابت و برش دایروی)..... ۱۹
- شکل ۲-۳- روش سوراخ کردن بال تیر برای افزایش نرمی اتصال خمشی..... ۲۰
- شکل ۳-۳- اتصال صلب WUF-W..... ۲۱
- شکل ۴-۳- اتصال صلب WUF-B..... ۲۲
- شکل ۵-۳- اتصال صلب FF..... ۲۲
- شکل ۶-۳- اتصال صلب WFP..... ۲۳
- شکل ۷-۳- اتصال صلب RBS..... ۲۴
- شکل ۱-۴- پارامترهای موجود در اتصال RBS..... ۲۹
- شکل ۲-۴- تیر با اتصال RBS تحت بار ثقلی..... ۳۱
- شکل ۳-۴- دیاگرام آزاد تیر بین دو ناحیه برش خورده جهت محاسبه برش در ناحیه RBS..... ۳۱
- شکل ۴-۴- دیاگرام آزاد جهت محاسبه بیشینه لنگر محتمل در بر ستون..... ۳۲
- شکل ۱-۵- نمای کلی اتصال ConXL..... ۳۷
- شکل ۲-۵- اتصال بین قطعات یقه‌های گوشه‌ای (CCT و CCM و CCB)..... ۴۱
- شکل ۳-۵- اتصال یقه‌های گوشه به ستون..... ۴۱
- شکل ۴-۵- اتصال یقه بال به یقه الحاقی جان (CWX)..... ۴۲
- شکل ۵-۵- اتصال تیر به یقه‌های بال..... ۴۲
- شکل ۶-۵- موقعیت مفصل پلاستیک برای تیرها با RBS و بدون RBS..... ۴۶
- شکل ۱-۶- اتصال RBS و پارامترهای برش آن..... ۵۵
- شکل ۲-۶- نمودار بار چرخه‌ای اعمالی به نمونه‌ها..... ۵۷
- شکل ۳-۶- استفاده از دستور part جهت تعریف مقطع تیر..... ۵۹

- شکل ۴-۶- استفاده از دستور part جهت تعریف مقطع یقه بال ..... ۵۹
- شکل ۵-۶- نحوه تعریف خصوصیات فولاد ..... ۶۰
- شکل ۶-۶- نحوه تعریف ضخامت بال تیر ..... ۶۱
- شکل ۷-۶- اختصاص مقاطع تعریف شده به قسمت‌های مختلف اعضا ..... ۶۱
- شکل ۸-۶- نحوه تعریف خصوصیات بتن ..... ۶۲
- شکل ۹-۶- نحوه اسمبل کردن اعضای مختلف مدل ..... ۶۳
- شکل ۱۰-۶- تعریف مراحل تحلیل و مشخصات آن ..... ۶۴
- شکل ۱۱-۶- تعیین خروجی‌های لازم برای Set های تعریف شده (انتهای تیر) ..... ۶۵
- شکل ۱۲-۶- تعیین قید Tie برای تعریف جوش ..... ۶۶
- شکل ۱۳-۶- تعریف جوش بین قطعه CWX و یقه‌های بال بالا و پایین توسط قید Tie ..... ۶۶
- شکل ۱۴-۶- نحوه اعمال بارگذاری و اختصاص تکیه‌گاه به نمونه‌ها ..... ۶۷
- شکل ۱۵-۶- نحوه اعمال بارگذاری به انتهای تیر ..... ۶۷
- شکل ۱۶-۶- نحوه پارتیشن بندی اجزای مختلف اتصال ..... ۶۸
- شکل ۱۷-۶- نمونه مش‌بندی شده ..... ۶۹
- شکل ۱۸-۶- نحوه تعریف Job و تحلیل نمونه‌ها ..... ۷۰
- شکل ۱۹-۶- نمایش تنش فون میسز برای یکی از نمونه‌ها در ماژول visualization ..... ۷۰
- شکل ۲۰-۶- منحنی‌های هیستریزیس نمونه‌های عددی مرجع و مدلسازی شده ..... ۷۲
- شکل ۱-۷- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPE450 ..... ۷۶
- شکل ۲-۷- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPE500 ..... ۷۷
- شکل ۳-۷- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPE550 ..... ۷۷
- شکل ۴-۷- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPE600 ..... ۷۸

- شکل ۷-۵- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPB500..... ۷۸
- شکل ۷-۶- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPB550..... ۷۹
- شکل ۷-۷- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPB600..... ۷۹
- شکل ۷-۸- توزیع تنش فون میسز در اتصال با تیر IPE450، در دوران ۰/۰۵ رادیان..... ۹۷
- شکل ۷-۹- تغییر شکل اتصال با تیر IPE450، در دوران ۰/۰۵ رادیان..... ۹۷
- شکل ۷-۱۰- توزیع تنش فون میسز در اتصال با تیر IPE550، در دوران ۰/۰۵ رادیان..... ۱۰۱
- شکل ۷-۱۱- تغییر شکل اتصال با تیر IPE550، در دوران ۰/۰۵ رادیان..... ۱۰۱
- شکل ۷-۱۲- منحنی هیستریزیس اتصال ConXL-R و ConXL-NR..... ۱۰۳
- شکل ۷-۱۳- منحنی هیستریزیس اتصال ConXL-R و ConXL-NR..... ۱۰۳
- شکل ۷-۱۴- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPE450 و حداقل نیروی پیش‌تنیدگی..... ۱۰۴
- شکل ۷-۱۵- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPE600 و حداقل نیروی پیش‌تنیدگی..... ۱۰۵
- شکل ۷-۱۶- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPB550 و حداقل نیروی پیش‌تنیدگی..... ۱۰۵
- شکل ۷-۱۷- منحنی هیستریزیس اتصال بدون بتن پر کننده داخلی ستون و تیر با مقطع IPE450..... ۱۰۷
- شکل ۷-۱۸- منحنی هیستریزیس اتصال بدون بتن پر کننده داخلی ستون و تیر با مقطع IPE600..... ۱۰۸
- شکل ۷-۱۹- منحنی هیستریزیس اتصال بدون بتن پر کننده داخلی ستون و تیر با مقطع IPB550..... ۱۰۸
- شکل ۷-۲۰- توزیع تنش فون میسز در اتصال با تیر IPE450، در دوران ۰/۰۵ رادیان..... ۱۱۰
- شکل ۷-۲۱- توزیع تنش فون میسز در اتصال با تیر IPE600، در دوران ۰/۰۵ رادیان..... ۱۱۰
- شکل ۷-۲۲- توزیع تنش فون میسز در اتصال با تیر IPB550، در دوران ۰/۰۵ رادیان..... ۱۱۱
- شکل ۷-۲۳- توزیع تنش فون میسز در ستون با تیر IPE600، در دوران ۰/۰۵ رادیان..... ۱۱۱

## فهرست جداول

- جدول ۱-۳- طبقه‌بندی اتصالات ..... ۱۵
- جدول ۲-۳- اتصالات کاملاً صلب جوشی آیین‌نامه FEMA 350 ..... ۲۰
- جدول ۱-۵- طول کل جوش گوشه برای CWX ..... ۴۸
- جدول ۲-۵- طول کل جوش گوشه برای یقه‌های گوشه ..... ۴۹
- جدول ۱-۶- جدول بارگذاری چرخه‌ای بر اساس آیین‌نامه AISC-341-10 ..... ۵۷
- جدول ۲-۶- هندسه و خصوصیات مصالح نمونه مورد بررسی ..... ۷۱
- جدول ۱-۷- مشخصات مقاطع ایرانی (تیر) برای اتصال کان‌ایکس‌ال ..... ۷۵
- جدول ۲-۷- مشخصات اتصال کان‌ایکس‌ال برای تیر با مقطع IPE450 ..... ۸۱
- جدول ۳-۷- مشخصات اتصال کان‌ایکس‌ال برای تیر با مقطع IPE500 ..... ۸۲
- جدول ۴-۷- مشخصات اتصال کان‌ایکس‌ال برای تیر با مقطع IPE550 ..... ۸۳
- جدول ۵-۷- مشخصات اتصال کان‌ایکس‌ال برای تیر با مقطع IPE600 ..... ۸۴
- جدول ۶-۷- مشخصات اتصال کان‌ایکس‌ال برای تیر با مقطع IPB500 ..... ۸۵
- جدول ۷-۷- مشخصات اتصال کان‌ایکس‌ال برای تیر با مقطع IPB550 ..... ۸۶
- جدول ۸-۷- مشخصات اتصال کان‌ایکس‌ال برای تیر با مقطع IPB600 ..... ۸۷
- جدول ۹-۷- نتایج تحلیل ۹ نمونه اول برای اتصال با مقطع تیر IPE450 ..... ۸۹
- جدول ۱۰-۷- نتایج تحلیل نمونه‌ها برای اتصال با مقطع تیر IPE450 ..... ۹۳
- جدول ۱۱-۷- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته اول برای اتصال با مقطع تیر IPE450 ..... ۹۴
- جدول ۱۲-۷- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته دوم برای اتصال با مقطع تیر IPE450 ..... ۹۴
- جدول ۱۳-۷- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته سوم برای اتصال با مقطع تیر IPE450 ..... ۹۴
- جدول ۱۴-۷- مقایسه عملکرد نمونه‌های بهینه دسته اول و دوم و سوم برای اتصال با مقطع تیر IPE450 ..... ۹۵

- جدول ۷-۱۵- تعیین پارامتر بهینه C برای اتصال با مقطع تیر IPE450.....۹۶
- جدول ۷-۱۶- نتایج تحلیل نمونه‌ها برای اتصال با مقطع تیر IPE550.....۹۸
- جدول ۷-۱۷- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته اول برای اتصال با مقطع تیر IPE550.....۹۹
- جدول ۷-۱۸- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته دوم برای اتصال با مقطع تیر IPE550.....۹۹
- جدول ۷-۱۹- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته سوم برای اتصال با مقطع تیر IPE550.....۹۹
- جدول ۷-۲۰- مقایسه عملکرد نمونه‌های بهینه دسته اول و دوم و سوم برای اتصال با مقطع تیر IPE550.....۱۰۰
- جدول ۷-۲۱- تعیین پارامتر بهینه C برای اتصال با مقطع تیر IPE550.....۱۰۰
- جدول ۷-۲۲- مقایسه عملکرد اتصال ConXL-R و ConXL-NR.....۱۰۲
- جدول ۷-۲۳- مقایسه عملکرد نمونه‌ها قبل و بعد از تغییر نیروی پیش‌تندگی پیچ‌ها.....۱۰۶
- جدول ۷-۲۴- مقایسه عملکرد نمونه‌ها با بتن پر کننده داخلی و بدون بتن پر کننده داخلی ستون.....۱۰۹



# ۱ - فصل اول

مقدمه و محتوای پایان نامه

با رشد روزافزون فناوری‌های نوین و افزایش سرعت در انجام کارها، فناوری‌های ساختمانی نیز از این امر مستثنی نبوده و در این روند پیشرفت، دستخوش تحولاتی در اجرا گردیده‌اند؛ تا با حذف جوش و حذف ساخت مقاطع کارگاهی و...، سرعت و کیفیت اجرا را افزایش دهند. با توجه به اینکه اتصال یکی از مهمترین اجزاء یک سازه می‌باشد، و آسیب‌پذیری آن به معنی آسیب‌پذیری کل مجموعه است، لذا در سال‌های اخیر اتصالاتی در آیین‌نامه‌های معتبر ساختمانی نظیر AISC معرفی گردیده‌اند که عموماً بصورت ریخته‌گری در کارخانه تولید می‌گردند. در قاب‌های خمشی، ستون‌های قوطی در سازه‌های میان‌مرتبه و بلندمرتبه در مناطقی با خطر لرزه‌خیزی زیاد مانند اکثر کشورهای آمریکایی، آسیایی و ایران بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مقاطع توخالی اغلب بصورت مقاطع نورد شده مانند مقاطع HSS<sup>۱</sup>، RHS<sup>۲</sup> و یا بصورت مقاطع جوش شده از ورق می‌باشند [۱]. سختی و مقاومت خمشی بزرگ حول هر یک از محورها سبب می‌شود که مقاطع قوطی در خمش و فشار تاثیر بیشتری نسبت به مقاطع بال پهن متداول، به عنوان اعضای تیر ستون داشته باشند. بعلاوه، دارا بودن سختی پیچشی جانبی زیاد بدون هرگونه رفتار قابل توجه مبنتی بر اعوجاج، نیاز به مهار جانبی برای ستون را کاهش داده و زوال مقاومت را که عموماً از دوران ستون بر اثر کمانش پیچشی جانبی اتصال آغاز می‌گردد کاهش می‌دهد [۲، ۳]. توانایی شکل‌پذیری و اتلاف انرژی زیاد به دلیل تاثیرپذیری کم از کمانش محلی و دارا بودن مقاومت پس‌کمانشی، سبب می‌شود که مقاطع قوطی اعضای مناسبی به عنوان ستون در قاب‌های خمشی مقاوم در برابر زلزله باشند. همچنین ستون‌های قوطی بیشترین استفاده از مصالح و کمترین هزینه برای رنگ‌کاری و نگهداری از سطوح را فراهم می‌نماید [۲]. با وجود تمامی مزایای فوق، محدودیت‌هایی به علت شکل بسته ستون‌های قوطی نسبت به سایر مقاطع وجود دارد که از جمله‌ی آنها می‌توان به عدم دسترسی به درون ستون‌های قوطی برای جوشکاری و اجرای

---

۱. Hollow Structural Section

۲. Rectangular Hollow Section

ورق‌های پیوستگی و به دنبال آن دشواری‌های بازرسی جوش و افزایش هزینه ساخت را اشاره نمود [۳]. همین عوامل سبب شده تا امروزه تحقیقات گسترده‌ای در سراسر دنیا در زمینه ارائه شکل مناسب و بررسی رفتار اتصالات ستون‌های قوطی برای ایجاد راهکاری مناسب برای کاهش هزینه اجرا و توزیع بهتر نیروهای ایجاد شده در اتصال و انتقال آن به ستون انجام گیرد. در این زمینه افراد زیادی به تحقیق پرداخته‌اند، و طرح‌های زیادی نیز ارائه شد، یکی از این اتصالات جدید که در آیین نامه فولاد آمریکا به عنوان اتصال از پیش تعریف شده، پذیرفته شد اتصال کان‌ایکس‌ال<sup>۱</sup> می‌باشد. این اتصال برای اولین بار توسط Robert J. simmons ارائه شد. هدف از ارائه این اتصال، صنعتی‌سازی و حذف هر گونه جوشکاری در کارگاه و افزایش ایمنی کار و سادگی و سرعت اجرا در سازه‌های بلندمرتبه در ستون‌های قوطی بود که اجرای آن در کارگاه را به راحتی کشیدن و رها کردن اتصال در محل یقه‌ها ساده می‌نماید [۴]. یک انتظار اساسی از قاب‌های خمشی این است که یک رفتار شکل‌پذیر و بدون شکست اتصال حاصل شود. برای رسیدن به این منظور، می‌توان یکی از دو استراتژی تقویت اتصال و یا تضعیف موضعی مقطع تیر را اتخاذ نمود. در اتصالات با مقطع کاهش یافته تیر<sup>۲</sup>، استراتژی تضعیف موضعی مقطع تیر اتخاذ شده است. در این اتصالات، با کاهش موضعی مقطع تیر در مجاورت ستون، از تمرکز تنش در محل اتصال جلوگیری می‌گردد و محل ایجاد مفصل پلاستیک از اتصال به مقطعی از تیر، در نزدیکی بر ستون منتقل می‌شود [۵]. در این پایان‌نامه یکی از اتصالات مطرح شده در آیین‌نامه AISC-358 [۶] با نام اتصال خمشی کان‌ایکس‌ال که به عنوان یکی از اتصالات مناسب برای ستون‌های قوطی مطرح شده است، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این اتصال، اتصالی کارخانه‌ای بوده که به صورت ریخته‌گری تولید می‌شود و از صلبیت بالایی برخوردار است. از آنجا که اتصال کان-ایکس‌ال جدید بوده و اطلاعاتی در خصوص نتایج آزمایشگاهی آن وجود نداشت، ابتدا برای صحت-سنجی، مدل اجزا محدود ساخته شده، با مدل عددی انجام شده توسط شهیدی و همکاران [۷]

---

۱ . ConXL

۲ . Reduced Beam Section (RBS)

مقایسه گردیده. در ادامه رفتار لرزه‌ای اتصال صلب خمشی کان‌ایکسال برای مقاطع و مصالح رایج در ایران و شناسایی هندسه بهینه تیر با مقطع کاهش‌یافته (RBS) را مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

## ۱-۲- محتوای پایان‌نامه

در این پایان‌نامه رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی کان‌ایکسال برای پروفیل‌های ایرانی مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ همچنین هندسه بهینه تیر با مقطع کاهش‌یافته، با تغییر پارامترهای برش شناسایی شده و تاثیر نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها و بتن پرکننده ستون بر عملکرد اتصال مورد مطالعه قرار گرفته است.

مطالب در فصول مختلف پایان‌نامه گردآوری شده است که به اختصار توضیح خواهیم داد.

در فصل دوم، هدف از انجام تحقیق و کارهای انجام شده توسط سایر محققین شرح داده شده؛ همچنین روش تحقیق به اختصار بیان شده است.

در فصل سوم، آسیب‌دیدگی ساختمان‌های خمشی فولادی جوشی و راهکارهای آن شرح داده شده است و چند نمونه اتصال صلب معرفی شده است.

در فصل چهارم، تیر با مقطع کاهش‌یافته (RBS)، معرفی شده است. در ادامه محدودیت‌ها و روابط طراحی این اتصال بیان شده است.

در فصل پنجم، اتصال صلب خمشی کان‌ایکسال به طور کامل معرفی شده است. هندسه، محدودیت‌ها و روابط طراحی مربوط به اتصال ارائه شده است.

در فصل ششم، نحوه‌ی مدلسازی اتصال صلب خمشی کان‌ایکسال، در نرم‌افزار اجزا محدود

آباکوس<sup>۱</sup> به طور گام به گام و مختصر توضیح داده شده است.

در فصل هفتم، نمونه‌های مدلسازی شده، شامل اتصال کان‌ایکسال با مقاطع تیر فولادی رایج در ایران و اتصال کان‌ایکسال با دو نمونه تیر، با پارامترهای برش مختلف جهت یافتن هندسه بهینه مقطع کاهش‌یافته تیر، مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج حاصل از تحلیل، ارائه شده است. همچنین اثر افزایش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها و حذف بتن پرکننده ستون، مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل هشتم، خلاصه نتایج و پیشنهادات ارائه شده است.

---

۱. ABAQUS 6.10.1



## ۲ - فصل دوم

### کلیات

(هدف تحقیق، پیشینه تحقیق، روش تحقیق)

## ۱-۲- هدف تحقیق

با توجه به استفاده‌ی گسترده‌ی سازه‌های فولادی در ایران و اینکه ایران از لحاظ لرزه‌خیزی در زمره کشورهای زلزله‌خیز قرار می‌گیرد، همچنین با در نظر گرفتن مسائل اجرایی پروژه‌های عمرانی در ایران، به خصوص کیفیت پایین جوشکاری و سنتی بودن این صنعت در ایران، منطقی است که مطالعاتی در راستای کاهش اثرات ناشی از ضعف‌های مطرح شده انجام شود. با توجه به اینکه آیین‌نامه‌های طراحی کشورمان به‌تازگی مورد بازبینی قرار گرفته‌اند و تغییراتی اساسی در آنها به چشم می‌خورد، اما با این وجود هنوز فقدان اتصالاتی همچون اتصال کان‌ایکسال در آیین‌نامه‌های ایران دیده می‌شود که لزوم مطالعه روی این نوع اتصالات و به نحوی بومی‌سازی آنها برای مصالح فولادی و مقاطع فولادی رایج در ایران را روشن می‌سازد. از این رو هدف از انجام این تحقیق بررسی رفتار لرزه-ای اتصال خمشی کان‌ایکسال برای پروفیل‌های رایج در ایران و همچنین شناسایی هندسه بهینه تیر با مقطع کاهش‌یافته (RBS) به منظور بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال است. همچنین اثر افزایش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها و حذف بتن پرکننده ستون، مورد بررسی قرار گرفته است.



## ۲-۲- پیشینه تحقیق

پس از زلزله سال ۱۹۹۴، نورث ریچ کالیفرنیا، که سبب آسیب دیدن بسیاری از سیستم‌های قاب خمشی فولادی گردید، توجه به قابلیت اعتماد در فرآیند طراحی سازه‌ها افزایش یافت [۸]. آسیب‌های به وجود آمده عموماً در محل اتصال تیر به ستون رخ داده بود، زیرا در آنها ظرفیت دوران غیر ارتجاعی اتصال، کمتر از ظرفیت غیر ارتجاعی اعضا قاب بود [۸]. این گسیختگی‌ها شامل گسیختگی‌های غیر شکل‌پذیر در ریشه جوش شیاری با نفوذ کامل<sup>۱</sup>، در محل اتصال بال تیر به ستون بوده است [۹، ۱۰]. پس از این زلزله تحقیقات زیادی در خصوص بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصالات صورت پذیرفت. در این میان می‌توان به Popov و Tsai [۱۱] که بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال End-Plate سخت‌کننده‌دار را با استفاده از پیچ‌های قوی‌تر، تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد بررسی قرار دادند، اشاره کرد. آنها توانستند طراحی این اتصال را به گونه‌ای توسعه دهند که از تمام ظرفیت پلاستیک تیر استفاده شود. همچنین نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از اتصال End-Plate سخت‌کننده‌دار، نیروی اهرمی را کاهش می‌دهد. Seradji [۱۲] با انجام آزمایش بر روی اتصال End-Plate هشت‌پیچی دارای سخت‌کننده، تحت بار چرخه‌ای نشان داد که سختی این اتصال به ضخامت ورق انتهایی و قطر پیچ‌های متصل‌کننده به ستون وابسته است. همچنین نشان داد که نازک‌تر کردن ورق انتهایی و افزایش قطر پیچ سبب ایجاد رفتار نیمه‌صلب در اتصال مذکور می‌گردد. Azizinamini و همکاران [۱۳] مطالعات آزمایشگاهی در خصوص رفتار اتصال نبشی نشیمن زیرسری و بالاسری تحت بارگذاری چرخه‌ای و بارگذاری یکنواخت (مونوتونیک) انجام دادند. Gerami و همکاران [۱۴] در بررسی عددی خود دریافتند که در اتصال سپری پیچی، با تغییر در فاصله افقی پیچ‌ها، مد گسیختگی اتصال سپری تغییر می‌کند، به گونه‌ای که حتی ممکن است تشکیل مفصل پلاستیک در ناحیه سپری روی دهد. Kasai و همکاران [۱۵]، مطالعات آزمایشگاهی اتصالی شبیه به اتصال نبشی زیر و بالاسری همراه با سخت‌کننده

---

۱ . Complete Joint Penetration (CJP)

و نوار برشگیر جان، تحت بار چرخه‌ای انجام دادند که این آزمایش برای تیرهایی با ارتفاع 406 mm تا 914 mm انجام شده بود. آنها دریافتند که این نوع اتصال دارای عملکرد خمشی مناسبی بوده و سختی کافی برای رفتار چرخه‌ای را فراهم می‌آورد و ظرفیت دوران‌های پلاستیک این اتصال بیش از اتصالات جوشی است. این تحقیقات مرجع مناسبی برای تحقیقات بعدی گردید. همچنین حذف جوش گوشه کارگاهی، علاوه بر افزایش کیفیت می‌توانست سبب کاهش هزینه‌های مربوط به اجرا و نظارت گردد. همه این موارد سبب شکل‌گیری ایده ساخت اتصالاتی همچون اتصال صلب کان‌ایکس‌ال گردید. این اتصال برای اولین بار توسط یک مهندس با تجربه آمریکایی به نام Robert J. Simmons که بیش از سی سال در صنعت ساختمان فعالیت دارد، ابداع شد. نخستین بار در سال 2008 میلادی اتصال فوق مدرن ConXL به جامعه علمی و مهندسی معرفی گردید. کمپانی CONXtech پس از مطالعه، تحقیق و گذراندن 17 آزمایش لرزه‌ای با مقیاس کامل بر روی سیستم ابداعی خود (ConXL) در دانشگاه آریزونا در آمریکا و همچنین بررسی‌های دقیق فنی که توسط هیئت تعیین صلاحیت اتصال موسسه فولاد ساختمانی آمریکا انجام شد، سرانجام در 19 مارس 2010 میلادی موفق به اخذ تاییدیه برای اتصال سازه‌ای ConXL از AISC گردید. بواسطه‌ی قابلیت‌های این فن‌آوری، در AISC-358 به صورت آیین‌نامه وارد شده تا در طراحی لرزه‌ای، برای قاب خمشی فولادی متوسط و همچنین قاب خمشی فولادی ویژه در سطح جهان مورد استفاده قرار گیرد. هدف از ارائه این اتصال صنعتی سازی و حذف هرگونه جوشکاری در کارگاه و افزایش ایمنی کار و سادگی اجرا در سازه‌های بلندمرتبه در ستون‌های قوطی بود.

در واقع زلزله نورتریج نقطه عطفی در طراحی سازه‌های فولادی دارای قاب خمشی و به خصوص اتصالات آنها به حساب می‌آید. پس از این زلزله دانشمندان و مهندسان علم ساختمان بر آن شدند تا به ابتکار و نوآوری‌های جدید بپردازند. یکی از روش‌های متداول و مورد تایید جهت مقاوم-سازی اتصالات صلب فولادی، تبدیل اتصال موجود به اتصال دارای تیر با مقطع کاهش‌یافته می‌باشد.

این نوع تغییر در اتصال منجر به بوجود آمدن تغییر شکل غیر الاستیک در قسمتی از تیر به دور از بال ستون می‌شود.

چن و همکاران<sup>۱</sup> [۱۶] مطالعاتی روی انعطاف‌پذیری رفتار اتصالات در برابر بارهای لرزه‌ای، روی میز لرزان انجام داده‌اند و پیشنهاد کرده‌اند که می‌توان برای افزایش ظرفیت شکل‌پذیری، سطح مقطع تیر را کاهش داد. تحقیقاتی که همین گروه<sup>۲</sup> [۱۷] روی رفتار دینامیکی اتصالات RBS انجام داده‌اند، حاکی از آن است که ظرفیت استهلاک انرژی این اتصالات بیش از اتصالات رایج می‌باشد.

در تحقیقات آزمایشگاهی که انگل‌هارت و همکاران<sup>۳</sup> [۱۸] روی اتصالات آزمایشگاهی انجام دادند، روابطی برای طراحی اتصالات RBS ارائه کردند. همچنین این آزمایش‌ها نشان داد که اتصالات RBS با برش دایروی رفتار بهتری نسبت به اتصالات RBS با برش ثابت دارند و می‌توان تعداد بیشتری سیکل بارگذاری را بدون افت شدید مقاومت تحمل کنند.

---

۱. Chen et al.1996

۲. Chen et al.1999

۳. Engelhardt et al.1998

## ۲-۳- روش تحقیق

روش تحقیق، روش عددی اجزا محدود غیر خطی (غیر خطی مصالح و هندسی) می باشد. از آنجا که اتصال کان ایکس ال جدید بوده و اطلاعاتی در خصوص نتایج آزمایشگاهی آن وجود نداشت، برای صحت سنجی مدل اجزا محدود ساخته شده، با مدل عددی انجام شده توسط شهیدی ف. [۷] مقایسه گردیده، و پس از اطمینان از صحت نتایج حاصله، مدل های عددی مورد بررسی ایجاد گردیده و تحت بارگذاری چرخه ای قرار داده می شوند. آیین نامه بارگذاری مورد استفاده، آیین نامه AISC-341 [۱۹] می باشد. بار اعمالی به صورت کنترل تغییر مکان در انتهای تیر اعمال می شود. همچنین برای آنالیز اجزا محدود غیر خطی، از نرم افزار اجزا محدود آباکوس استفاده شده است.

## ۳- فصل سوم

اتصالات صلب خمشی بعد از زلزله نورث ریج و

بررسی رفتار آنها

### ۳-۱- کلیات

قاب‌های فولادی بیش از صد سال است که در ساخت و سازها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اوایل قرن بیستم، اتصالات سازه‌های فولادی بیشتر به صورت پرچ اجرا می‌شدند، اتصالات تیر به ستون معمولاً به وسیله نبشی‌هایی که به آنها پرچ می‌شد صورت می‌گرفت. اگر چه تعدادی مقاطع گرم نورد شده وجود داشت که برای تیرها استفاده می‌شد ولی اغلب ستون‌ها را به صورت مقاطع متشکل از ورق و نبشی می‌ساختند. همزمان با گسترش استفاده از دیوارهای پیش‌ساخته بتنی به جای دیوارهای با مصالح بنایی در اواخر دهه ۱۹۴۰ و اوایل دهه ۱۹۵۰ قاب‌های خمشی نیز توسعه بیشتری یافتند. به هر حال با پیشرفت فلسفه‌های طراحی و تدوین آیین‌نامه‌ها میل به استفاده از اتصالات کاملاً گیردار به جای اتصالات نیمه‌صلب بیشتر شد تا به این ترتیب بتوان تمام توان را منتقل کرد. در طول جنگ جهانی دوم، جوش در سازه‌ها به عنوان روشی سریع برای ساخت و ساز مطرح شد. جالب است بدانیم که این تلاش‌های اولیه برای به وجود آوردن ساخت و ساز جوشی در ساختمان‌ها گاهی با شکست‌هایی به دور از انتظار مواجه می‌شد، اما با تمام این مشکلات در دهه ۱۹۵۰ ساختمان‌های جوشی به طور کامل جای ساختمان‌های پرچی و پیچی قبلی را گرفتند و در اواخر دهه ۱۹۵۰ جوش سازه‌ای به عنوان روشی قابل قبول در صنعت ساختمان‌سازی پذیرفته شد. به این ترتیب با توجه به اتصالات محکم، سخت و اقتصادی، جایگزینی اتصالات صلب جوشی به جای اتصالات نیمه‌صلب پیچ و پرچ شتاب بیشتری گرفت [۲۰].

### ۲-۲-۲- انواع اتصالات

اتصالات در قاب‌های فولادی به سه دسته کلی مطابق با جدول ۱-۳ طبقه‌بندی می‌شوند [۲۱].

جدول ۱-۳- طبقه‌بندی اتصالات

گروه	نوع اتصال	درجه صلبیت (R)
۱	ساده	$R < 20\%$
۲	نیمه‌صلب	$20\% \leq R \leq 90\%$
۳	صلب	$R > 90\%$

در جدول فوق درجه صلبیت، نسبت لنگر انتهایی حقیقی به لنگر گیرداری انتهایی در حالت گیرداری کامل می‌باشد.

#### ۲-۲-۱- اتصالات ساده

از انواع اتصال ساده تیر به ستون استفاده از نبشی‌های جان و یا نشیمن می‌باشد که در نوع دوم یک نبشی نیز در بال بالایی تیر قرار می‌گیرد. اتصال فقط برای انتقال نیروی برشی طرح می‌گردد و فرض می‌شود لنگر خمشی در اتصال ظاهر نمی‌شود. اگر یک تیر ساده بارگذاری شود، افتادگی وسط تیر باعث دوران دو انتها خواهد شد. اتصال باید طوری طرح گردد که بتواند بدون قبول شکست به همین مقدار دوران نماید و آنقدر شکل‌پذیر باشد که از ایجاد لنگر در انتهای تیر جلوگیری کند. اتصالی که شرایط فوق را دارا باشد اتصال ساده انعطاف‌پذیر نامیده می‌شود.

#### ۲-۲-۲- اتصالات نیمه‌صلب

در اتصالات ساده، تیر برای حداکثر لنگر میانی طراحی می‌شود. در صورتی که یک اتصال صلب باعث کاهش لنگر در ناحیه میانی و افزایش لنگر در دو انتهای تیر می‌شود. لنگر کاهش یافته میانی به لنگرهای انتهایی افزوده می‌شود و افزایش درجه صلبیت باعث کاهش لنگر میانی می‌شود. در صورتی

که شرایط تکیه‌گاهی تیر کاملاً صلب باشد و تیر تحت اثر دهانه مجاور که احتمال دارد باعث انتقال لنگر اضافه از طریق اتصال شود نباشد، در حالت بارگذاری یکنواخت یک اتصال نیمه‌صلب با درجه صلبیت ۷۵٪ باعث برابری لنگر در وسط و دو انتهای تیر می‌شود. در این حالت کمترین اساس مقطع که معادل نصف شرایط اتصال ساده است، حاصل می‌شود. افزایش درجه صلبیت از این میزان باعث فراتر رفتن لنگر انتهایی و کاهش آن باعث بیشتر شدن لنگر میانی از حد مجاز می‌شود. در نتیجه همواره توصیه می‌شود که تیر برای صلبیت ۵۰٪ و اتصال برای صلبیت ۷۵٪ طراحی گردد.

### ۳-۲-۳- اتصالات صلب

برای اتصالات کاملاً صلب، لنگرهای حقیقی باید به وسیله یکی از روش‌های مختلف تحلیل سازه محاسبه شود و تیرها و اتصالات برای لنگر و برش مربوطه طراحی گردد. اتصال باید صلبیت کافی داشته باشد تا بتواند در عمل زاویه اصلی بین ستون و تیر را ثابت نگه دارد. صلبیت یک اتصال، تحت تاثیر صلبیت تکیه‌گاه‌های آن قرار دارد. برای تیرهایی که به روی بال ستون سوار می‌شوند، نازک و یا لاغر بودن ورق بال ستون باعث کاهش صلبیت اتصال می‌شود. جهت رفع این مشکل از سخت-کننده بین بال‌های ستون استفاده می‌شود. اگر تیر مستقیماً به جان ستون متصل شود، هیچ‌گونه کاهشی در صلبیت به وجود نمی‌آید.

### ۳-۳- آسیب‌دیدگی ساختمان‌های خمشی فولادی جوشی

پس از کشف آسیب‌های دور از انتظار ساختمان‌های خمشی فولادی در زلزله نورثریج، این اندیشه در بین مهندسان و سازمان‌های مرتبط تقویت شد که ممکن است به دلیل زلزله‌های گذشته نیز آسیب‌هایی در این نوع ساختمان‌ها به وجود آمده باشد که شناسایی نشده‌اند. بنابراین به عنوان قسمتی از فاز دو مطالعات به این نکته توجه شد که در دیگر زلزله‌های رخ داده چه آسیب‌هایی به این نوع سازه‌ها وارد آمده است، به همین منظور آسیب‌های وارد آمده از زلزله‌های ۱۹۷۱ سن‌فرناندو<sup>۱</sup>،

---

۱. San Fernando



۱۹۸۹ لوما پریتا و ۱۹۹۲ لندرز بیگ بیر، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند.

یک سال بعد از زمین لرزه نورث ریچ، زلزله‌ای به بزرگی ۶٫۹ در مقیاس ریشتر شهر کوبه<sup>۱</sup> در ژاپن را لرزاند. کوبه شهر بزرگی با جمعیتی بالغ بر ۱٫۵ میلیون نفر است که سازه‌های فولادی خمشی با اتصالات جوشی بسیاری در آن وجود دارد. این سازه‌ها هم شامل ساختمان‌های کوتاهی می‌باشند که در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ بنا شده‌اند و هم شامل ساختمان‌های بلند مرتبه مدرنی هستند که اخیراً ساخته شده‌اند. به طور کلی ساخت و ساز این نوع ساختمان‌ها در ژاپن با آنچه که در ایالات متحده وجود دارد متفاوت است، اما بسیاری از اتصالات ساختمان‌های با قاب خمشی در زلزله کوبه آسیب دیدند و حتی ۵۰ ساختمان فرو ریختند. درست مانند ایالات متحده، ژاپنی‌ها نیز بر این باور بودند که باید برنامه مطالعاتی گسترده‌ای برای بررسی عوامل شکست و عملکرد ضعیف اتصالات گیردار در زلزله ترتیب داده و تکنیک‌های طراحی جدیدی برای این نوع ساخت و سازها گردآوری شود. کشف آسیب‌های جدی در ساختمان‌های فولادی با قاب‌های خمشی جوشی در زلزله‌های سن فرناندو، لوما پریتا، لندرز بیگ بیر و کوبه شواهد مختلفی است که تایید می‌نماید آسیب اتصالات گیردار تنها منحصر به زمین لرزه نورث ریچ و مشخصه‌های خاص این زمین لرزه نمی‌شود و این اتصالات مورد استفاده هستند که دارای نواقص عمده‌ای هستند.

نتایج حاصل از آزمایشات متعدد مشخص نموده است که اتصالات گیردار جوشی رایج، به دلیل وقوع شکست‌های ترد در محل اتصال تیر به ستون و یا در ناحیه حرارت دیده در اثر جوشکاری، قادر به نشان دادن شکل‌پذیری مناسب و یا رسیدن به مقاومت تیرها و چشمه اتصال نمی‌باشند. خرابی‌های مشاهده شده در اتصالات گیردار جوشی صرفاً به دلیل وقوع شکست ترد در محل اتصال تیر به ستون و یا در ناحیه حرارت دیده جوشکاری نبوده است، بلکه پاره‌ای از خرابی‌ها به علت وقوع کمانش بال و جان، کمانش جانبی - پیچشی تیر، شکست بال تیر در ناحیه کمانش یافته به دلیل وجود تنش‌های

---

۱. Kobe

ثانویه ناشی از کمانش، رخ داده است. بنابراین برای اصلاح عملکرد این گونه اتصالات باید به نوعی از سطح تنش در محل اتصال تیر به ستون کم کرد. در ادامه به روش‌های اصلاح عملکرد اتصالات اشاره خواهد شد.

### ۳-۴- اصلاح رفتار اتصالات صلب خمشی

تلاش‌های انجام شده برای اصلاح رفتار تناوبی اتصالات خمشی رایج، به دو راهکار اصلاحی کلی قابل تقسیم‌بندی است. یکی از روش‌ها، سخت کردن اتصال و دیگری نرم کردن تیر در مجاورت ستون می‌باشد. این دو روش اصلاح اتصالات اگر چه در ظاهر با یکدیگر متفاوت هستند اما هدف مشترک آنها سوق دادن مفصل پلاستیک به ناحیه‌ای دور از برستون، یعنی دور کردن مفصل پلاستیک از نقطه‌ای که مستعد برای شکست ناگهانی به علت معایب احتمالی در جوش، تمرکز تنش به علت وجود سوراخ‌های دسترسی و ورق پشت‌بند و وجود تنش‌های سه محوره می‌باشد. در واقع در اتصالات سخت شده با قوی کردن اتصال، تشکیل مفصل پلاستیک به دور از بال ستون، جایی که شرایط بحرانی بالا وجود ندارد، رخ می‌دهد، در حالی که در اتصالات نرم شده با ضعیف کردن ناحیه‌ای دور از بر ستون، مفصل پلاستیک به داخل تیر هدایت می‌شود.

### ۳-۴-۱- سخت کردن اتصالات

در راهکار اول یعنی سخت کردن اتصال، اتصالات خمشی رایج با اضافه کردن ورق‌های پوششی، ورق‌های کناری، لچکی‌های قائم و یا ماهیچه‌ها تقویت می‌شوند. با سخت کردن اتصال، تنش در جوش اتصال تیر به ستون پایین می‌آید. همچنین با افزایش سختی اتصال، امکان وقوع مفصل پلاستیک در نزدیکی ستون کاهش یافته و مفصل به داخل تیر منتقل می‌گردد. به این ترتیب سطح تقاضا در محل اتصال تیر به ستون پایین آمده و جوش کمتر در معرض شکست ترد خواهد بود. در مطالعات انجام شده که در آن به بررسی رفتار اتصالات سخت شده با ورق پوششی پرداخته شده است، نتایج موید این مطلب است که در این نوع اتصال با افزایش سختی اتصال، از شکست ترد اتصال جلوگیری می‌شود.

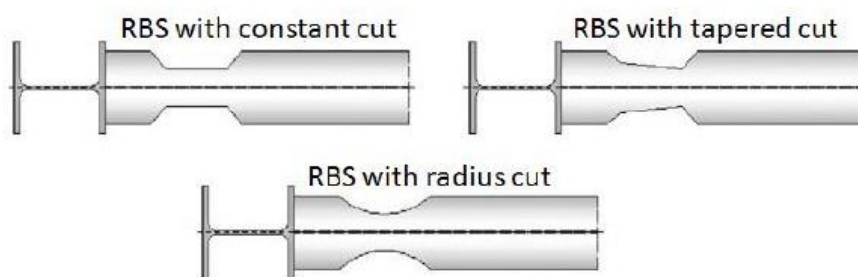
همچنین یانگ و همکاران<sup>۱</sup> و لی و همکاران<sup>۲</sup> رفتار هیسترتیک<sup>۳</sup> اتصالات سخت شده با ماهیچه را با رفتار اتصالات بدون ماهیچه مقایسه کرده‌اند. این بررسی‌ها نشان می‌دهند که سطح تنش در جوش و محل اتصال تیر به ستون با افزودن ماهیچه کم می‌شود.

از معایب روش سخت کردن اتصال می‌توان به مصرف بیشتر مصالح، افزایش حجم جوشکاری و به دنبال آن افزایش تنش‌های پسماند اشاره کرد.

### ۳-۴-۲- نرم کردن اتصالات

راهکار دوم اصلاح عملکرد اتصالات خمشی، نرم‌تر کردن بخشی از تیر در نزدیکی اتصال تیر به ستون می‌باشد. اتصال حاصل از این روش به اتصال تیر با مقطع کاهش یافته و یا به اختصار اتصال RBS موسوم است. یکی از روش‌های نرم کردن اتصال، بریدن بال در نزدیکی بر ستون می‌باشد. برش کردن تیر می‌تواند به صورت برش ثابت، دوزنقه‌ای و یا دایروی باشد. روش دیگر نرم کردن اتصال، سوراخ کردن بال تیر و کاهش سطح مقطع آن است؛ این روش به دلیل وقوع تمرکز تنش‌های شدید در اطراف سوراخ‌ها و نیز هزینه نسبتاً بالای سوراخکاری چندان مورد استفاده قرار نگرفته است.

روش‌های مختلف نرم کردن اتصال در شکل ۱-۳ و ۲-۳ نشان داده شده است.

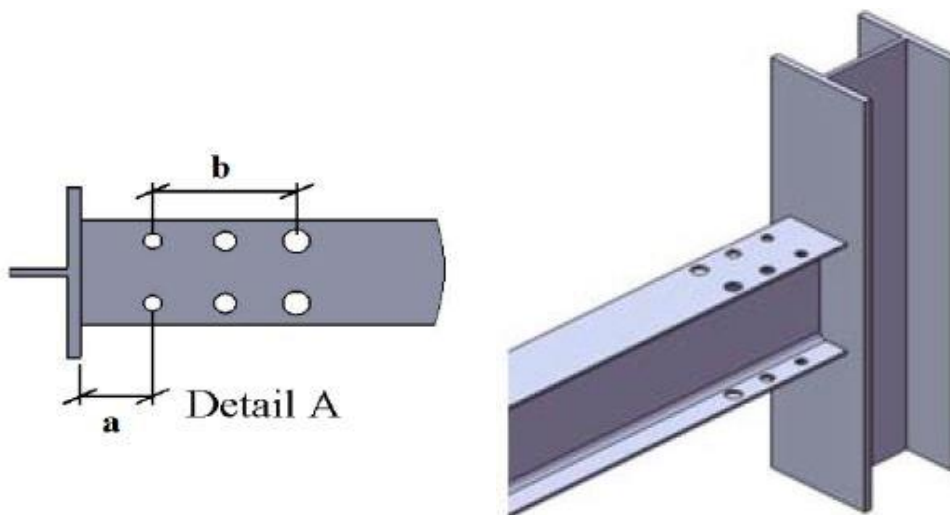


شکل ۱-۳- روش‌های افزایش نرمی اتصال خمشی (برش دوزنقه‌ای، برش ثابت و برش دایروی)

۱. Uang et al. 1996

۲. Lee et al. 1997

۳. Hysteretic behavior



شکل ۳-۲- روش سوراخ کردن بال تیر برای افزایش نرمی اتصال خمشی

### ۳-۵- انواع اتصالات صلب توصیه شده در آیین نامه FEMA-350

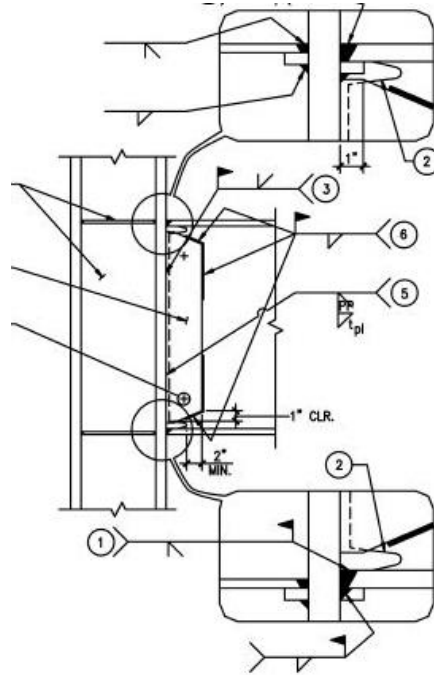
در آیین نامه FEMA-350 [10] پنج نوع اتصال کاملاً صلب جوشی که با روش نرم یا سخت شدن اتصال اصلاح شده‌اند مطابق جدول ۳-۲ معرفی شده‌اند.

جدول ۳-۲- اتصالات کاملاً صلب جوشی آیین نامه FEMA 350

نوع قاب	اتصال
معمولی	بال جوش - جان پرچ شده (WUF-B)
معمولی و ویژه	بال‌های جوش شده - جان جوش شده (WUF-W)
معمولی و ویژه	بال آزاد (FF)
معمولی و ویژه	مقطع کاهش یافته تیر (RBS)
معمولی و ویژه	ورق بال جوش شده (WFP)

### ۳-۵-۱- اتصال صلب WUF-W<sup>۱</sup>

در این نوع اتصال، بال تیر مستقیماً به بال ستون با جوش شیاری متصل گردیده و جان بوسیله ورق برشی به بال ستون جوش داده می‌شود. این نوع اتصال در قاب‌های خمشی ویژه و معمولی کاربرد دارد و جزئیات طراحی آن در FEMA-350 به طور کامل ارائه شده است.



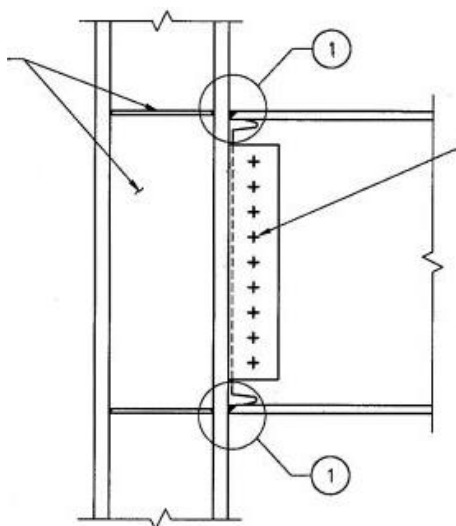
شکل ۳-۳- اتصال صلب WUF-W

### ۳-۵-۲- اتصال صلب WUF-B<sup>۲</sup>

در این نوع از اتصال، بال تیر مستقیماً به بال ستون با جوش شیاری متصل گردیده و جان تیر بوسیله ورق برشی توسط پیچ به بال ستون متصل می‌گردد. کاربرد این اتصال در قاب‌های خمشی معمولی می‌باشد.

۱. Welded Unreinforced Flanges-Welded

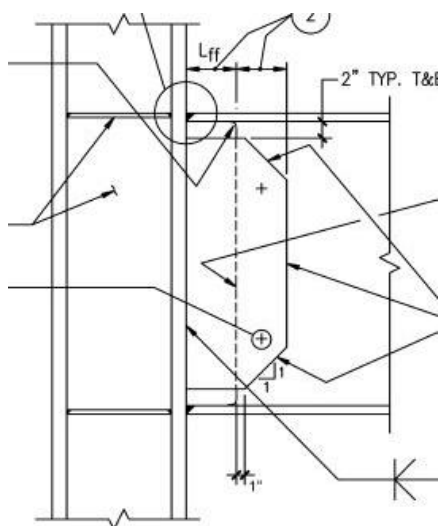
۲. Welded Unreinforced-Bolted Web



شکل ۳-۴- اتصال صلب WUF-B

### ۳-۵-۳- اتصال صلب FF

همانطور که در شکل ۳-۵ نشان داده شده است، قسمتی از جان تیر بریده شده و بال‌های تیر به صورت جداگانه با جوش شیاری به بال ستون متصل می‌شود. این اتصال هم در قاب‌های خمشی معمولی و هم در قاب‌های خمشی ویژه کاربرد دارد.

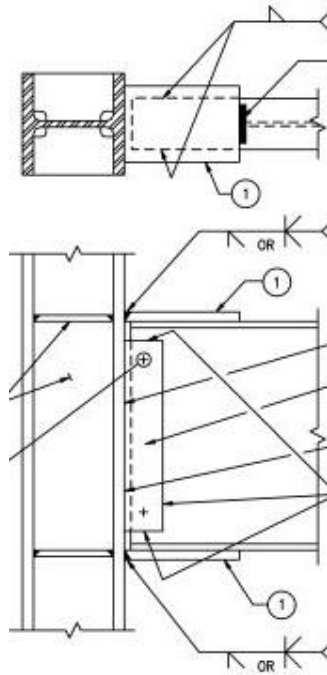


شکل ۳-۵- اتصال صلب FF

۱. Free Flange

### ۳-۵-۴- اتصال صلب WFP

این اتصال تقریباً شبیه به اتصال توصیه شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران می‌باشد. این اتصال در قاب‌های خمشی معمولی<sup>۲</sup> و هم در قاب‌های خمشی ویژه<sup>۳</sup> کاربرد دارد. در این اتصال همانطور که در شکل ۳-۶ نشان داده شده است، تیر به صورت غیر مستقیم با ورق‌های اتصال در بالا و پایین تیر به ستون متصل می‌گردد. ورق‌های اتصال نیز با جوش شیاری به بال ستون متصل می‌گردند. اما تفاوتی که از لحاظ شکل ظاهری این اتصال صلب با اتصال آیین‌نامه ۲۸۰۰ وجود دارد، در شکل ورق اتصال بالایی می‌باشد.

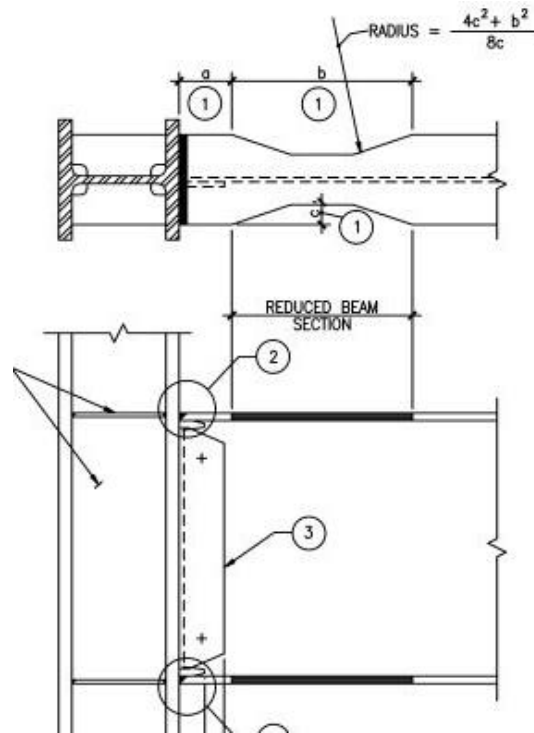


شکل ۳-۶- اتصال صلب WFP

- 
۱. Welded Flange Plate
  ۲. Ordinary Moment Frames (OMF)
  ۳. Special Moment Frames (SMF)

### ۳-۵-۵- اتصال صلب RBS

در این نوع از اتصال تیر بصورت مستقیم با استفاده از جوش شیاری بال تیر به بال ستون متصل می‌گردد و در فاصله‌ای از بر ستون در ناحیه‌ای از تیر، مقطع آن کاهش داده می‌شود تا به این وسیله مفصل پلاستیک در تیر ایجاد گردد.



شکل ۳-۷- اتصال صلب RBS



## ۲ - فصل چہارم

معرفی تیریا مقطع کاہش یافتہ (RBS) وروابط

طراحی

#### ۴-۱- کلیات

قبل از زلزله‌ی نورتریج، قاب‌های فولادی مقاوم در برابر خمش با اتصالات جوشی، در مناطق لرزه‌ای و زلزله‌خیز آمریکا بسیار معمول بودند. در این قاب‌ها از اتصالات گیردار جان پیچی و بال جوشی (BWFF)<sup>۱</sup> استفاده می‌شد. با مطالعات آزمایشگاهی مجدد بر اتصال BWFF، شکل‌پذیری و اتلاف انرژی بسیار کم و شکست ترد در جوش‌های بال تیر به ستون در تغییر مکان‌های اندک برای آن مشاهده گردید. در چاره‌اندیشی برای بهبود عملکرد این اتصالات، اتصال با کاهش در مقطع تیر به نام RBS پیشنهاد گردید. در اتصالات RBS، با کاهش موضعی مقطع تیر در مجاورت ستون از تمرکز تنش در محل اتصال جلوگیری می‌گردد و محل ایجاد مفصل پلاستیک از اتصال به مقطعی از تیر در نزدیکی بر ستون منتقل می‌شود.

مطالعات تجربی نشان داده‌اند که اتصال خمشی RBS با برش دایروی به دلیل تغییرات تدریجی در هندسه، یکی از کارآمدترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها برای بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصالات خمشی رایج می‌باشد. آزمایشات مختلف انجام شده روی اتصالات RBS، نشان می‌دهد که این روش اصلاحی اتصالات، تا حد زیادی در جلوگیری از وقوع شکست زود هنگام موثر بوده‌اند؛ به گونه‌ای که اکثر نمونه‌ها، حتی چرخش پلاستیک بیش از ۳٪ را نیز تحمل کرده‌اند [۲۲].

#### ۴-۲- روش طراحی قاب‌های فولادی با اتصالات صلب RBS

در این فصل به روش طراحی اتصالات RBS پرداخته می‌شود. اتصالات RBS برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه مجاز هستند [۶].

#### ۴-۲-۱- طراحی تیرها

مقاطع استفاده شده برای تیرها IPE و IPB می‌باشند. این مقاطع مقررات AISC را برای مقطع تیرها ارضا می‌کند. طبق مقررات لرزه‌ای AISC، تیرها باید فشرده لرزه‌ای باشند.

---

۱. Bolted Web Welded Flange

#### ۴-۲-۱-۱ محدودیت تیرها بر اساس مقررات AISC-358

تیرها باید محدودیت‌های زیر را تامین نمایند:

- ارتفاع تیرها نباید بیش از ۱۰۰ cm باشد.
- وزن واحد طول تیر نباید بیش از ۴۴۷ kg/m باشد.
- ضخامت بال تیر نباید بیش از ۴۴ mm باشد.
- در قاب‌های خمشی ویژه طول دهانه خالص به ارتفاع تیر حداقل باید برابر ۷ و در قاب‌های خمشی متوسط حداقل برابر ۵ باشد.

#### ۴-۲-۱-۲ معیارهای لاغری تیرها

مطابق با مقررات لرزه‌ای AISC، مقاطع مورد استفاده برای تیرها باید فشرده لرزه‌ای باشند. به

عبارت دیگر نسبت لاغری بال تیر،  $b/2t_f$ ، نباید از مقادیر مجاز که به ترتیب عبارتند از:  $0.3\sqrt{(E/F_y)}$

برای اعضای با شکل‌پذیری زیاد و  $0.38\sqrt{(E/F_y)}$  برای اعضای با شکل‌پذیری متوسط تجاوز نمایند.

نسبت لاغری جان تیر،  $h/t_w$ ، نباید از مقادیر مجاز که به ترتیب عبارتند از:  $2.45\sqrt{(E/F_y)}$

برای اعضای با شکل‌پذیری زیاد و  $3.76\sqrt{(E/F_y)}$  برای اعضای با شکل‌پذیری متوسط تجاوز نمایند.

#### ۴-۲-۱-۳ مهار جانبی تیرها

مطابق مقررات لرزه‌ای AISC، هر دو بال تیر باید دارای مهار جانبی باشند و حداکثر فاصله بین

دو مهار جانبی در سیستم‌های با شکل‌پذیری زیاد، نباید از  $(0.086 r_y E)/F_y$  و در سیستم‌های با

شکل‌پذیری متوسط، از  $(0.17 r_y E)/F_y$  تجاوز کند. طبق همین مقررات برای قاب‌های خمشی، فاصله

اولین مهار جانبی از انتهای قسمت RBS که از بر ستون دورتر است، نباید بیش از  $d/2$  باشد، که  $d$

ارتفاع تیر می‌باشد.

#### ۴-۲-۲- طراحی ستون‌ها

مقطع استفاده شده برای ستون‌ها، BOX می‌باشد. این مقطع مقررات AISC برای مقطع ستون‌ها را ارضا می‌کند.

#### ۴-۲-۲-۱- محدودیت ستون‌ها بر اساس مقررات AISC-358

ستون‌ها باید محدودیت‌های زیر را تامین کنند:

- تیرها باید به بال ستون‌ها متصل شوند.
- ارتفاع ستون‌ها نباید از ۱۰۰ cm تجاوز کند.
- محدودیت واحد وزن طول، برای ستون‌ها وجود ندارد.
- محدودیت برای ضخامت بال ستون‌ها وجود ندارد.

#### ۴-۲-۲-۲- معیاری لاغری ستون‌ها

طبق مقررات لرزه‌ای AISC، مقاطع مورد استفاده برای ستون‌ها باید فشرده لرزه‌ای باشند، به عبارت دیگر نسبت لاغری بال و جان ستون، برای مقاطع قوطی پرشده با بتن، نباید از مقدار  $\lambda$  که از روابط زیر بدست می‌آید تجاوز نماید.

برای اعضای با شکل پذیری زیاد:

$$\lambda_{hd} = 1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (1-4)$$

برای اعضای با شکل پذیری متوسط:

$$\lambda_{md} = 2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2-4)$$

### ۳-۲-۴- طراحی اتصالات

اتصالات بر اساس مقررات AISC که در استاندارد AISC-358 مقرر شده است، طراحی می-گردند.

### ۱-۳-۲-۴ طراحی ناحیه بریده شده تیر (ناحیه RBS)

مطابق با استاندارد AISC-358s1-11 باید از برش دایروی برای کاهش سطح مقطع در ناحیه بریده شده استفاده کرد. مراحل طراحی بصورت زیر می باشد:

۱) انتخاب مقادیر  $a$  و  $b$  و  $c$  (شکل ۱-۴) که باید در محدوده مقرر شده در این استاندارد قرار داشته باشد. این محدوده به قرار زیر است:

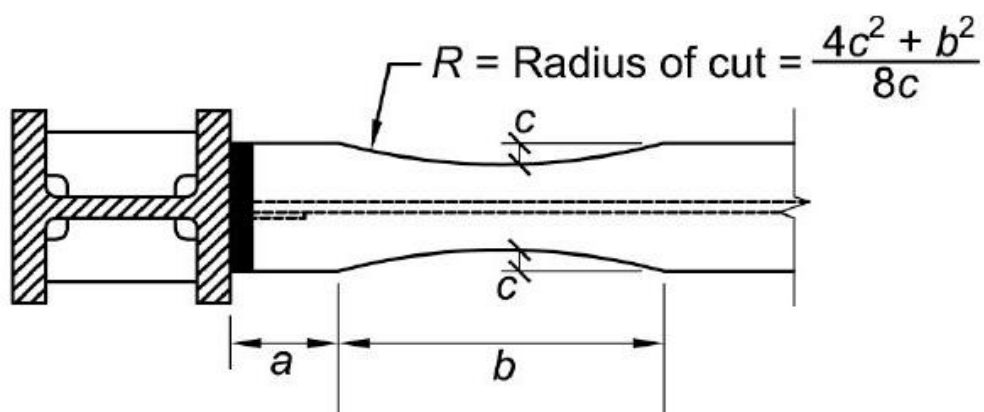
$$0.5b_{bf} \leq a \leq 0.75b_{bf}$$

$$0.65d \leq b \leq 0.85d$$

$$0.1b_{bf} \leq c \leq 0.25b_{bf} \quad (۳-۴)$$

که در آن:

$b_{bf}$  عرض بال تیر،  $d$  عمق تیر و  $a$  و  $b$  و  $c$  در شکل ۱-۴ نشان داده شده اند.



شکل ۱-۴- پارامترهای موجود در اتصال RBS

۲) محاسبه مدول پلاستیک در مرکز RBS از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z_e = Z_x - 2C_{bf} (d - t_{bf}) \quad (۴-۴)$$

که در آن:

$Z_e$ : مدول پلاستیک در مرکز RBS، حول محور قوی

$Z_x$ : مدول پلاستیک کل مقطع حول محور قوی

$t_{bf}$ : ضخامت بال تیر

۳) بیشینه لنگر محتمل در مرکز RBS از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_e \quad (۵-۴)$$

که در آن:

$M_{pr}$ : بیشینه لنگر محتمل در مرکز RBS

$R_y$ : نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم که مقدار آن برابر ۱.۱ در نظر

گرفته می‌شود.

$C_{pr}$ : ضریبی است که برای در نظر گرفتن مقاومت حداکثر اتصال، شامل سختی کرنشی،

تقویت اضافی و دیگر شرایط اتصال می‌باشد که از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2 \quad (۶-۴)$$

۴) محاسبه نیروی برشی در مرکز RBS در هر دو انتهای تیر:

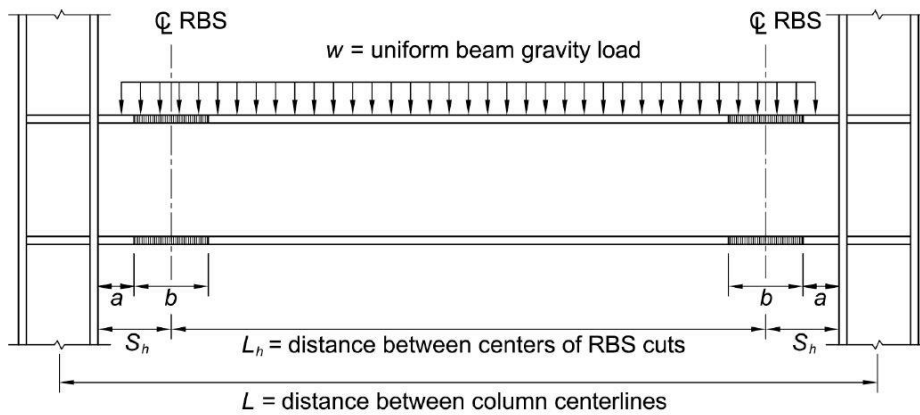
برای محاسبه نیروی برشی در مرکز RBS، باید ابتدا دیاگرام آزاد تیر را مطابق شکل ۲-۴ و ۳-۴

رسم کرد و لنگر مرکز RBS را  $M_{pr}$  در نظر گرفت. سپس با استفاده از ترکیب بار مرده و زنده  $(1.2DL + 0.5LL)$  مقادیر برش را با استفاده از روابط زیر بدست آورد:

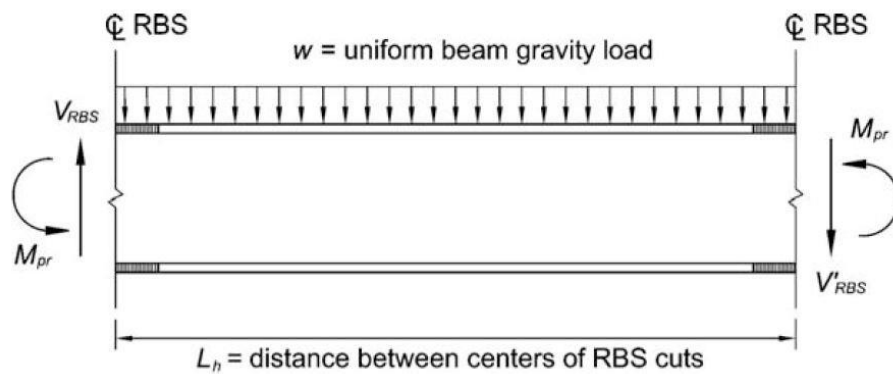
$$W = 1.2DL + 0.5LL \quad (۷-۴)$$

$$V'_{RBS} = \frac{2M_{pr}}{L'} - \frac{WL'}{2} \quad (۸-۴)$$

$$V_{RBS} = \frac{2M_{pr}}{L'} + \frac{WL'}{2} \quad (۹-۴)$$



شکل ۴-۲- تیر با اتصال RBS تحت بار ثقلی



شکل ۴-۳- دیاگرام آزاد تیر بین دو ناحیه برش خورده جهت محاسبه برش در ناحیه RBS

۵) محاسبه بیشینه لنگر محتمل در بر ستون:

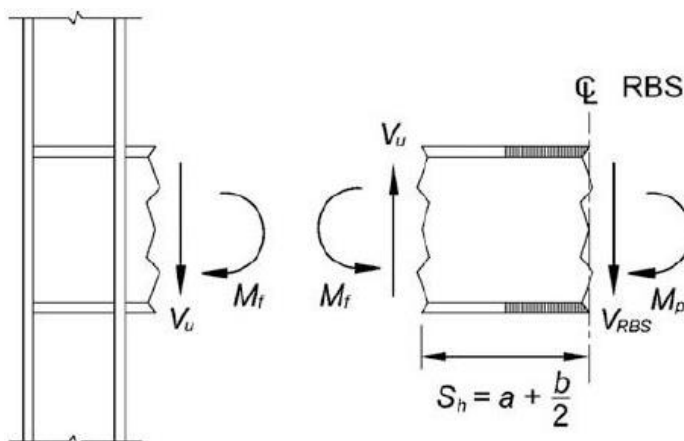
بیشینه لنگر محتمل در بر ستون باید از دیاگرام آزادی مطابق شکل ۴-۴ و رابطه زیر بدست

آید:

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h \quad (10-4)$$

که  $M_f$  بیشینه لنگر محتمل در بر ستون می‌باشد و  $V_{RBS}$  از مرحله قبل بدست می‌آید:

$$S_h = a + \frac{b}{2} \quad (11-4)$$



شکل ۴-۴- دیاگرام آزاد جهت محاسبه بیشینه لنگر محتمل در بر ستون

۶) محاسبه لنگر پلاستیک بر اساس تنش تسلیم مورد انتظار:

$$M_{pe} = R_y F_y Z_x \quad (12-4)$$

که  $M_{pe}$  لنگر پلاستیک مورد انتظار تیر می‌باشد.

۷) پس از محاسبه  $M_{pe}$  و  $M_f$ ، باید رابطه زیر برقرار باشد در غیر اینصورت باید مقادیر  $a$  و  $b$  و

$c$  را تغییر داد و مراحل ۱ تا ۷ را دوباره انجام داد.

$$M_f \leq \phi M_{pe} \quad (13-4)$$



۸) تعیین مقاومت برشی مورد نیاز:

برای تعیین مقاومت برشی مورد نیاز تیر و اتصال جان تیر به ستون از رابطه زیر استفاده می-

شود:

$$V_u = \frac{2Mpr}{L_h} + V_{gravity} \quad (۴-۱۴)$$

$V_u$ : مقاومت برشی مورد نیاز تیر و اتصال تیر به ستون

$L_h$ : فاصله بین مرکز دو ناحیه کاهش یافته (RBS)

$V_{gravity}$ : نیروی برشی در اثر ترکیب بار  $1.2DL + 0.5LL$

مقاومت برشی طراحی اتصال باید از مقاومت برشی مورد نیاز بیشتر باشد.



## ۵- فصل پنجم

معرفی اتصال صلب خمشی کان ایکس ال

## ۵-۱- کلیات

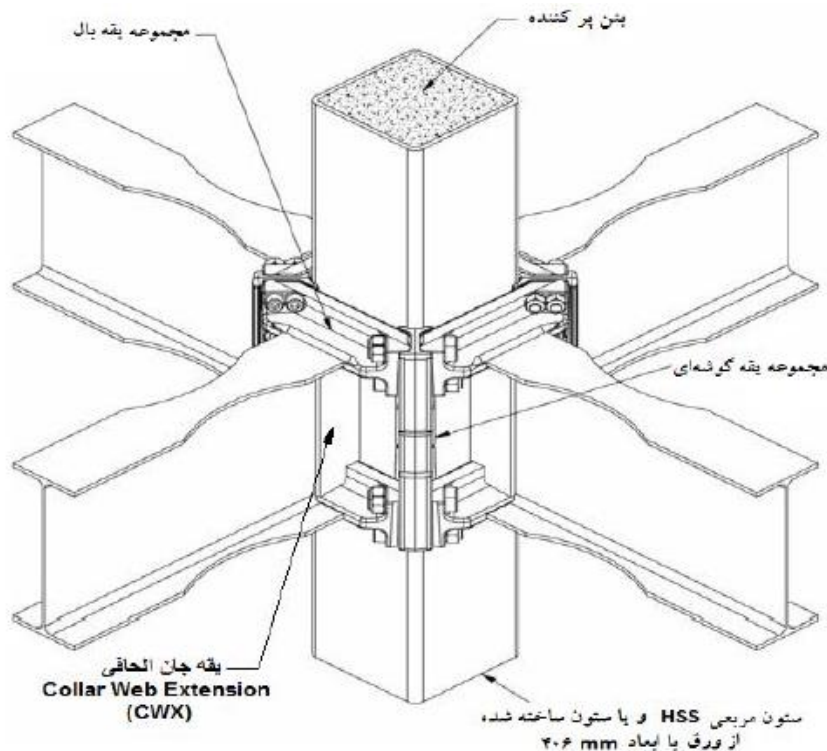
اتصال کان ایکس آل برای دستیابی به اتصالی محکم و مطمئن با حذف جوش‌های کارگاهی و نصب آسان، طراحی و ارائه شده است. این اتصال از قطعاتی به اسم کولار<sup>۱</sup> که در چهار گوشه ستون نصب می‌شود، تشکیل شده است. تیرها در این روش با یک جفت یقه اتصال به آن وصل می‌شود. این اتصال شامل مجموعه‌ای از یقه‌های بال بالایی<sup>۲</sup>، یقه‌های بال پایینی<sup>۳</sup>، یقه‌های گوشه‌ای بالایی<sup>۴</sup>، یقه‌های گوشه‌ای پایینی<sup>۵</sup>، یقه‌های گوشه‌ای میانی<sup>۶</sup> (در صورتی که عمق تیرها از ۴۶۰ mm بیشتر باشد)، یقه الحاقی جان<sup>۷</sup> (فقط در وجه اتصال تیر به ستون) و مجموعه‌ای از پیچ‌های پرمقاومت پیش‌تنیده مورب (با زاویه ۴۵ درجه) می‌باشد که مجموعاً گره کان ایکس آل را تشکیل می‌دهند. پیچ‌های پیش‌تنیده سبب اتصال یقه‌های بال بالایی و پایینی به یقه‌های گوشه‌ای در چهار وجه ستون شده و سبب ایجاد دیافراگمی صلب پیرامون ستون می‌گردد. اتصال تمامی یقه‌های بال بالایی و پایینی به تیر توسط جوش شیاری با نفوذ کامل<sup>۸</sup> و اتصال یقه الحاقی جان به تیر و یقه‌های گوشه‌ای به دیواره ستون توسط جوش گوشه<sup>۹</sup> و اتصال یقه‌های گوشه‌ای به هم توسط جوش‌های شیاری با نفوذ نسبی<sup>۱۰</sup> در کارخانه صورت گرفته و قطعات در کارگاه فقط روی هم مونتاژ می‌گردند [۶].

مکانیزم انتقال نیرو در این اتصال از طریق انتقال نیروهای خمشی ایجاد شده در بال تیر به

- 
۱. Collar
  ۲. Collar Flange Top (CFT)
  ۳. Collar Flange Bottom (CFB)
  ۴. Collar Corner Top (CCT)
  ۵. Collar Corner Bottom (CCB)
  ۶. Collar Corner Middle (CCM)
  ۷. Collar Web Extension (CWX)
  ۸. Complete Joint Penetration (CJP)
  ۹. Fillet Weld
  ۱۰. partial joint penetration (PJP)

وسیله جوش شیاری با نفوذ کامل، به مجموعه یقه‌های بال صورت می‌گیرد. در این حالت یقه بال، نیروی فشاری بوجود آمده در بال تیر را توسط انحنا سراسری یقه بال و تماس تکیه‌گاهی ناشی از سطوح شیب‌دار یقه‌ها، به یقه‌های گوشه‌ای منتقل می‌کند. دیگر یقه بال، نیروی کششی ایجاد شده ناشی از خمش را به پیچ‌های پیش‌تنیده انتقال می‌دهد، پیچ‌های یقه این نیروها را در سرتاسر یقه بال‌های متعامد توزیع می‌کنند. سپس نیروها از پیچ‌های یقه‌های پشتی در وجه مخالف ستون عبور نموده و به سراسر جداره‌های ستون که ترکیبی از قسمت تماسی تحمل‌کننده بار و جوش‌های گوشه متصل‌کننده یقه‌های گوشه‌ای به ستون می‌باشد، انتقال می‌یابد. همچنین در صورت وجود بتن پرکننده که در تماس با جداره‌های ستون است، منتقل می‌شود [۶].

پیکربندی و مکانیزم انتقال نیرو در اتصال کان‌ایکسال در شکل ۵-۱ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱- نمای کلی اتصال ConXL

طبق آیین‌نامه AISC-358 تیرها و ستون‌ها و اجزای مختلف اتصال کان‌ایکسال مورد استفاده، باید ضوابط زیر را برآورده سازند [۶]:

## ۵-۲- محدودیت‌ها در اتصال کان‌ایکسال

### ۵-۲-۱- ضوابط تیرها:

تیرها باید محدودیت‌های زیر را تامین نمایند:

(۱) تیرها باید از مقاطع بال‌پهن نورد شده یا مقاطع I شکل ساخته شده با ورق تشکیل گردند.  
(۲) عمق تیرها، برای مقاطع نورد شده به W30, W27, W24, W21, W18 محدود می‌شوند.  
عمق مقاطع ساخته شده با ورق نباید از محدوده‌ی عمق مجاز برای مقاطع بال‌پهن نورد شده فراتر رود.

(۳) حداکثر ضخامت بال تیر به ۱ اینچ (۲۵ mm) محدود می‌شود.

(۴) حداکثر عرض بال تیر به ۱۲ اینچ (۳۰۰ mm) محدود می‌شود.

(۵) نسبت فاصله خالص دهانه به عمق تیر برای سیستم قاب خمشی ویژه، ۷ یا بزرگتر، و برای سیستم قاب خمشی متوسط، ۵ یا بزرگتر می‌باشد.

(۶) نسبت عرض به ضخامت برای بال‌ها و جان تیر باید منطبق بر ضوابط لرزه‌ای AISC باشد.

(۷) مهار جانبی تیرها باید با محدودیت‌های لرزه‌ای AISC مطابقت داشته باشد.

**استثناء:** برای هر دو سیستم قاب خمشی ویژه و متوسط، در جایی که تیر، دال بتنی سازه‌ای را تحمل می‌کند و همچنین در منطقه محافظت شده بین تیر با دال پیوستگی وجود داشته باشد، و برشگیرها با حداکثر فاصله مرکز به مرکز ۱۲ اینچ (۳۰۰ mm) قرار داشته باشند، نیازی به استفاده از مهار جانبی اضافی برای بال بالا و پایین در محدوده مفصل پلاستیک مورد انتظار نمی‌باشد.

(۸) برای اتصال تیر با مقطع کاهش یافته، منطقه محافظت شده، قسمتی از تیر است که در فاصله‌ی بین وجه ستون تا انتهای قسمت کاهش یافته می‌باشد. برای تیرهای بدون کاهش مقطع، منطقه محافظت شده در فاصله بین وجه ستون تا  $d$  از بر ستون می‌باشد ( $d$  ارتفاع مقطع تیر می‌باشد و از قسمت بیرونی یقه بال در نظر گرفته می‌شود).

### ۵-۲-۲- ضوابط ستون‌ها

ستون‌ها باید محدودیت‌های زیر را تامین نمایند:

- (۱) ستون‌ها باید مقطعی مربعی به ابعاد ۱۶ اینچ ( $406 \text{ mm}$ ) داشته باشند که یا به صورت مقاطع جوش شده از ورق و یا به صورت مقاطع نورد شده (HSS) ساخته شده باشند.
- (۲) هیچ گونه محدودیتی در وزن واحد طول ستون‌ها وجود ندارد.
- (۳) ضخامت جداره‌ی ستون، نباید کمتر از  $\frac{3}{8}$  اینچ ( $10 \text{ mm}$ ) باشد.
- (۴) نسبت عرض به ضخامت برای ستون‌ها، باید مطابق با محدودیت‌های قابل اجرا برای ستون‌های مرکب پر شده، در قواعد لرزه‌ای AISC باشد.
- (۵) مهار جانبی ستون‌ها باید مطابق با الزامات ملاحظات لرزه‌ای AISC باشد.
- (۶) ستون‌ها باید بطور کامل از بتن سازه‌ای با حداقل وزن واحد حجمی  $17 \text{ KN/m}^3$  پر شوند. همچنین مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن نباید کمتر از  $21 \text{ MPa}$  باشد.

### ۵-۲-۳- محدودیت‌های سیستم یقه

سیستم یقه در اتصال کان‌ایکس‌ال، باید محدودیت‌های زیر را تامین نمایند:

- (۱) شکل و تناسب سیستم یقه باید مطابق با بخش ۱۰-۹ آیین‌نامه AISC-358 باشد.
- (۲) سوراخ پیچ یقه‌های بال، باید  $\frac{1}{8}$  اینچ ( $3 \text{ mm}$ ) بزرگتر از قطر اسمی پیچ باشد. سوراخ پیچ‌ها باید از طریق مته‌کاری ایجاد گردند.
- (۳) سوراخ پیچ یقه‌های گوشه، باید  $\frac{1}{8}$  اینچ ( $3 \text{ mm}$ ) بزرگتر از قطر اسمی پیچ باشد. سوراخ

پیچ‌ها باید از طریق مته‌کاری ایجاد گردند.

(۴) ضخامت مصالح، فاصله لبه و فاصله انتها باید تلورانسی به اندازه  $\pm \frac{1}{16}$  اینچ (۲ mm) داشته باشد.

#### ۴-۲-۵- محدودیت‌های اتصالات سیستم یقه

(۱) پیچ‌های اتصال دهنده در سیستم یقه باید از نوع پیش‌تنیده و با مقاومت بالا مطابق با استاندارد ASTM A574 و الزامات بخش ۲-۴ و ۳-۴ آیین‌نامه AISC-358 باشد.

(۲) پیچ‌ها باید مطابق با ملزومات ASTM A490 که در آیین‌نامه RCSC آمده است، پیش‌تنیده شوند.

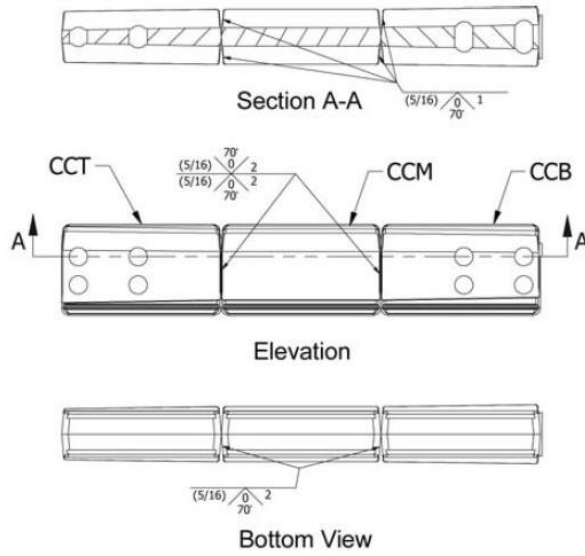
(۳) اتصال بین قطعات یقه‌های گوشه‌ای (CCT و CCM و CCB) باید با استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی (PJP) انجام گیرد. (شکل ۲-۵)

(۴) اتصال یقه‌های گوشه به ستون باید با استفاده از جوش نیم‌جناغی با نفوذ کامل  $\frac{3}{8}$  اینچ (۱۰ mm) صورت گیرد. (شکل ۳-۵)

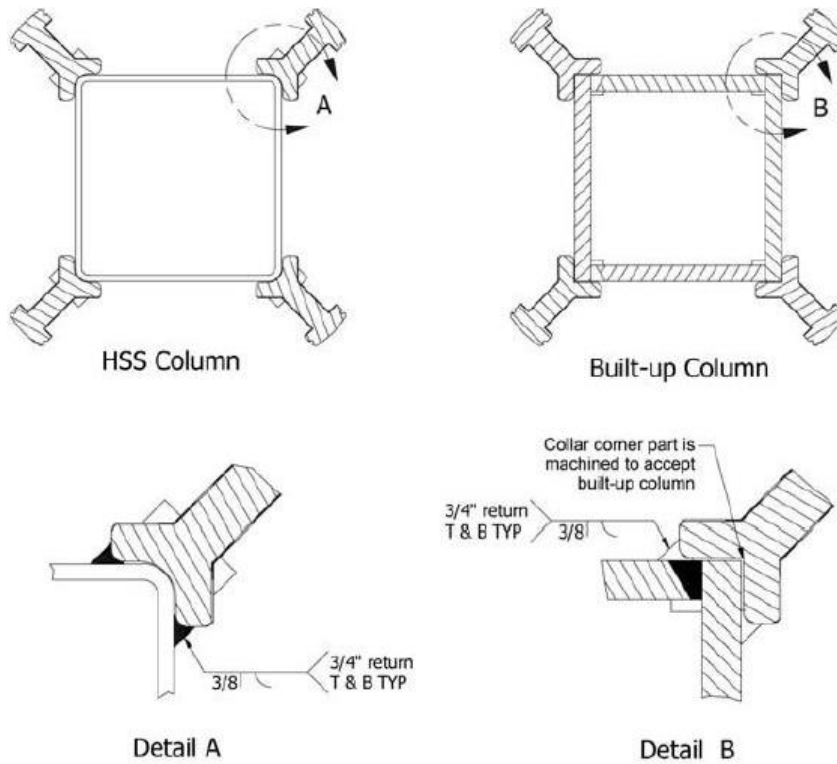
(۵) اتصال یقه بال به یقه الحاقی جان (CWX) باید با جوش گوشه  $\frac{5}{16}$  اینچ (۸ mm) صورت گیرد. (شکل ۴-۵)

(۶) اتصال تیر به یقه‌های بال باید با جوش نفوذی کامل (CJP) صورت گیرد. (شکل ۵-۵)

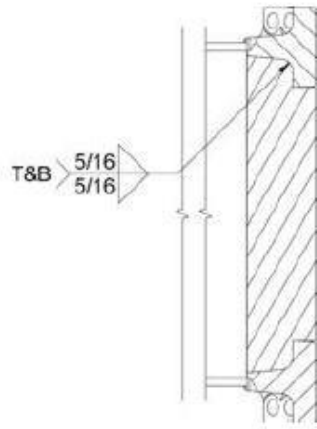




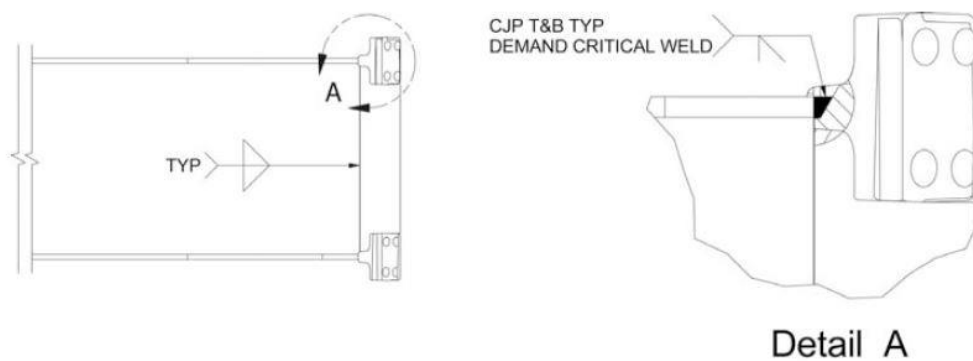
شکل ۲-۵- اتصال بین قطعات یقه‌های گوشه‌ای (CCT و CCM و CCB)



شکل ۳-۵- اتصال یقه‌های گوشه به ستون



شکل ۵-۴- اتصال یقه بال به یقه الحاقی جان (CWX)



شکل ۵-۵- اتصال تیر به یقه‌های بال

### ۵-۲-۵- محدودیت‌های اتصال جان تیر به یقه الحاقی جان

اتصال جان تیر به یقه الحاقی جان، باید محدودیت‌های زیر را تامین نمایند:

(۱) مقاومت برشی اتصال جان تیر به یقه جان، باید مطابق بخش ۱۰-۸ آیین‌نامه AISC-358

تعیین شود.

(۲) اتصال جان تیر به یقه قائم، با جوش گوشه دو طرفه صورت می‌گیرد. جوش‌های گوشه باید

مقاومت برشی مورد نیاز اتصال را تامین نماید. (شکل ۵-۶)

## ۵-۲-۶- محدودیت‌های روابط تیر- ستون

اتصال تیر به ستون باید محدودیت‌های زیر را تامین نماید:

(۱) چشمه اتصال باید مطابق با الزامات آیین‌نامه AISC باشد.

(۲) نسبت لنگر ستون به تیر به شرح زیر محدود می‌شود:

(الف) برای سیستم‌های قاب خمشی ویژه (SMF)، نسبت لنگر ستون به تیر، حول هر یک

از محورهای اصلی باید مطابق با الزامات لرزه‌ای AISC باشد.

(ب) برای سیستم‌های قاب خمشی متوسط (IMF)، نسبت لنگر ستون به تیر، باید مطابق

با الزامات لرزه‌ای AISC باشد.

## ۵-۳- روش طراحی

گام اول: محاسبه حداکثر لنگر خمشی احتمالی ( $M_{pr}$ ) در محل مفصل پلاستیک، مطابق

فصل ۳-۴-۲ آیین‌نامه AISC-358:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_e \quad (۱-۵)$$

که برای تیرها با RBS:

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2 \quad (۱-۱-۵)$$

برای تیرها بدون RBS:

$$C_{pr} = 1.1$$

$R_y$ : عبارت است از تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده، که به منظور

در نظر گرفتن افزایش مقاومت مورد نیاز باید در محاسبات مدنظر قرار گیرد. مقادیر  $R_y$  برای انواع

تولیدات فولاد، در جداولی در آیین‌نامه AISC-341 و مبحث دهم مقررات ملی آورده شده است.

$F_y$ : تنش تسلیم تعیین شده فولاد. (MPa) Ksi

$F_u$ : تنش کششی نهایی فولاد. (MPa) Ksi

$Z_e$ : اساس مقطع پلاستیک مقطع در محل تشکیل مفصل پلاستیک.  $in^3$  ( $mm^3$ )

گام دوم: محاسبه نیروی برشی در دو انتهای تیر، در محل مفصل پلاستیک ( $V_h$ )، این نیروی

برشی باید بوسیله دیاگرام جسم آزاد تیر، در فاصله بین دو مفصل پلاستیک محاسبه گردد.

در این محاسبات باید مقدار لنگر در مفصل پلاستیک را  $M_{pr}$  فرض کنیم و باید شامل بارهای

ثقلی موثر بر تیر، و مبتنی بر ترکیب بار  $1.2D + f_1L + 0.2S$  kips(N) باشد. در اینجا  $f_1$  ضریب باری

می باشد که به وسیله آیین نامه ی طراحی برای بارهای زنده تعیین می شود اما مقدار آن هیچ گاه نباید

کمتر از  $\frac{1}{2}$  فرض شود.

$$V_h = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravity} \quad (2-5)$$

$L_h$ : فاصله بین دو مفصل پلاستیک. in (mm)

$V_{gravity}$ : نیروی برشی تیر حاصل از ترکیب بار  $1.2D + f_1L + 0.2S$  (N) Kips

گام سوم: برای اقتناع رابطه ی تیر ضعیف - ستون قوی، باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1 \quad (3-5)$$

که در آن:

$\sum M_{pc}^*$ : مجموع لنگرهای خمشی ستون های بالا و پایین گره اتصال (Kip-in , N-mm) در

امتداد مورد نظر مطابق با رابطه ۵-۳-۱:

$$\sum M^*_{pc} = \sum Z_c (F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_g}) \quad (1-3-5)$$

$Z_c$ : اساس مقطع پلاستیک ستون.  $in^3$  ( $mm^3$ )

$A_g$ : سطح مقطع ستون.  $in^2$  ( $mm^2$ )

$F_{yc}$ : تنش تسلیم فولاد ستون. Ksi (MPa)

$P_{uc}$ : مقاومت فشاری مورد نیاز ستون حاصل از ترکیبات بار زلزله‌ی تشدید یافته. (N) Kips

$\sum M^*_{pb}$ : مجموع تصاویر لنگرهای خمشی تیرها در گره اتصال (Kip-in , N-m) نسبت به

راستای مورد نظر که از رابطه زیر بدست می‌آید:

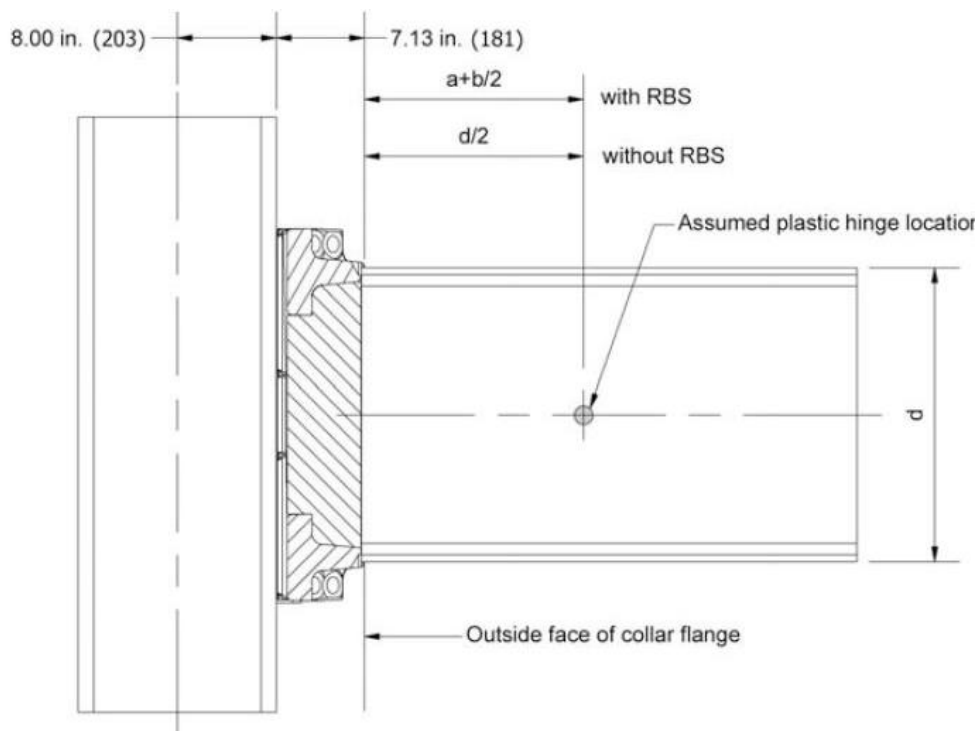
$$\sum M^*_{pb} = \sum (M_{pr} + V_h S_h) \quad (2-3-5)$$

$S_h$ : فاصله مفصل پلاستیک از مرکز ستون است. in (mm)

برای تیرها با RBS،  $S_h$  برابر است با فاصله از مرکز ستون تا مرکز RBS و برای تیرها بدون

RBS،  $S_h$  برابر است با فاصله از مرکز ستون تا نقطه‌ای به فاصله  $d/2$  از قسمت بیرونی یقه بال.

موقعیت مفصل پلاستیک در شکل ۵-۶ نشان داده شده است.



شکل ۵-۶- موقعیت مفصل پلاستیک برای تیرها با RBS و بدون RBS

گام چهارم: محاسبه لنگر در پیچها

$$M_{bolts} = M_{pr} + V_h S_{bolts} \quad (۴-۵)$$

$M_{bolts}$ : لنگر در پیچها. (N-mm) Kip-in

$S_{bolts}$ : فاصله از مرکز مفصل پلاستیک تا مرکز پیچها. in (mm)

برای تیر با RBS:

$$S_{bolts} = \frac{t_{collar}}{2} + a + \frac{b}{2} \quad (۱-۴-۵)$$

برای تیر بدون RBS:

$$S_{bolts} = \frac{t_{collar}}{2} + \frac{d}{2} \quad (۲-۴-۵)$$

a : فاصله از بر یقه بال تا ابتدای RBS (mm) in

b : طول RBS (mm) in

$t_{collar}$  : فاصله از بر ستون تا بر یقه بال که برابر  $7\frac{1}{8}$  in (181 mm) می باشد. (شکل ۵-۶)

گام پنجم: بررسی اینکه نیروی بال تیر، بیشتر از مقاومت کششی پیچها نباشد؛ بنابراین رابطه‌ی

زیر باید اقناع شود:

$$\frac{r_{ut}}{\phi_d R_{pt}} = \frac{r_{ut}}{102} \leq 1 \quad (5-5)$$

$$\frac{r_{ut}}{\phi_d R_{pt}} = \frac{r_{ut}}{454000} \leq 1 \quad (SI)$$

$r_{ut}$  : مقاومت کششی مورد نیاز پیچ. Kips (N)

$$r_{ut} = \frac{M_{bolts}}{n_{cf} d \sin 45} = 0.177 \frac{M_{bolts}}{d} \quad (1-5-5)$$

$n_{cf}$  : تعداد پیچها در هر یقه بال = ۸

$R_{pt}$  : حداقل نیروی پیش‌تنیدگی. Kips (N)

گام ششم: محاسبه ماکزیمم برش احتمالی در پیچها ( $V_{bolts}$ )، که برابر است با برش در مفصل

پلاستیک ( $V_h$ )، بعلاوه هر بار ثقلی اضافی بین مفصل پلاستیک و مرکز یقه بال که با استفاده از

ترکیب بار گام دوم طراحی، محاسبه می‌شود.

گام هفتم: محاسبه ماکزیمم برش احتمالی در بر یقه بال ( $V_{cf}$ )، که برابر است با برش در مفصل

پلاستیک ( $V_h$ )، بعلاوه هر بار ثقلی اضافی بین مفصل پلاستیک و قسمت بیرونی یقه بال که با استفاده

از ترکیب بار گام دوم طراحی، محاسبه می‌شود.

گام هشتم: محاسبه حداقل بعد جوش گوشه برای اتصال جان تیر به یقه الحاقی جان (CWX).

$$t_f^{CWX} \geq \frac{\sqrt{2}V_{cf}}{\phi_n F_w l_w^{CWX}} \quad (6-5)$$

$t_f^{CWX}$ : حداقل بعد جوش گوشه مورد نیاز، برای اتصال هر طرف جان تیر به یقه الحاقی جان

(mm) in .(CWX)

$F_w$ : مقاومت اسمی طراحی جوش که مطابق با آیین‌نامه AISC، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_w = 0.6F_{EXX} \quad \text{Ksi (MPa)} \quad (1-6-5)$$

$l_w^{CWX}$ : طول کل جوش گوشه برای CWX in (mm) (جدول ۱-۵)

جدول ۱-۵- طول کل جوش گوشه برای CWX ( $l_w^{CWX}$ )

مقطع	$l_w^{CWX}$	
	in	mm
W30	۵۴	۱۳۷۰
W27	۴۸	۱۲۲۰
W24	۴۲	۱۰۷۰
W21	۳۶	۹۱۴
W18	۳۰	۷۶۲

گام نهم: محاسبه ماکزیمم برش احتمالی در بر ستون ( $V_f$ )، که برابر است با برش در مفصل

پلاستیک ( $V_n$ )، بعلاوه هر بار ثقلی اضافی بین مفصل پلاستیک و بر ستون که با استفاده از ترکیب بار

گام دوم طراحی، محاسبه می‌شود. حداقل بعد جوش گوشه برای اتصال یقه‌های گوشه‌ای به ستون، از

رابطه (۷-۵) بدست می‌آید:



$$t_f^{CC} \geq \frac{\sqrt{2}V_f}{\phi_n F_w l_w^{CC}} \quad (7-5)$$

$t_f^{CC}$ : حداقل بعد جوش گوشه مورد نیاز، برای اتصال یقه‌های گوشه‌ای به ستون. in (mm)

$l_w^{CC}$ : طول کل جوش گوشه برای یقه‌های گوشه. in (mm) (جدول ۲-۵)

جدول ۲-۵- طول کل جوش گوشه برای یقه‌های گوشه ( $l_w^{CC}$ )

مقطع	$l_w^{CC}$	
	in	mm
W30	۷۲	۱۸۳۰
W27	۶۶	۱۶۸۰
W24	۶۰	۱۵۲۰
W21	۵۴	۱۳۷۰
W18	۴۸	۱۲۲۰

گام دهم: محاسبه مقاومت برشی مورد نیاز چشمه اتصال:

$$R_u^{PZ} = \frac{\sum(M_{pr} + V_h S_f)}{d} - V_{col} \quad (8-5)$$

$$V_{col} = \frac{\sum(M_{pr} + V_h S_h)}{H} \quad (1-8-5)$$

$R_u^{PZ}$ : مقاومت برشی مورد نیاز چشمه اتصال. (N) Kips

$V_{col}$ : برش ستون. (N) Kips

$S_f$ : فاصله از مرکز مفصل پلاستیک تا بر ستون. in (mm)

برای تیرها با RBS:

$$S_f = t_{collar} + a + \frac{b}{2} \quad (۲-۸-۵)$$

برای تیرها بدون RBS:

$$S_f = t_{collar} + \frac{d}{2} \quad (۳-۸-۵)$$

$S_h$ : فاصله از مرکز مفصل پلاستیک تا مرکز ستون. in (mm)

برای تیرها با RBS:

$$S_h = \frac{d_{col}}{2} + t_{collar} + a + \frac{b}{2} \quad (۴-۸-۵)$$

برای تیرها بدون RBS:

$$S_h = \frac{d_{col}}{2} + t_{collar} + \frac{d}{2} \quad (۵-۸-۵)$$

$$H = \frac{H_u + H_l}{2} \quad (۶-۸-۵)$$

$d_{col}$ : عمق ستون. in (mm)

گام یازدهم: محاسبه مقاومت برشی اسمی طراحی چشمه اتصال:

$$\phi R_n^{PZ} = \phi_d 0.6 F_y A_{PZ} \quad (۹-۵)$$

$$A_{PZ} = 2d_{col}t_{col} + 4(d_{leg}^{CC}t_{leg}^{CC}) \quad (۱-۹-۵)$$

$d_{leg}^{CC}$ : عمق موثر ساق یقه گوشه. in  $3\frac{1}{2}$  (۸۹mm)

$t_{col}$ : ضخامت ستون. in (mm)

$t_{leg}^{CC}$  : ضخامت موثر ساق یقه گوشه.  $1/2 in$  (۱۲mm)

توجه: در صورتی که مقاومت مورد نیاز بیشتر از مقاومت طراحی باشد، طراح باید مقطع ستون را افزایش و یا مقطع تیر را کاهش دهد.



## ع- فصل هشتم

مدلسازی عددی اتصال کان ایکس ال در نرم افزار

آباکوس و صحت سنجی

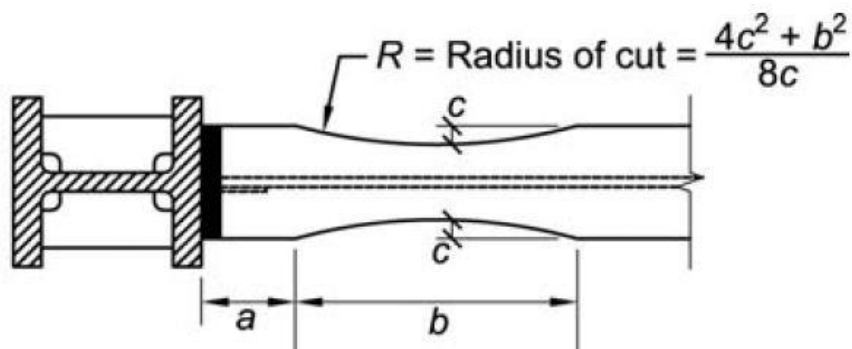
## ۱-۶- کلیات

اتصال کان ایکس‌ال، اتصالی است که به صورت ریخته‌گری شده از فولاد پرمقاومت ساخته می‌شود. این اتصال از قطعاتی به اسم کولار که در چهار گوشه ستون نصب می‌شود، تشکیل شده است. تیرها در این روش با یک جفت فلنج اتصال به آن وصل می‌شود. یقه گوشه، قطعه اصلی این اتصال است که به صورت استاندارد و با شیوه ریخته‌گری تولید می‌شود؛ وظیفه انتقال برش بر عهده این قطعه است. یقه بال، اتصالی که در بالا و پایین به تیر جوش می‌شود و توسط پیچ به یقه گوشه متصل می‌گردد، نیز با همان شیوه ریخته‌گری تولید می‌گردد. برای دست یافتن به یک اتصال کان ایکس‌ال، یقه‌ها توسط دستگاه در کارخانه بر روی ستون با دقت بسیار بالا نصب و جوش می‌شوند. این اتصال برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه کاربرد دارد.

## ۲-۶- طراحی نمونه‌ها

طراحی نمونه‌ها به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شود: دسته اول، طراحی اتصال صلب کان-ایکس‌ال برای مقاطع فولادی رایج در ایران می‌باشد که با در نظر گرفتن محدودیت‌های آیین‌نامه AISC-358، تیرها با مقاطع IPE450، IPE500، IPE550، IPE600 و IPB500، IPB550، IPB600 برای اتصال کان ایکس‌ال مجاز هستند.

دسته دوم، شامل طراحی اتصال برای تیر با مقطع کاهش یافته، جهت بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال می‌باشد. برای یافتن هندسه بهینه، پارامترهای برش محلی در تیر به صورت گام به گام تغییر می‌یابند. شکل ۱-۶ یک اتصال کاهش یافته با برش شعاعی را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱- اتصال RBS و پارامترهای برش آن

پارامترهای برش عبارتند از:  $a$ : فاصله‌ی برش از بر ستون،  $b$ : طول منطقه‌ی اعمال برش و  $c$ : عمق برش.

### ۳-۶- هندسه مدل‌ها

کلیه نمونه‌ها به صورت یک تیر طره با مقاطع مختلف و به طول ۳۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده‌اند و به وسط ستون با مقطع مربعی ۴۰۶\*۴۰۶ میلی‌متر مربع با ضخامت‌های متفاوت و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر گیردار گردیده‌اند. ستون‌ها دو سر مفصل مدل‌سازی شده‌اند. در تیرها دو تکیه‌گاه جانبی در نظر گرفته شده است که در تیرها با کاهش موضعی در مقطع، اولین مهار جانبی ده سانتی-متر بعد از انتهای RBS، و دومین مهار جانبی به فاصله یک متر از مهار جانبی اول تعبیه شده است.

### ۴-۶- مدل‌سازی و تحلیل اجزاء محدود

تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS [۲۳] انجام گرفت. برای مدل‌سازی تیر از المان پوسته‌ای چهار گره‌ای<sup>۱</sup> استفاده گردید. برای ستون و میله پیچ و سرپیچ، از المان Solid هشت گره‌ای با انتگرال کاهش‌یافته<sup>۲</sup> استفاده شد. یقه‌های گوشه‌ای و یقه الحاقی جان و قسمت‌های میانی یقه‌های بال بالا و بال پایین، در تمامی نمونه‌ها از المان سه‌بعدی solid هشت گره‌ای با انتگرال

۱. S4R

۲. C3D8R

کاهش یافته که هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی می باشد، استفاده گردید. اما در دو گوشه یقه-های بال بالایی و پایینی به دلیل پیچیدگی مش بندی از المان های چهاروجهی<sup>۱</sup>، که هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی است، استفاده شد. نیروی پیش تنیدگی وارد بر پیچ ها در هر کدام از نمونه ها برابر  $570 \text{ KN}$  در نظر گرفته شد. از گزینه Surface To Surface با ضریب اصطکاک  $0/3$  و لحاظ نمودن اثر تماس سخت، برای اعمال تنش تماسی بین تمام قطعات و سطوح در تماس با یکدیگر استفاده گردید. مدلسازی فولاد با استفاده از معیار تسلیم فون میسرز<sup>۲</sup> و در نظر گرفتن رفتار غیر خطی مصالح و با ضریب پواسون  $0/3$  انجام گرفت.

#### ۵-۶- خصوصیات مصالح نمونه های مورد بررسی

خصوصیات مصالح تیرها و ستون ها بر اساس استاندارد A36 و با مقاومت تسلیم  $2400 \text{ kg/cm}^2$  و مقاومت نهایی  $3700 \text{ kg/cm}^2$  و مصالح مجموعه یقه، با تنش تسلیم  $3600 \text{ kg/cm}^2$  و تنش نهایی  $5200 \text{ kg/cm}^2$  در نظر گرفته شد. پیچ ها بر اساس استاندارد ASTM از نوع پر مقاومت، A490، با تنش نهایی  $10000 \text{ kg/cm}^2$  در کرنش نظیر  $0/2$  فرض شدند. مدول الاستیسیته در تمامی نمونه ها و مصالح برابر  $210 \text{ Gpa}$  در نظر گرفته شد.

#### ۶-۶- بارگذاری

بارگذاری در تمامی نمونه ها به صورت چرخه ای<sup>۳</sup> و بر اساس آیین نامه AISC-341-10 [۱۹] به انتهای تیرها اعمال گردید. نحوه ی بارگذاری در جدول ۶-۱ و شکل ۶-۲ نشان داده شده است.

---

۱. C3D4

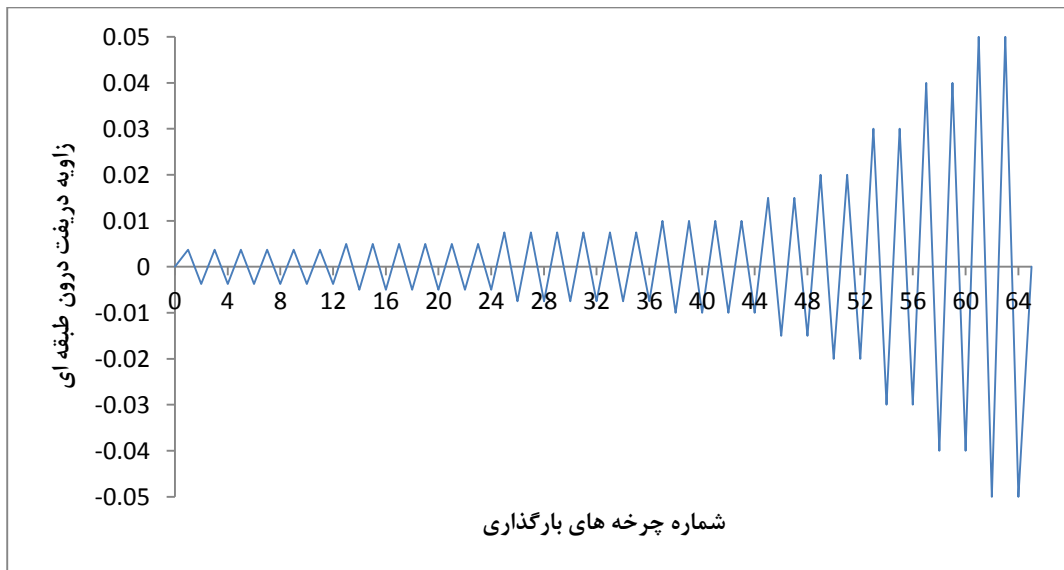
۲. Von mises

۳. Cyclic



جدول ۱-۶- جدول بارگذاری چرخه‌ای بر اساس آیین‌نامه AISC-341-10

تعداد چرخه‌ها در هر گام	زاویه دررفت درون- طبقه‌ای (rad)	تغییر مکان انتهای آزاد تیر (cm)	گام‌های بارگذاری
۶	۰,۰۰۳۷۵	۱,۳۹	۱
۶	۰,۰۰۵	۱,۸۵	۲
۶	۰,۰۰۷۵	۲,۷۸	۳
۴	۰,۰۱	۳,۷۰	۴
۲	۰,۰۱۵	۵,۵۵	۵
۲	۰,۰۲	۷,۴۱	۶
۲	۰,۰۳	۱۱,۱۱	۷
۲	۰,۰۴	۱۴,۸۱	۸
۲	۰,۰۵	۱۸,۵۲	۹



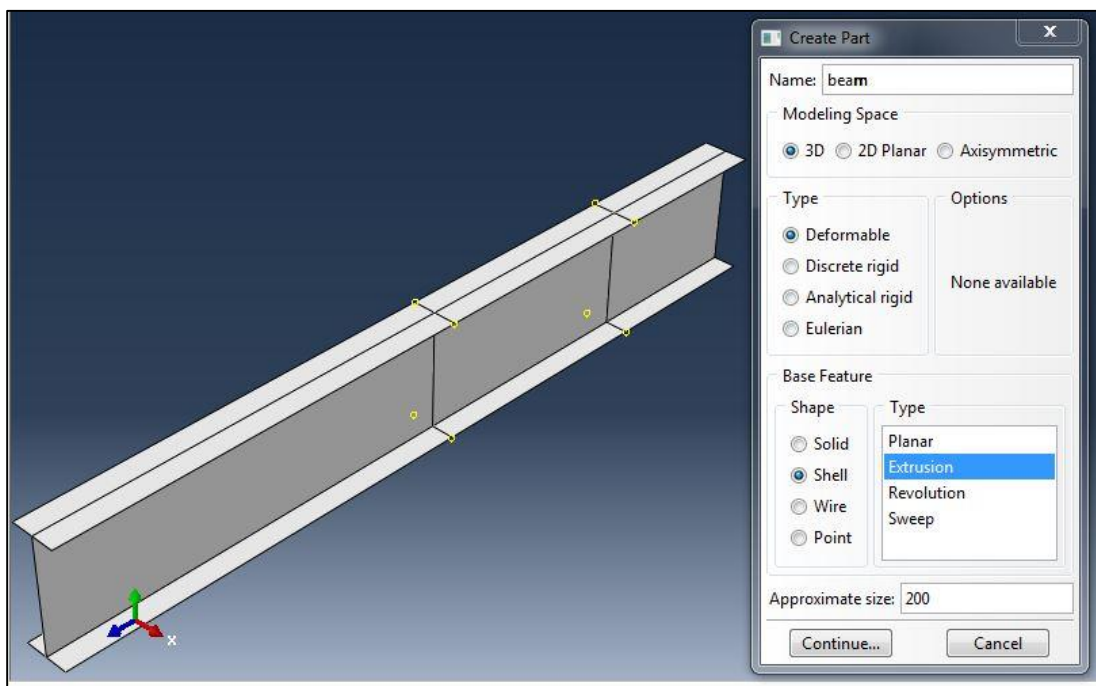
شکل ۲-۶- نمودار بار چرخه‌ای اعمالی به نمونه‌ها

برای اعمال بارگذاری در آباکوس، دو گام تعریف شد. در گام اول، بار پیش‌تنیدگی بر پیچ‌ها اعمال گردید و در گام دوم علاوه بر استمرار نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، بارگذاری چرخه‌ای انتهای تیرها نیز اعمال گردید. همان‌گونه که از جدول مشاهده می‌شود، این نوع بارگذاری بر اساس زاویه چرخش محل اتصال تیر به ستون تعریف می‌شود که البته این چرخش را می‌توان بر اساس تغییر مکان انتهای آزاد تیر تعریف کرد، به گونه‌ای که در هر مرحله از بارگذاری تغییر مکان اعمال شده، دوران تعریف شده در آن مرحله را ایجاد کند. این نوع بارگذاری تا مرحله‌ای ادامه می‌یابد که در آن، مدل مورد نظر وارد مرحله رفتار پلاستیک شود تا بتوان در آن مرحله رفتار لرزه‌ای اتصال را به خوبی مورد ارزیابی قرار داد.

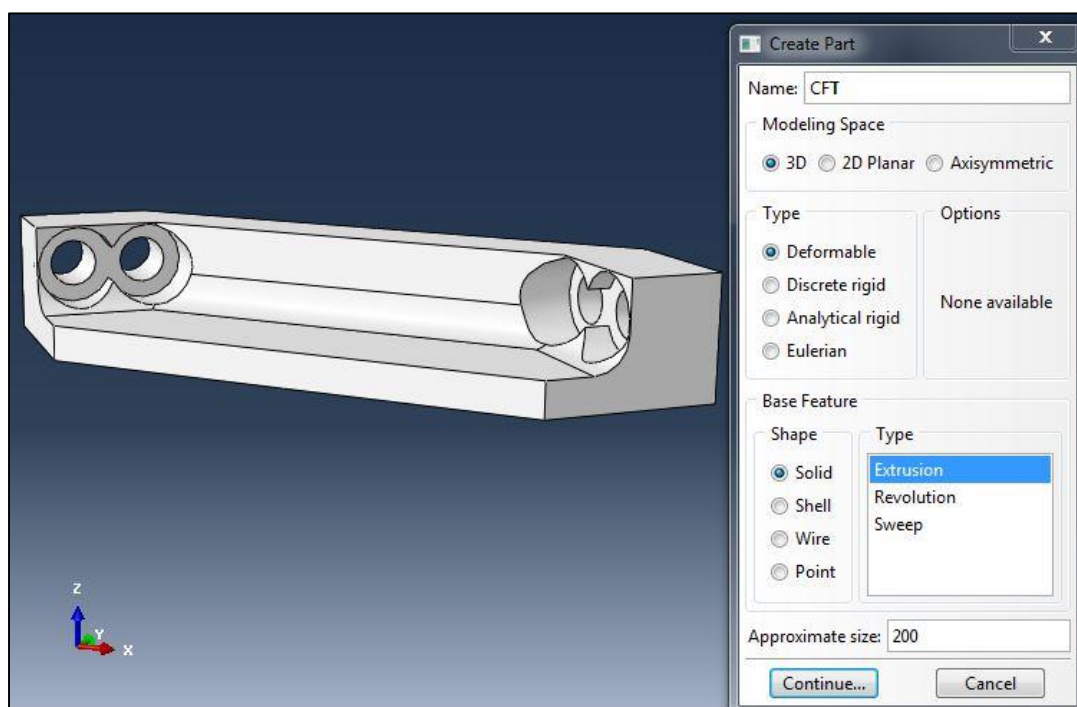
#### ۶-۷- مراحل انجام مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس

##### ۶-۷-۱- مرحله اول: ماژول Part

این مرحله که اولین گام در استفاده از نرم‌افزار آباکوس می‌باشد، جهت ترسیم بخش‌های مختلف مدل به کار گرفته می‌شود. شکل‌های زیر نحوه تعریف عضو و شیوه ترسیم آن را نشان می‌دهد.



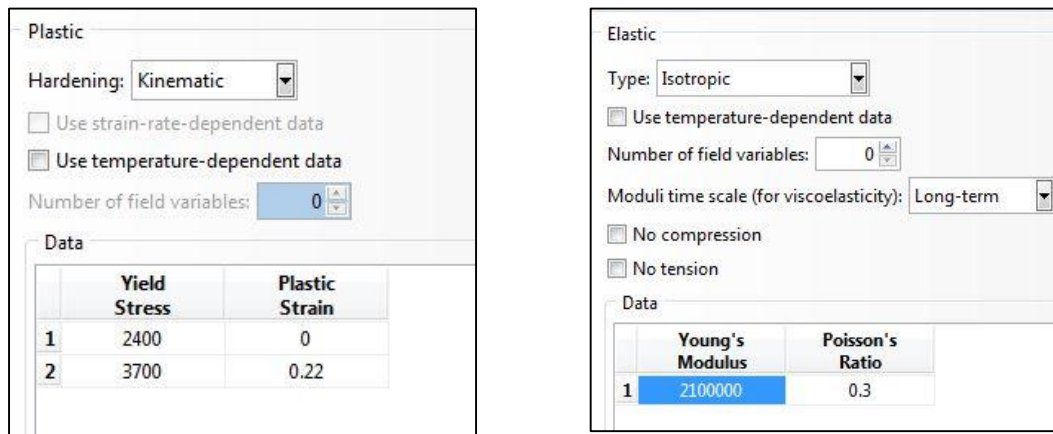
شکل ۳-۶- استفاده از دستور part جهت تعریف مقطع تیر



شکل ۴-۶- استفاده از دستور part جهت تعریف مقطع یقه بال

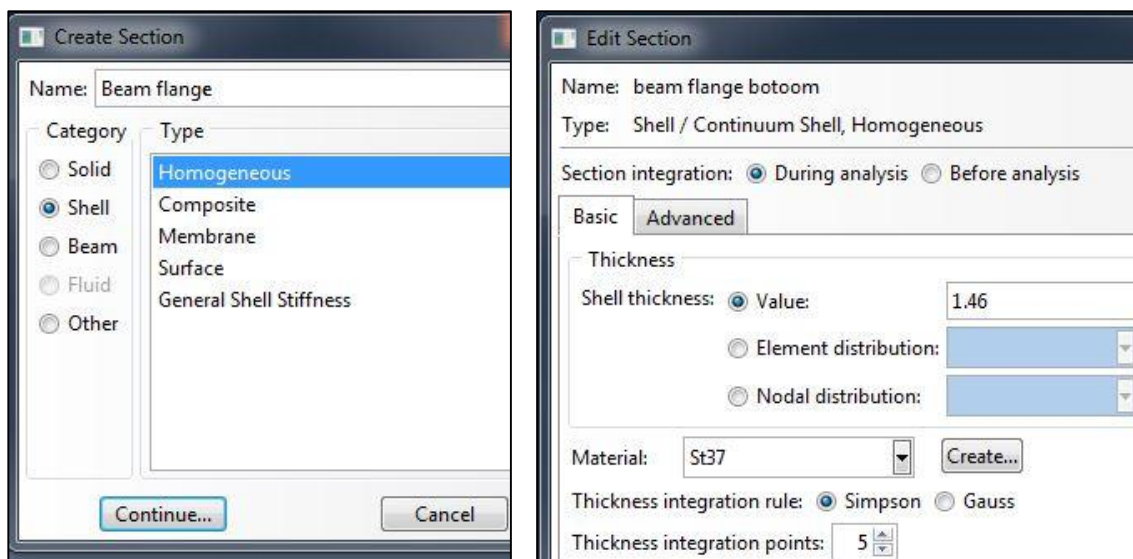
## ۶-۷-۲- مرحله دوم: ماژول property

این دستور برای تعریف مشخصات مصالح مورد استفاده در اعضای مختلف مدل به کار گرفته می‌شود. این نرم افزار قادر است علاوه بر رفتار خطی، رفتار غیر خطی مصالح را نیز در نظر گرفته و آن را مدل‌سازی کند. در شکل‌های زیر نحوه‌ی تعریف رفتار فولاد نشان داده شده است.

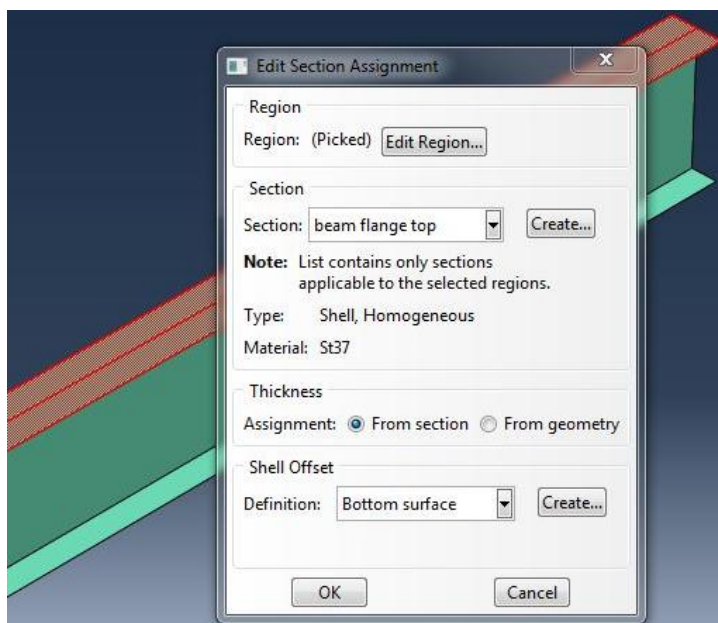


شکل ۶-۵- نحوه تعریف خصوصیات فولاد

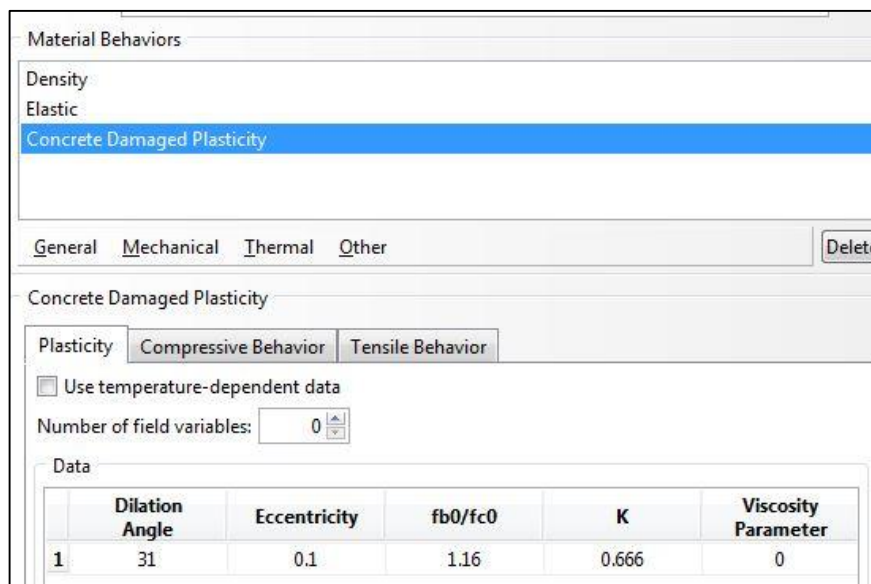
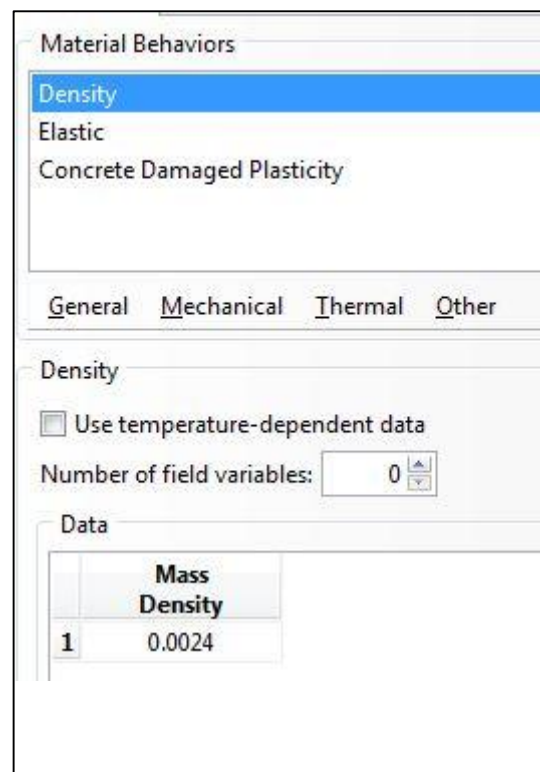
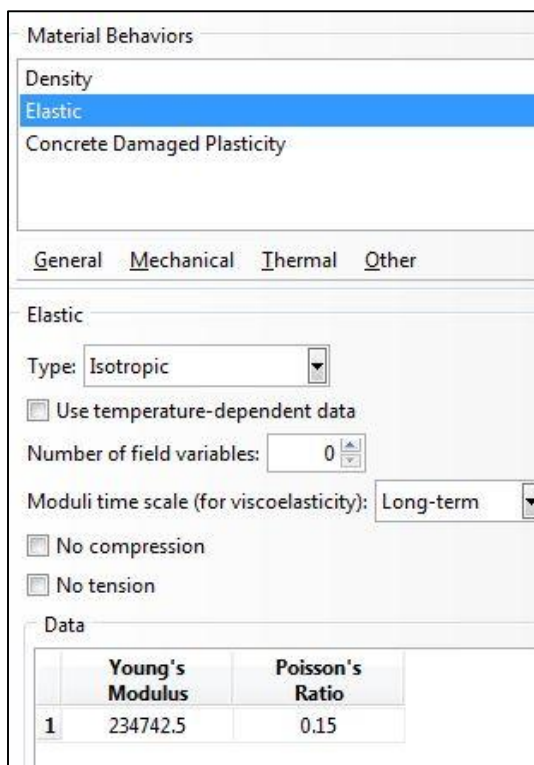
با توجه به اینکه در مرحله اول، اجزاء مختلف تیر، به صورت پوسته (Shell) ترسیم شدند، در این مرحله لازم است که به تک‌تک این اعضا ضخامت‌های لازم اختصاص داده شود. به این منظور در زیرمنوی (Section)، دو مقطع با ضخامت‌های مختلف تعریف کرده که این مقاطع به بال تیر و جان تیر، با استفاده از زیرمنوی Assign اختصاص داده می‌شود.



شکل ۶-۶- نحوه تعریف ضخامت بال تیر



شکل ۶-۷- اختصاص مقاطع تعریف شده به قسمت‌های مختلف اعضا

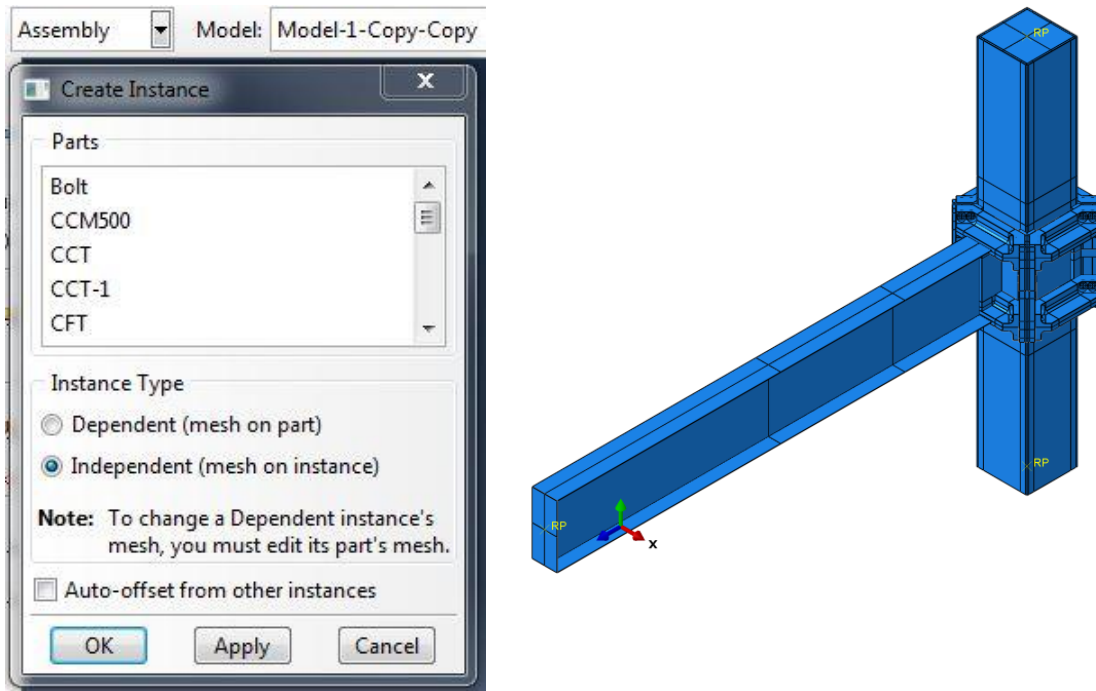


شکل ۶-۸- نحوه تعریف خصوصیات بتن

خصوصیات مصالح سیستم کان‌ایکسال، ستون و پیچ‌ها نیز به همین صورت به مقاطع مدلسازی شده، اختصاص داده می‌شود.

### ۶-۷-۳- مرحله سوم: ماژول Assembly

در این مرحله اعضایی که در مرحله اول تعریف و ترسیم شده‌اند را بر اساس مشخصات مدل مورد نظر به یکدیگر متصل کرده و مدل را به اصطلاح اسمبل می‌کنیم. شکل ۶-۹ مدل را به صورت یکپارچه نشان می‌دهد.

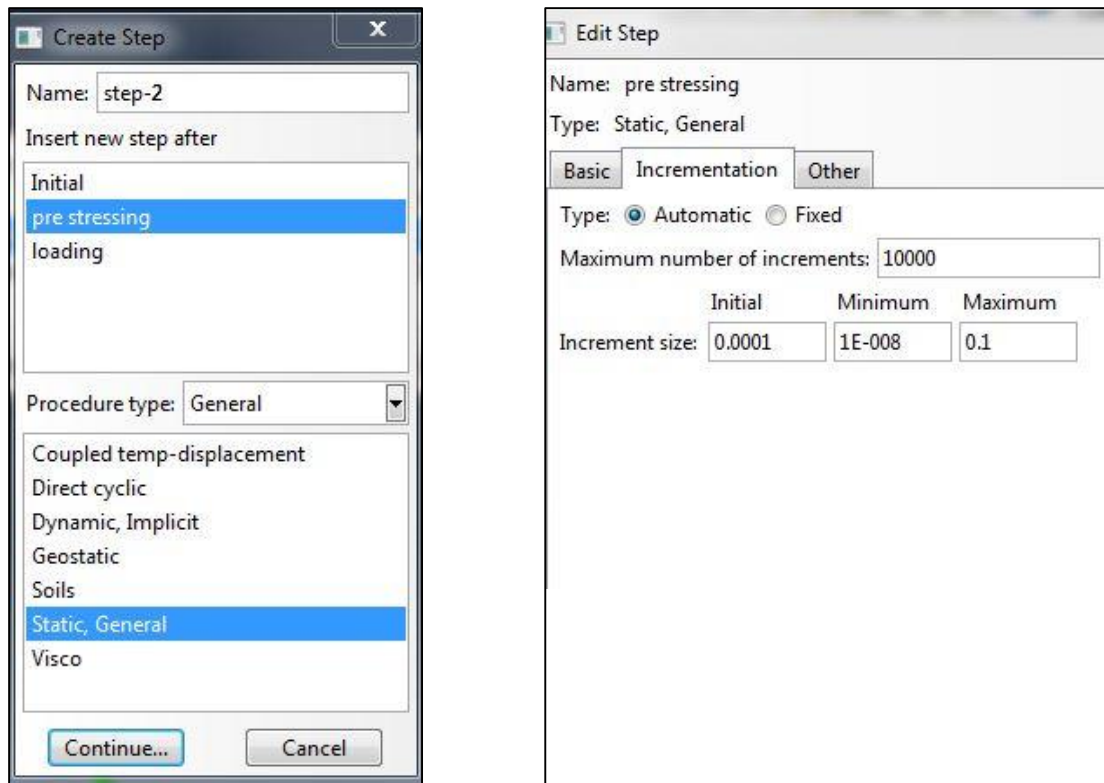


شکل ۶-۹- نحوه اسمبل کردن اعضای مختلف مدل

### ۶-۷-۴- مرحله چهارم: ماژول Step

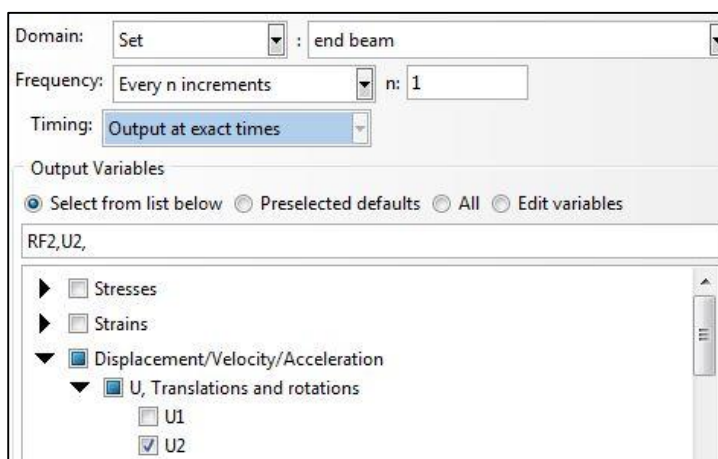
از این دستور برای تعیین نوع تحلیل به همراه خروجی‌های مورد نظر استفاده می‌شود. در این تحقیق با توجه به بارگذاری، دو گام معرفی می‌کنیم. در گام اول پیش‌تنیدگی پیچ‌ها و در گام دوم بارگذاری چرخه‌ای تعریف می‌شود. در هر دو گام، تحلیل را از نوع استاتیکی در نظر گرفته و گزینه Static-General را انتخاب می‌کنیم. در این دستور از زیرمنوی Tools با انتخاب گزینه Set مکان‌هایی که باید در آنها خروجی‌های خاصی نظیر مقادیر تنش، نیرو و تغییرمکان برداشت شود را مشخص می‌کنیم.

پس از تعریف Set های مورد نظر در ادامه با استفاده از زیرمنوی Output، گزینه History را انتخاب کرده سپس برای Set های تعریف شده در گام قبلی، خروجی های مورد نظر را انتخاب کرده و به آنها اختصاص می دهیم. به این ترتیب در پایان فرآیند تحلیل می توان نتایج حاصل از خروجی های منتخب را مشاهده کرد. (شکل ۶-۱۰ و ۶-۱۱)



شکل ۶-۱۰- تعریف مراحل تحلیل و مشخصات آن





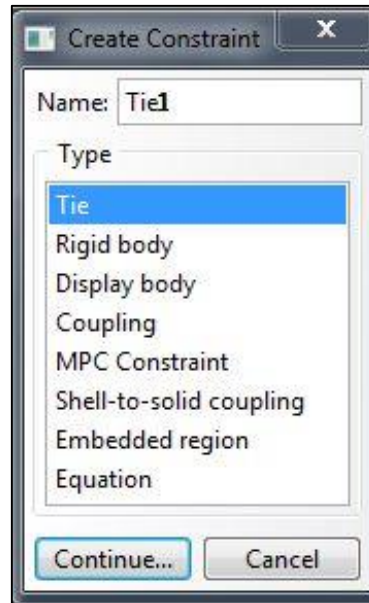
شکل ۶-۱۱- تعیین خروجی‌های لازم برای Set‌های تعریف شده (انتهای تیر)

### ۶-۷-۵- مرحله پنجم: مازول Interaction

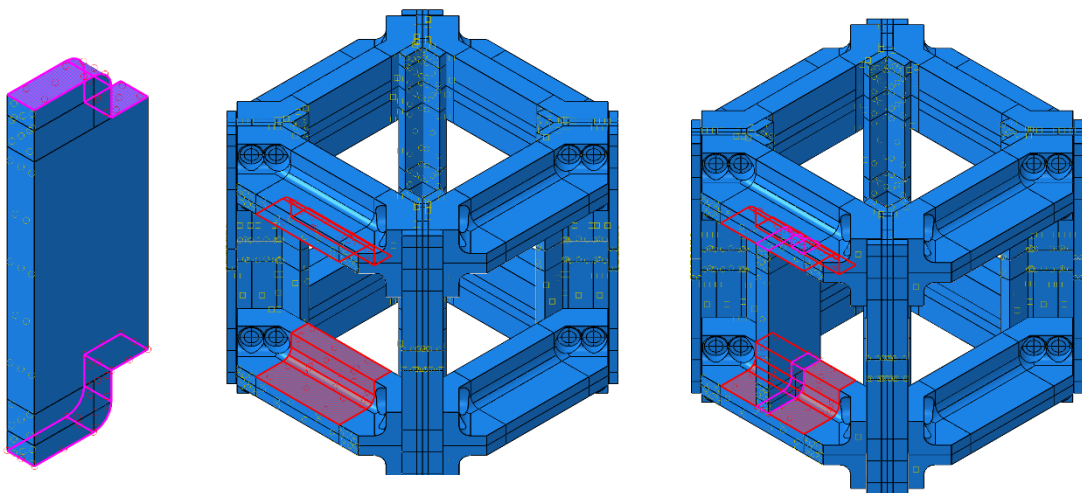
این بخش بی شک یکی از مهمترین و حساس‌ترین مازول‌های آباکوس بشمار می‌رود، چرا که منشأ اکثر خطاهای ایجاد شده در حین آنالیز که منجر به توقف تحلیل می‌شوند، به نحوه تعریف رفتار سطوح مختلف در هنگام برخورد با یکدیگر در این بخش برمی‌گردد. لذا ضروریست دقت فراوانی در تعریف این رفتارها شود. بطور کلی هر دو سطح یا لبه‌ای از قطعات مختلف که پس از مدل‌سازی و مونتاژ، به‌نحوی با یکدیگر تماس دارند، باید بین آنها یک Interaction مناسب تعریف گردد. این Interaction می‌تواند بیانگر اتصال بین دو قطعه، مانند جوش باشد. و یا رفتارهای اصطکاکی بین سطوح هم جنس یا غیر هم جنس، و حتی رفتار بدون اصطکاک<sup>۱</sup> بین دو سطح هم قابل مدل‌سازی است.

بدلیل گستردگی مفاهیم این بخش و نقش اساسی تجربه‌ی کاربر در تعریف خصوصیات تعاملی بین قطعات مختلف، در اینجا تنها مثالی ساده از تنظیمات صورت گرفته برای تعریف اتصال CWX به یقه‌های بال بالا و پایین را نشان خواهیم داد. (شکل ۶-۱۲ و ۶-۱۳)

۱ . Frictionless



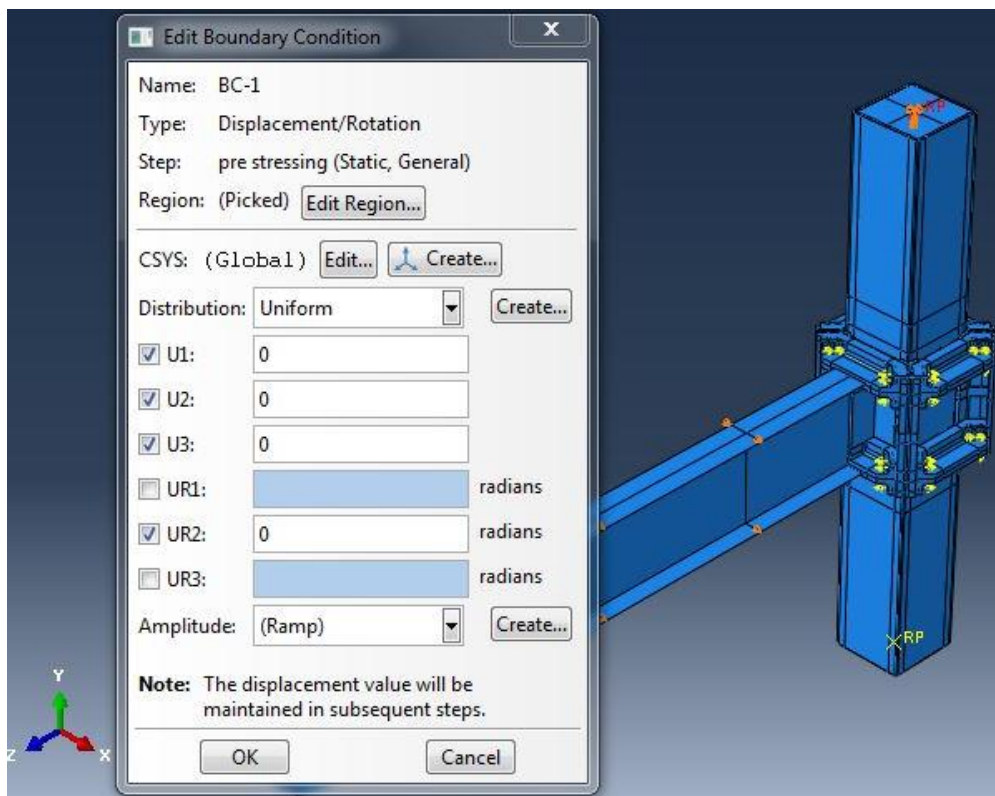
شکل ۶-۱۲- تعیین قید Tie برای تعریف جوش



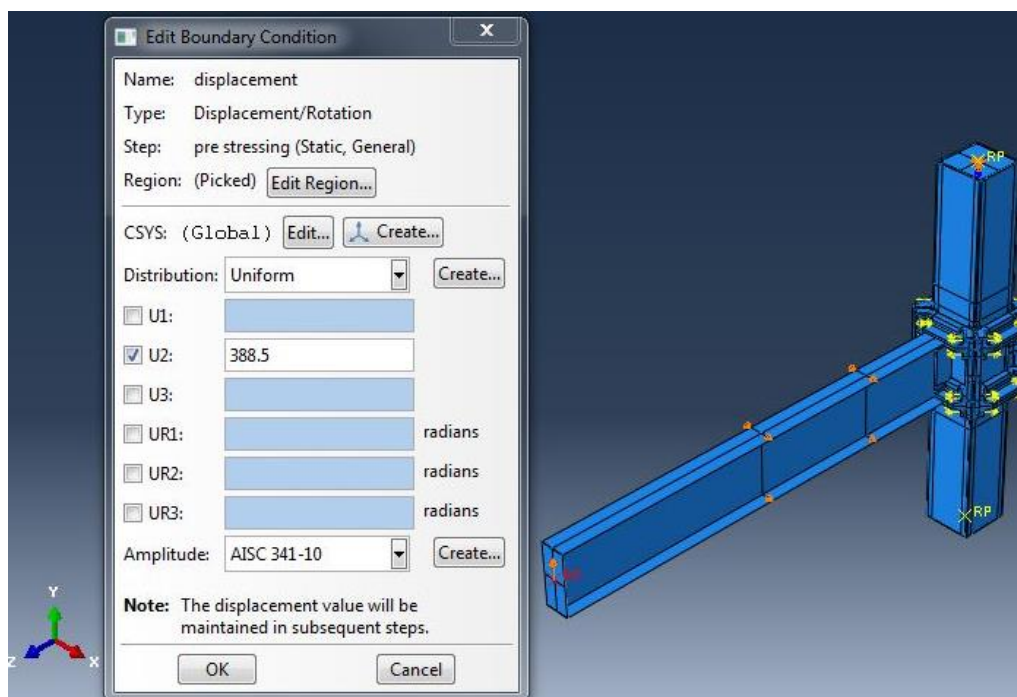
شکل ۶-۱۳- تعریف جوش بین قطعه CWX و یقه‌های بال بالا و پایین توسط قید Tie

### ۶-۷-۶- مرحله ششم: ماژول Load

این بخش شامل اختصاص دادن قیدهای لازم به تکیه‌گاه‌های مدل مورد نظر و همچنین بارگذاری بر روی نمونه‌ها می‌باشد. در مطالعه حاضر کلیه نمونه‌ها دارای تکیه‌گاه مفصلی در دو انتهای ستون می‌باشند. همچنین کلیه تیرها در جهت جانبی (جهت X) مهار شده‌اند. بارگذاری روی نمونه‌ها به صورت اعمال تغییر مکان رفت و برگشتی به انتهای تیر تعریف می‌شود. (شکل ۶-۱۴ و ۶-۱۵)



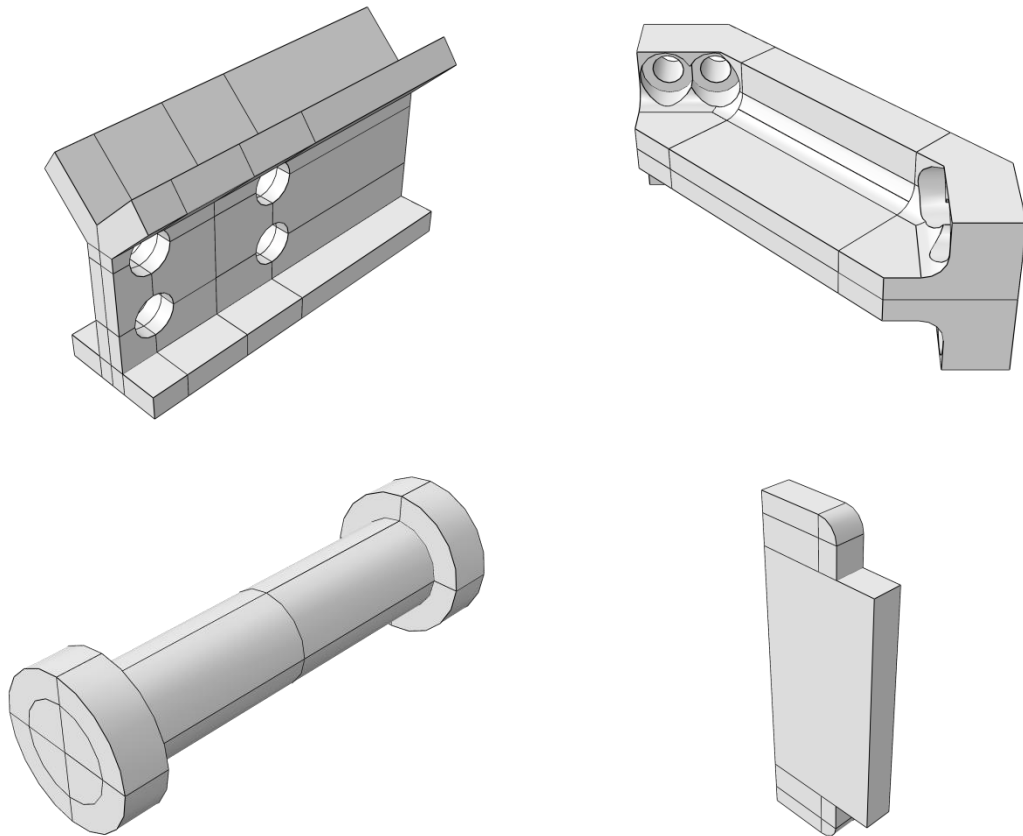
شکل ۶-۱۴- نحوه اعمال بارگذاری و اختصاص تکیه‌گاه به نمونه‌ها



شکل ۶-۱۵- نحوه اعمال بارگذاری به انتهای تیر

## ۶-۷-۷- مرحله هفتم: ماژول Mesh

در این مرحله مش‌بندی روی نمونه‌ها جهت انجام تحلیل اجزا محدود صورت می‌گیرد. به منظور مش‌بندی دقیق‌تر و بهتر، ابتدا با استفاده از زیرمنوی Tools و دستور Partition، تمامی اجزاء مختلف اتصال را به قسمت‌های کوچکتری که هندسه‌ی منظم‌تری دارند تبدیل می‌کنیم.

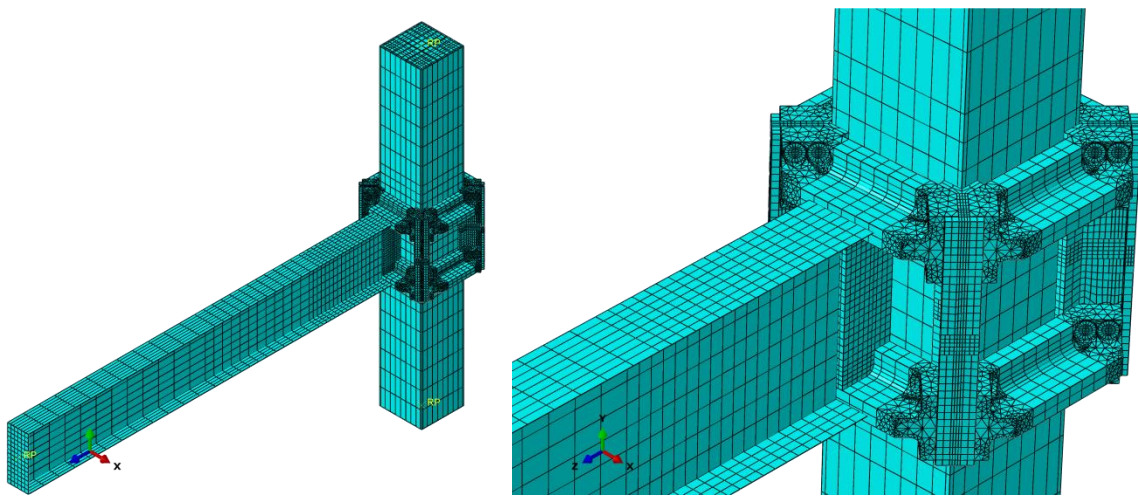


شکل ۶-۱۶- نحوه پارتیشن بندی اجزای مختلف اتصال

برای ارائه‌ی نتایج دقیق‌تر، ناحیه چشمه اتصال و تیر در نزدیکی ستون را با استفاده از دستور Partition، از سایر قسمت‌ها مجزا می‌کنیم، زیرا این منطقه به دلیل حساسیت و تغییر شکل‌های پلاستیک از اهمیت بالایی برخوردار است، بنابراین باید در این ناحیه مش‌بندی ریزتری صورت بگیرد تا دقت نتایج تا جایی که امکان دارد بیشتر شود. پس از اینکه پارتیشن بندی مدل به پایان رسید

برای تعیین اندازه المان‌ها باید از زیرمنوی Seed گزینه Edges را کلیک کرده، سپس ناحیه مورد نظر را انتخاب می‌کنیم و اندازه المان‌ها را برای آن تعیین می‌کنیم. حال با استفاده از زیرمنوی Mesh گزینه Mesh Part Instance را کلیک کرده و کلیه اجزای مدل را مش‌بندی می‌کنیم.

ستون، پیچ‌ها و یقه‌های گوشه‌ای و یقه الحاقی جان و قسمت‌های میانی یقه‌های بال بالا و پایین، در تمامی نمونه‌ها از المان سه بعدی Solid هشت گره‌ای با انتگرال کاهش‌یافته، C3D8R، که هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی می‌باشد، استفاده گردید. اما در دو گوشه یقه‌های بال بالایی و پایینی به دلیل پیچیدگی مش‌بندی از المان‌های چهاروجهی، C3D4، که هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی است، استفاده شد. برای تیر از المان Shell چهارگره‌ای با انتگرال کاهش‌یافته، S4R، استفاده شده است.

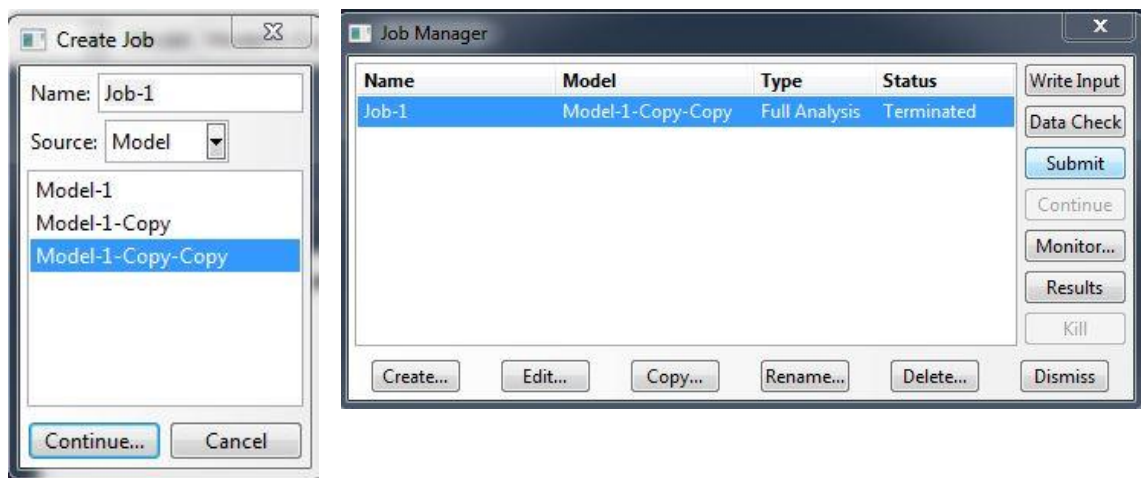


شکل ۶-۱۷- نمونه مش‌بندی شده

#### ۶-۷-۸- مرحله هشتم: مازول Job

در این مرحله تحلیل نمونه انجام می‌شود. برای این کار باید برای نمونه مورد نظر یک Job تعریف کرده و مشخصات تحلیل را برای آن تعیین کنیم، سپس روی گزینه Submit کلیک کرده و تحلیل نمونه آغاز می‌شود. می‌توان با استفاده از گزینه Monitor روند تحلیل و گزارش‌های تحلیل را

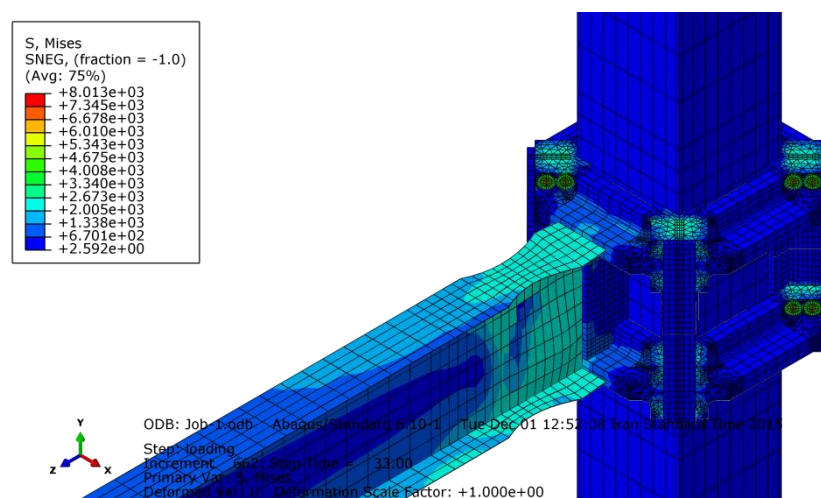
مشاهده کرد.



شکل ۶-۱۸- نحوه تعریف Job و تحلیل نمونه‌ها

### ۶-۷-۹- مرحله نهم: ماژول Visualization

در این مرحله می‌توان کلیه نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها اعم از مقادیر تنش که به صورت کانتورهای رنگی نمایش داده می‌شود و همچنین مقادیر تغییر مکان‌ها و کلیه توابع مورد نیاز که برای Set‌های معین مشخص شده است را مشاهده کرد. بنابراین با مشاهده نتایج حاصل از این قسمت می‌توان به ارزیابی رفتار نمونه‌ها پرداخت.



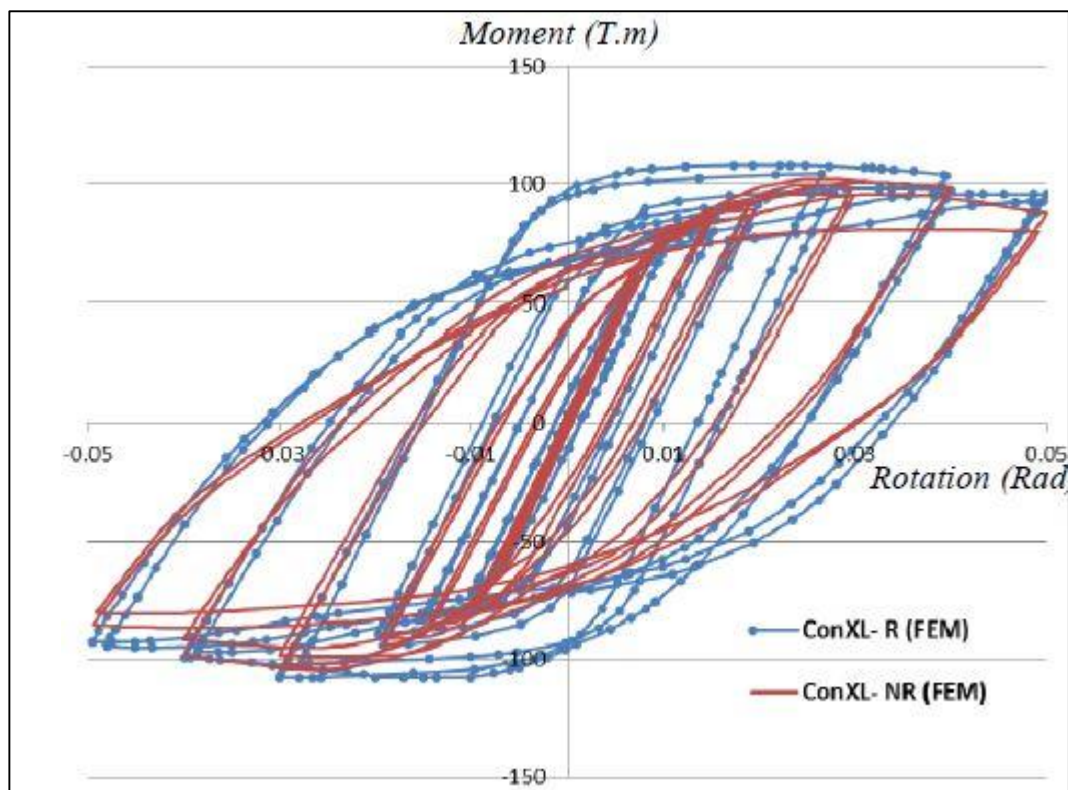
شکل ۶-۱۹- نمایش تنش فون میسز برای یکی از نمونه‌ها در ماژول visualization

## ۸-۶- صحت‌سنجی مدل‌سازی

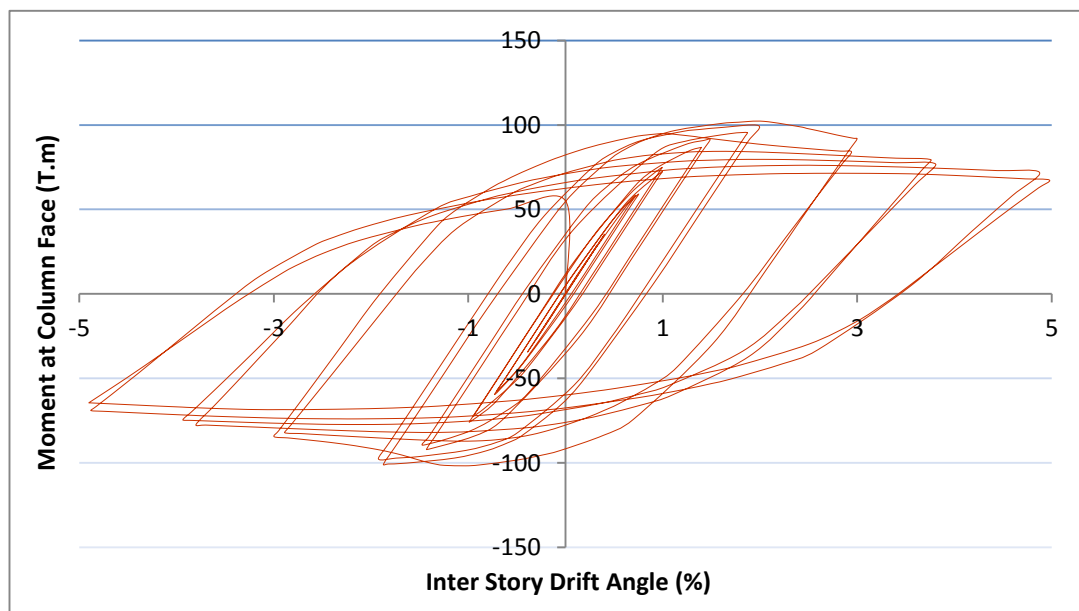
از آنجایی که اتصال کان‌ایکس‌ال جدید بوده و اطلاعاتی در خصوص نتایج آزمایشگاهی آن وجود نداشت، برای صحت‌سنجی، مدل اجزا محدود ساخته شده، با مدل عددی انجام شده توسط فرهود شهیدی [۷] مقایسه گردیده. همانطور که نشان داده شده، تطابق خوبی در نمودار هیستریزس نمونه مدل‌سازی شده اتصال، با نمونه عددی انجام شده توسط فرهود شهیدی مشاهده می‌شود. هندسه و خصوصیات مصالح نمونه مورد بررسی در جدول ۶-۲ آورده شده است.

جدول ۶-۲- هندسه و خصوصیات مصالح نمونه مورد بررسی

نوع مقطع	ضخامت جان $t_w$ (mm)	ضخامت بال $t_f$ (mm)	پهنای بال (mm) $b$	ارتفاع جان $h$ (mm)	طول قطعه $L$ (mm)	خصوصیات مصالح
BOX - ستون 406x406x12.5	۱۲/۵	۱۲/۵	۴۰۶	۴۰۶	۳۰۰۰	ASTM A36; $F_y=280$ Mpa, $F_u=480$ Mpa
W24x68 - تیر	۱۰/۵۴	۱۴/۸۶	۲۲۷/۸۴	۶۰۲	۳۵۰۰	ASTM A36; $F_y=280$ Mpa, $F_u=480$ Mpa
مجموعه سیستم یقه (Collar Systems)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح قطعات یقه بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC 358S1-11 [۵] مدل گردید.					ASTM A572 Gr50; $F_y=390$ Mpa, $F_u=510$ Mpa
سخت کننده‌های تیر اتصال ConXL-NR	۱۰	-	-	۵۷۲/۲۸	۱۰۸/۷	ASTM A36; $F_y=280$ Mpa, $F_u=480$ Mpa
بیج‌های $1\frac{1}{4}$ اینچ (قطر ۳۲mm)	-	-	-	-	۱۲۰	ASTM A574; $F_y=1050$ Mpa, $F_u=1150$ Mpa



(الف): نمونه عددی مرجع (ConXL-NR)



(ب): نمونه تحلیل شده توسط آباکوس

شکل ۶-۲۰- منحنی‌های هیستریزیس نمونه‌های عددی مرجع و مدلسازی شده



## ۷- فصل، هفتم

### بررسی نمونه‌های عددی

## ۷-۱- کلیات

با توجه به مطالب گفته شده در فصول گذشته، در این فصل به معرفی مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار آباکوس می‌پردازیم. بررسی عددی نمونه‌ها در دو مرحله انجام شده است. در مرحله اول عملکرد لرزه‌ای پروفیل‌های رایج در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ابتدا با توجه به محدودیت‌ها و ویژگی‌های بیان شده در آیین‌نامه AISC-358، مقاطع مجاز برای اتصال کان‌ایکس-ال انتخاب شدند؛ سپس مدلسازی شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در مرحله دوم، جهت بهبود عملکرد اتصال کان‌ایکس‌ال، اتصال با کاهش در مقطع تیر مدل شده و سپس با تغییر پارامترهای برش، هندسه بهینه مقطع تیر مشخص شده است. در انتها اثر میزان نیروی پیش‌تندگی و بتن‌پرکننده ستون، بر عملکرد اتصال نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۷-۲- ارزش‌گذاری معیارهای انتخاب بهینه

به منظور ارزیابی رفتار لرزه‌ای مدل‌های مورد نظر و دستیابی به پارامترهای بهینه برش، جهت بررسی میزان کیفیت این اتصالات در پاسخ به بارگذاری رفت و برگشتی، سه عامل اساسی به عنوان معیارهای اصلی جهت قضاوت در مورد کیفیت لرزه‌ای این اتصالات در نظر گرفته شده است.

در مطالعه حاضر ابتدا اطلاعات خروجی هر تحلیل بر اساس اهمیت طبقه‌بندی می‌گردند؛ سپس با ارزیابی کلیه معیارها بر اساس طبقه‌بندی انجام شده، اتصال بهینه انتخاب می‌شود. این طبقه‌بندی به قرار زیر است:

۱. توانایی در اتلاف انرژی بارهای وارده (به شکل مساحت زیر منحنی‌های بار - تغییر مکان در چرخه‌های بارگذاری). علت تعریف این معیار به دلیل اهمیت میزان اتلاف انرژی و استهلاک نیروهای زلزله در سازه‌ها تحت اثر بار دینامیکی رفت و برگشتی می‌باشد.

۲. موفقیت در دور نمودن تمرکز تنش از چشمه اتصال و اتصال تیر به ستون

۳. سختی اولیه بیشتر در نمودار بار - تغییر مکان حاصل شده از تحلیل نمونه

### ۳-۷ - بررسی نمونه‌های عددی مرحله اول، پروفیل‌های ایرانی

در این مرحله، بارگذاری استفاده شده طبق آیین‌نامه AISC-341 می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های بیان شده برای تیرها در آیین‌نامه AISC-358، مقاطع مجاز ایرانی برای اتصال کان-ایکسال در جدول ۱-۷ نشان داده شده:

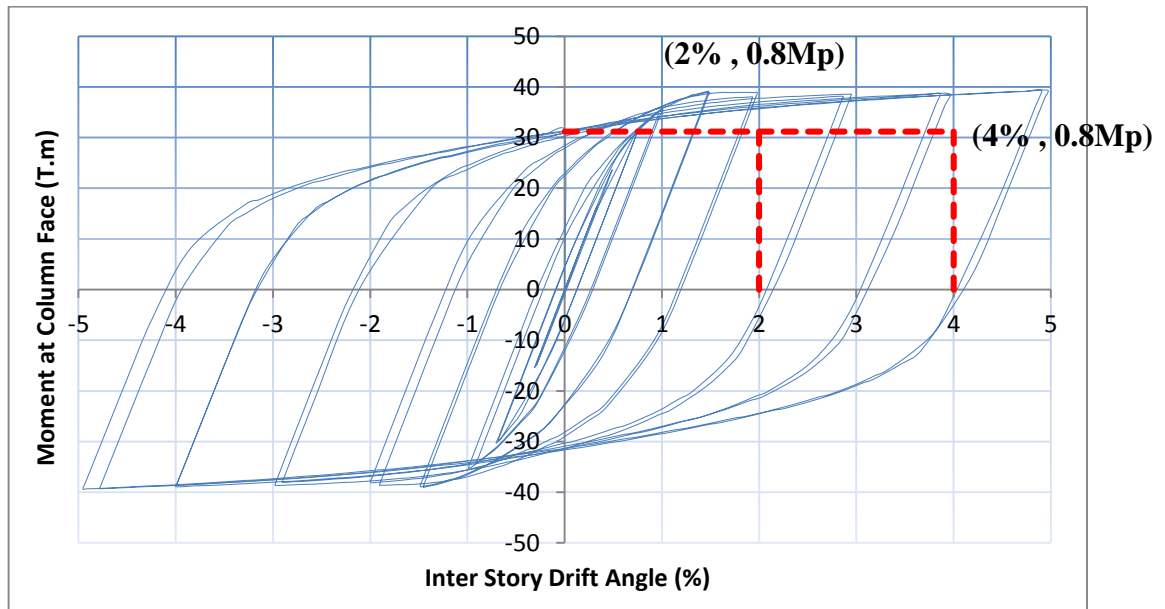
جدول ۱-۷: مشخصات مقاطع ایرانی (تیر) برای اتصال کان‌ایکسال

نوع مقطع	ضخامت بال (mm)	عرض بال (mm)
IPE450	۱۴,۶	۱۹۰
IPE500	۱۶	۲۰۰
IPE550	۱۷,۲	۲۱۰
IPE600	۱۹	۲۲۰
IPB500	۲۳	۳۰۰
IPB550	۲۴	۳۰۰
IPB600	۲۵	۳۰۰

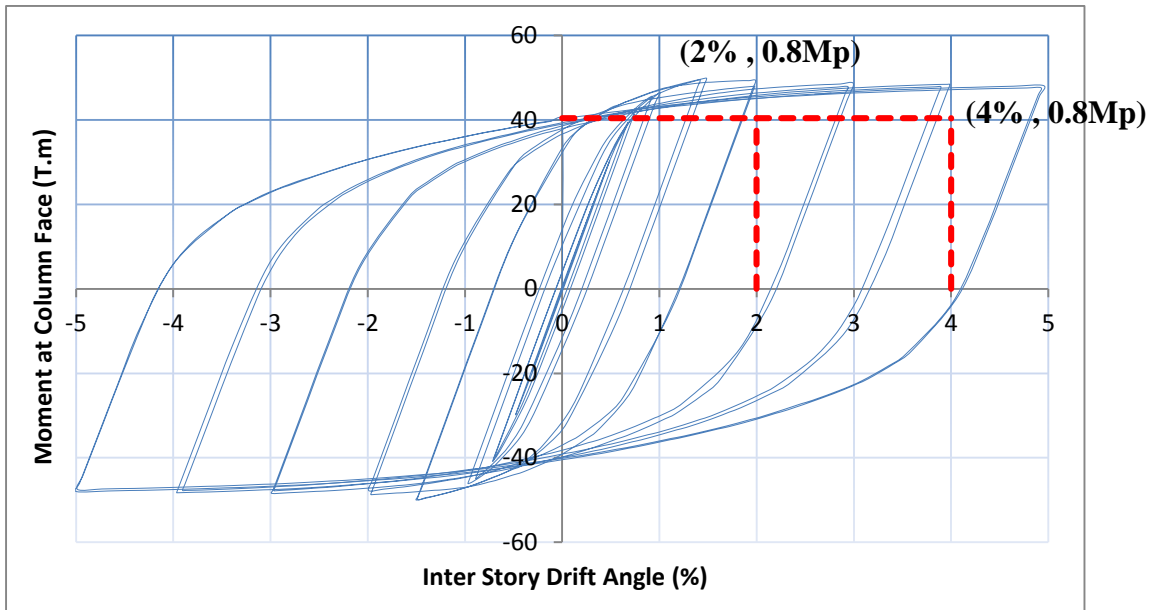
اتصال کان‌ایکسال برای هر کدام از مقاطع تیر مدلسازی شده و مورد بررسی قرار گرفته است. مجموعه سیستم یقه، شامل یقه‌های بال بالا (CFT) و پایین (CFB) و یقه‌های گوشه‌ای بالا (CCT) و پایین (CCB) در هر کدام از نمونه‌ها ثابت می‌مانند. اما یقه گوشه میانی (CCM) و یقه الحاقی جان (CWX) بسته به ارتفاع تیر متغیر است.

مقطع ستون، مربعی به ابعاد ۴۰۶ mm و حداقل ضخامت ۱۰ mm و پر شده از بتن با وزن واحد حجمی  $24 \text{ KN/m}^3$  و مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن ۲۱ MPa می‌باشد. نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، طبق ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان محاسبه شده است [۲۱]. در اتصال کان‌ایکسال با

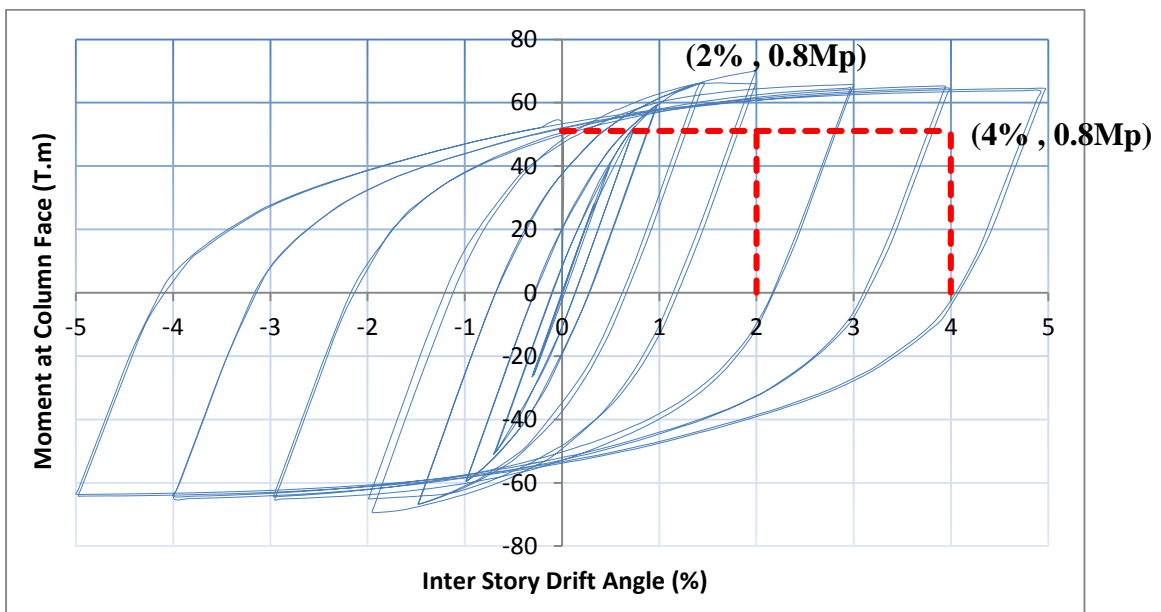
مقاطع تیر رایج در ایران، تمامی ضوابط آیین‌نامه AISC-358 رعایت شده است. با بررسی نمودار هیستریزیس نمونه‌ها، مشاهده می‌شود که الزامات لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه برای اتصال تیر به ستون اقلان شده است. منحنی هیستریزیس نمونه‌ها در شکل‌های ۱-۷ تا ۷-۷ نشان داده شده است.



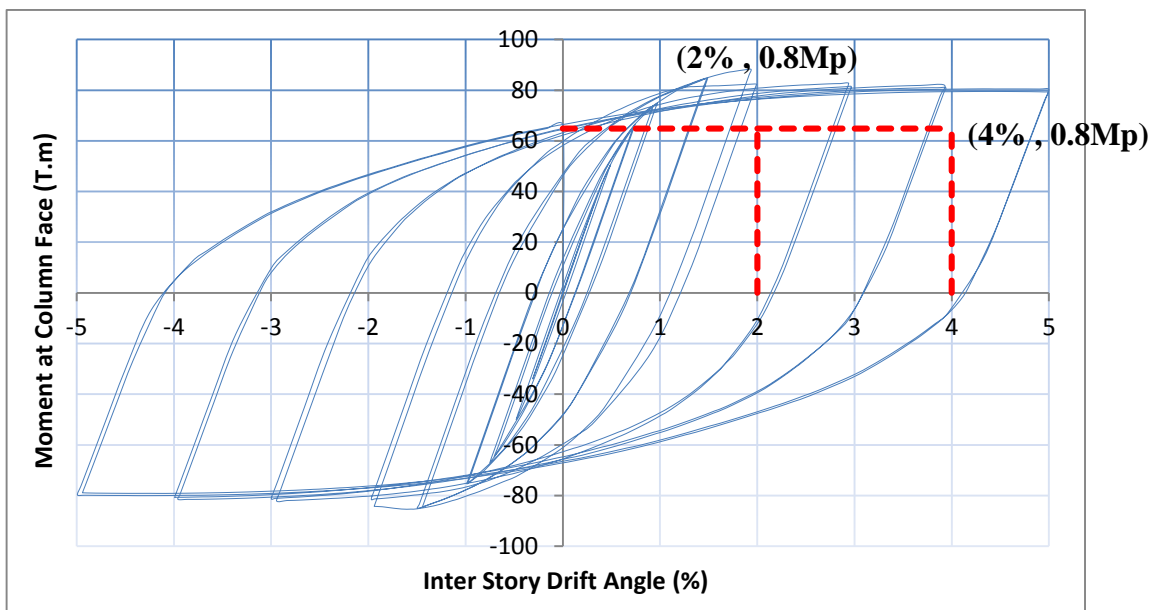
شکل ۱-۷- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPE450



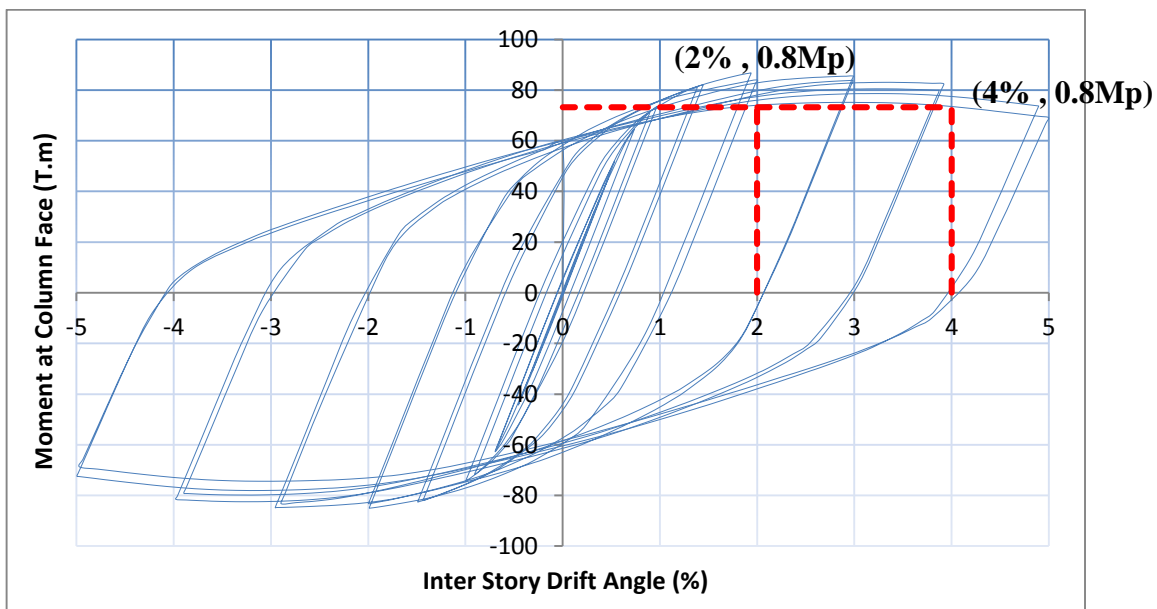
شکل ۷-۲- منحنی هیستریزیس اتصال تیر با مقطع IPE500



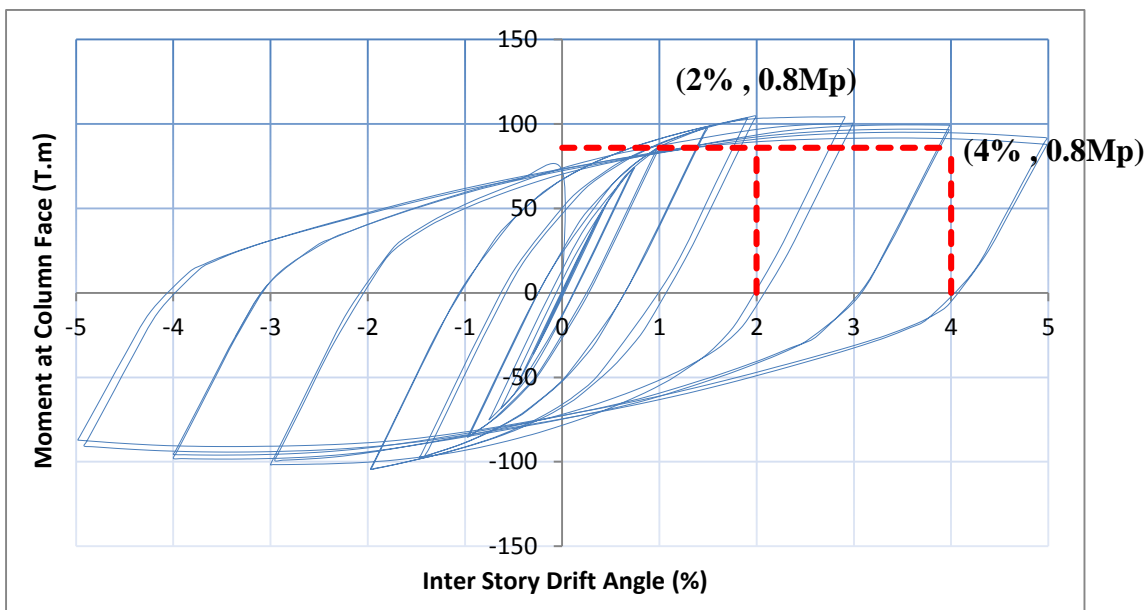
شکل ۷-۳- منحنی هیستریزیس اتصال تیر با مقطع IPE550



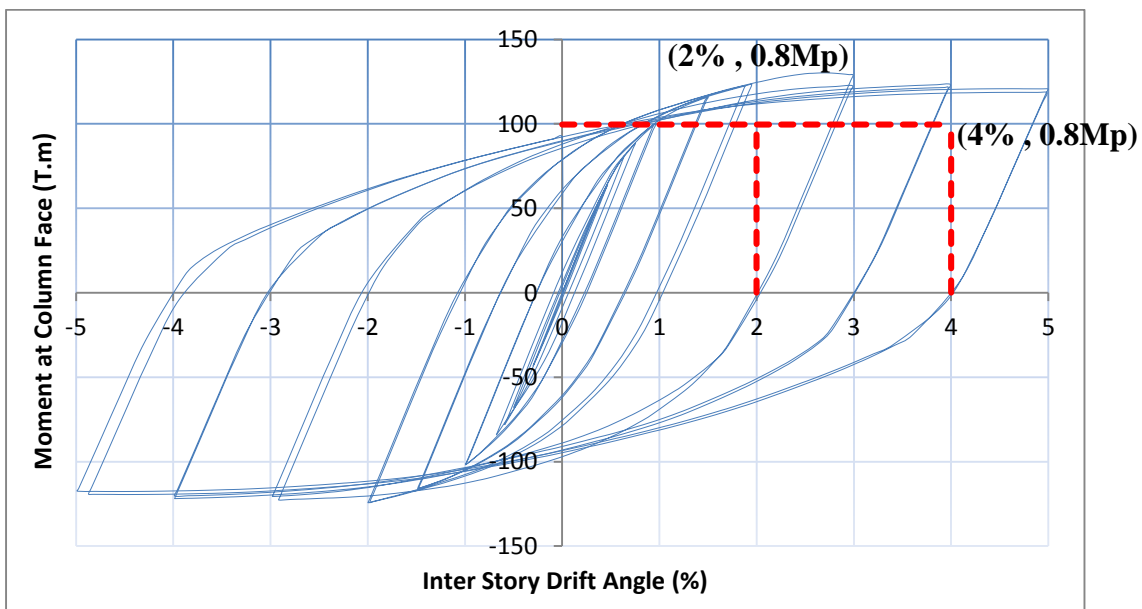
شکل ۷-۴- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPE600



شکل ۷-۵- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPB500



شکل ۷-۶- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPB550



شکل ۷-۷- منحنی هیستریزیس اتصال برای تیر با مقطع IPB600

مطابق بند ۱۰-۳-۸ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، قاب خمشی متوسط به قابی اطلاق می‌شود که در برابر نیروی جانبی زلزله بتواند تغییر شکل‌های فراررتجاعی محدودی را تحمل کند. در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها، باید سعی شود که در نزدیکی دو انتهای تیر، مفصل‌های پلاستیک تشکیل شوند و ظرفیت دورانی آنها به حدی باشد که دوران نظیر تغییرمکان جانبی نسبی طبقه، حداقل به ۰/۰۲ رادیان برسد که حدود ۰/۰۱ رادیان آن در ناحیه فراررتجاعی باشد [۲۱].

مطابق بند ۱۰-۳-۹ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، قاب خمشی ویژه به قابی اطلاق می‌شود که در برابر نیروی جانبی زلزله تغییر شکل‌های فراررتجاعی قابل ملاحظه‌ای را تحمل کند. در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها باید سعی شود که در نزدیکی دو انتهای تیر، مفصل‌های پلاستیک تشکیل شوند و ظرفیت دورانی آنها به حدی باشد که دوران نظیر تغییر مکان‌های جانبی نسبی طبقه، حداقل به ۰/۰۴ رادیان برسد که حدود ۰/۰۳ رادیان آن در ناحیه فراررتجاعی باشد [۲۱]. به بیانی دیگر، قاب‌های خمشی ویژه در دوران ۰/۰۴ رادیان و قاب‌های خمشی متوسط در دوران ۰/۰۲ رادیان، باید حداقل مقاومت خمشی  $0.8M_p$  را تأمین نماید ( $M_p = F_y Z_x$ : لنگر پلاستیک مقطع) [۱۹]. با توجه به بررسی نمودارهای هیستریزیس نمونه‌ها، مشخص می‌شود که رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی کان‌ایکسال، برای مقاطع فولادی رایج در ایران که مورد بررسی قرار گرفت (تیرها) مناسب می‌باشد. قابل ذکر است که نمونه‌های مدلسازی شده، مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، تمامی الزامات قاب‌های خمشی ویژه و متوسط را اقماع می‌نمایند.

مشخصات تمامی اجزای اتصال برای تیرها با مقاطع مجاز در در جداول ۷-۲ تا ۷-۸ آورده شده است. ضخامت ستون‌ها در این جدول‌ها، برابر با حداقل ضخامت محاسبه شده طبق آیین‌نامه AISC-358 می‌باشد. در تمامی ستون‌ها از بتن پر شده با وزن واحد حجمی  $24 \text{ KN/m}^3$  و مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن  $21 \text{ MPa}$  استفاده شده است.



جدول ۷-۲- مشخصات اتصال کان‌ایکسال برای تیر با مقطع IPE450

نوع مقطع	ضخامت جان $t_w$ (mm)	ضخامت بال $t_f$ (mm)	پهنای بال $b$ (mm)	ارتفاع مقطع $d$ (mm)	خصوصیات مصالح (kg/cm <sup>2</sup> )
تیر IPE450	۹,۴	۱۴,۶	۱۹۰	۴۵۰	$F_y=2400$ $F_u=3700$
ستون BOX 406*406*10	۱۰	۱۰	۴۰۶	۴۰۶	$F_y=2400$ $F_u=3700$
یقه‌های بال بالا (CFT) و پایین (CFB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح قطعات یقه‌های بال بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه‌های گوشه‌ای بالا (CCT) و پایین (CCB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح یقه‌های گوشه‌ای بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه گوشه‌ای میانی (CCM)	برای تیر با مقطع IPE450، به یقه گوشه‌ای میانی نیازی نیست.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه الحاقی جان (CWX)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های سطوح، باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد. ارتفاع یقه الحاقی جان برای تیر با مقطع IPE450 برابر است با $384 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
پیچ‌های $1\frac{1}{4}$ اینچ (قطر ۳۲mm)	پیچ‌ها از نوع پرمقاومت و مطابق با استاندارد A۴۹۰ می- باشد.				$F_y=8000$ $F_u=10000$

جدول ۷-۳- مشخصات اتصال کان ایکس آل برای تیر با مقطع IPE500

نوع مقطع	ضخامت جان $t_w$ (mm)	ضخامت بال $t_f$ (mm)	پهنای بال $b$ (mm)	ارتفاع مقطع $d$ (mm)	خصوصیات مصالح (kg/cm <sup>2</sup> )
تیر IPE500	۱۰,۲	۱۶	۲۰۰	۵۰۰	$F_y=2400$ $F_u=3700$
ستون BOX 406*406*10	۱۰	۱۰	۴۰۶	۴۰۶	$F_y=2400$ $F_u=3700$
یقه‌های بال بالا (CFT) و پایین (CFB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح قطعات یقه‌های بال بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AIS-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه‌های گوشه‌ای بالا (CCT) و پایین (CCB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح یقه‌های گوشه‌ای بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه گوشه‌ای میانی (CCM)	برای تیر با مقطع IPE500، ارتفاع یقه گوشه‌ای میانی برابر است با $54 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه الحاقی جان (CWX)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های سطوح، باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AIS-358S1-11 باشد. ارتفاع یقه الحاقی جان برای تیر با مقطع IPE500 برابر است با $434 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
پیچ‌های $1\frac{1}{4}$ اینچ (قطر ۳۲mm)	پیچ‌ها از نوع پرمقاومت و مطابق با استاندارد A۴۹۰ می-باشد.				$F_y=8000$ $F_u=10000$

جدول ۷-۴- مشخصات اتصال کان ایکس ال برای تیر با مقطع IPE550

نوع مقطع	ضخامت جان $t_w$ (mm)	ضخامت بال $t_f$ (mm)	پهنای بال $b$ (mm)	ارتفاع مقطع $d$ (mm)	خصوصیات مصالح (kg/cm <sup>2</sup> )
تیر IPE550	۱۱,۱	۱۷,۲	۲۱۰	۵۵۰	$F_y=2400$ $F_u=3700$
ستون BOX 406*406*12	۱۲	۱۲	۴۰۶	۴۰۶	$F_y=2400$ $F_u=3700$
یقه‌های بال بالا (CFT) و پایین (CFB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح قطعات یقه‌های بال بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه‌های گوشه‌ای بالا (CCT) و پایین (CCB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح یقه‌های گوشه‌ای بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه گوشه‌ای میانی (CCM)	برای تیر با مقطع IPE550، ارتفاع یقه گوشه‌ای میانی برابر است با $104 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه الحاقی جان (CWX)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های سطوح، باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد. ارتفاع یقه الحاقی جان برای تیر با مقطع IPE550 برابر است با $484 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
پیچ‌های $1\frac{1}{4}$ اینچ (قطر ۳۲ mm)	پیچ‌ها از نوع پرمقاومت و مطابق با استاندارد A۴۹۰ می- باشد.				$F_y=8000$ $F_u=10000$

جدول ۷-۵- مشخصات اتصال کان ایکس آل برای تیر با مقطع IPE600

نوع مقطع	ضخامت جان $t_w$ (mm)	ضخامت بال $t_f$ (mm)	پهنای بال $b$ (mm)	ارتفاع مقطع $d$ (mm)	خصوصیات مصالح (kg/cm <sup>2</sup> )
تیر IPE600	۱۲	۱۹	۲۲۰	۶۰۰	$F_y=2400$ $F_u=3700$
ستون BOX 406*406*15	۱۵	۱۵	۴۰۶	۴۰۶	$F_y=2400$ $F_u=3700$
یقه‌های بال بالا (CFT) و پایین (CFB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح قطعات یقه‌های بال بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه‌های گوشه‌ای بالا (CCT) و پایین (CCB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح یقه‌های گوشه‌ای بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه گوشه‌ای میانی (CCM)	برای تیر با مقطع IPE600، ارتفاع یقه گوشه‌ای میانی برابر است با $154 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه الحاقی جان (CWX)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های سطوح، باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد. ارتفاع یقه الحاقی جان برای تیر با مقطع IPE600 برابر است با $534 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
پیچ‌های $1\frac{1}{4}$ اینچ (قطر ۳۲mm)	پیچ‌ها از نوع پرمقاومت و مطابق با استاندارد A۴۹۰ می-باشد.				$F_y=8000$ $F_u=10000$

جدول ۶-۷- مشخصات اتصال کان ایکس آل برای تیر با مقطع IPB500

نوع مقطع	ضخامت جان $t_w$ (mm)	ضخامت بال $t_f$ (mm)	پهنای بال $b$ (mm)	ارتفاع مقطع $d$ (mm)	خصوصیات مصالح (kg/cm <sup>2</sup> )
تیر IPB500	۱۲	۲۳	۳۰۰	۴۹۰	$F_y=2400$ $F_u=3700$
ستون BOX 406*406*20	۲۰	۲۰	۴۰۶	۴۰۶	$F_y=2400$ $F_u=3700$
یقه‌های بال بالا (CFT) و پایین (CFB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح قطعات یقه‌های بال بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه‌های گوشه‌ای بالا (CCT) و پایین (CCB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح یقه‌های گوشه‌ای بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه گوشه‌ای میانی (CCM)	برای تیر با مقطع IPB500، ارتفاع یقه گوشه‌ای میانی برابر است با $54 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه الحاقی جان (CWX)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های سطوح، باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد. ارتفاع یقه الحاقی جان برای تیر با مقطع IPB500 برابر است با $424 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
پیچ‌های $1\frac{1}{4}$ اینچ (قطر ۳۲ mm)	پیچ‌ها از نوع پرمقاومت و مطابق با استاندارد A۴۹۰ می- باشد.				$F_y=8000$ $F_u=10000$

جدول ۷-۷- مشخصات اتصال کان‌ایکس‌ال برای تیر با مقطع IPB550

نوع مقطع	ضخامت جان $t_w$ (mm)	ضخامت بال $t_f$ (mm)	پهنای بال $b$ (mm)	ارتفاع مقطع $d$ (mm)	خصوصیات مصالح (kg/cm <sup>2</sup> )
تیر IPB550	۱۲,۵	۲۴	۳۰۰	۵۴۰	$F_y=2400$ $F_u=3700$
ستون BOX 406*406*22	۲۲	۲۲	۴۰۶	۴۰۶	$F_y=2400$ $F_u=3700$
یقه‌های بال بالا (CFT) و پایین (CFB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح قطعات یقه‌های بال بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه‌های گوشه‌ای بالا (CCT) و پایین (CCB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح یقه‌های گوشه‌ای بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه گوشه‌ای میانی (CCM)	برای تیر با مقطع IPB550، ارتفاع یقه گوشه‌ای میانی برابر است با $104 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه الحاقی جان (CWX)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های سطوح، باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد. ارتفاع یقه الحاقی جان برای تیر با مقطع IPB550 برابر است با $474 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
پیچ‌های $1\frac{1}{4}$ اینچ (قطر ۳۲mm)	پیچ‌ها از نوع پرمقاومت و مطابق با استاندارد A۴۹۰ می-باشد.				$F_y=8000$ $F_u=10000$

جدول ۷-۸- مشخصات اتصال کان ایکس آل برای تیر با مقطع IPB600

نوع مقطع	ضخامت جان $t_w$ (mm)	ضخامت بال $t_f$ (mm)	پهنای بال $b$ (mm)	ارتفاع مقطع $d$ (mm)	خصوصیات مصالح (kg/cm <sup>2</sup> )
تیر IPB600	۱۳	۲۵	۳۰۰	۵۹۰	$F_y=2400$ $F_u=3700$
ستون BOX 406*406*23	۲۳	۲۳	۴۰۶	۴۰۶	$F_y=2400$ $F_u=3700$
یقه‌های بال بالا (CFT) و پایین (CFB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح قطعات یقه‌های بال بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه‌های گوشه‌ای بالا (CCT) و پایین (CCB)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های مختلف سطوح یقه‌های گوشه‌ای بالا و پایین باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد.				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه گوشه‌ای میانی (CCM)	برای تیر با مقطع IPB600، ارتفاع یقه گوشه‌ای میانی برابر است با $154 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
یقه الحاقی جان (CWX)	کلیه ابعاد و ضخامت‌ها و شیب‌های سطوح، باید بر اساس نقشه‌های تیپ ارائه شده در AISC-358S1-11 باشد. ارتفاع یقه الحاقی جان برای تیر با مقطع IPB600 برابر است با $524 \text{ mm}$				$F_y=3600$ $F_u=5200$
پیچ‌های $1\frac{1}{4}$ اینچ (قطر ۳۲ mm)	پیچ‌ها از نوع پرمقاومت و مطابق با استاندارد A۴۹۰ می- باشد.				$F_y=8000$ $F_u=10000$

#### ۷-۴- بررسی نمونه‌های عددی مرحله دوم، انتخاب پارامترهای بهینه برش

در این مرحله، جهت بهبود عملکرد اتصال کان‌ایکسال، اتصال با کاهش در مقطع تیر مدل شده و سپس با تغییر پارامترهای برش، هندسه بهینه مقطع تیر مشخص شده است.

#### ۷-۴-۱- نحوه انتخاب پارامترهای برش و ارائه نتایج حاصل از نمونه‌ها

به منظور انتخاب اتصال بهینه ابتدا مقادیر مختلف پارامترهای  $a$  و  $b$  و  $c$ ، با در نظر گرفتن محدودیت‌های مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه AISC-358، جهت انجام مدلسازی مشخص می‌شود، که این مقادیر و محدوده‌ها به قرار زیر است:

مقادیر در نظر گرفته شده برای پارامتر  $a$  که نشان دهنده فاصله شروع منطقه کاهش‌یافته از بر ستون می‌باشد:

$$a = 0.5b_{bf}, 0.625b_{bf}, 0.75b_{bf}$$

مقادیر در نظر گرفته شده برای پارامتر  $b$ ، که نشان دهنده طول منطقه کاهش‌یافته می‌باشد:

$$b = 0.65d, 0.75d, 0.85d$$

و مقدار در نظر گرفته شده برای پارامتر  $c$  که بیانگر عمق برش در منطقه کاهش‌یافته می‌باشد:

$$c = 0.175b_{bf}$$

پس از تعیین مقادیر مختلف برای سه پارامتر مورد نظر، روند کار به این شکل است که ابتدا یکی از مقادیر مربوط به پارامتر  $a$  را انتخاب کرده و این مقدار را هر بار با یکی از مقادیر مربوط به پارامتر  $b$  و همچنین تنها پارامتر  $c$  به عنوان پارامترهای ناحیه کاهش‌یافته در نظر می‌گیریم، این شیوه را برای سایر مقادیر پارامتر  $a$  نیز به کار برده و با این کار می‌توانیم تمامی حالات مختلف ترکیب این پارامترها با یکدیگر را در نظر گرفته و مدلسازی می‌کنیم. از آنجا که هر سه پارامتر  $a$  و  $b$  و  $c$  در کیفیت رفتار لرزه‌ای دخیل هستند، بنابراین در نظر گرفتن تمامی حالات ترکیب ضروری به نظر می‌رسد. بدیهی است که با این شیوه کار، کلیه حالات ترکیب این سه عامل، ۹ نمونه متفاوت را ایجاد می‌کند. حال برای تک‌تک نمونه‌ها معیارهای سه‌گانه مورد نظر که شامل:



۱. استهلاک انرژی نمونه‌ها در چرخه‌های بارگذاری

۲. دوری مفصل پلاستیک از چشمه اتصال

۳. سختی اولیه در نمودار بار - تغییر مکان

می‌باشد را محاسبه کرده و با یکدیگر مقایسه می‌کنیم. برای اتصال با مقطع تیر IPE450، نحوه چیدمان پارامترها و همچنین نتایج تحلیل تمامی نمونه‌ها و مقادیر معیارهای مورد نظر به صورت کامل در جدول شماره ۷-۹ آمده است.

جدول ۷-۹- نتایج تحلیل ۹ نمونه اول برای اتصال با مقطع تیر IPE450

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	سختی اولیه (N/m)	وضعیت تنش در تیر (از ابتدای تیر تا اولین مهار جانبی) (γ)
۱	0.5b <sub>bf</sub>	0.65d	0.175 b <sub>bf</sub>	۲۹۹۶۷۷	۳۳۶۷۲۹۱	۲۱۸ المان طیف ۱، ۸۵ المان طیف ۲، ۵۷ المان طیف ۳
۲	0.5b <sub>bf</sub>	0.75d	0.175 b <sub>bf</sub>	۳۰۳۰۷۷	۳۳۵۵۳۷۴	۲۵۰ المان طیف ۱، ۶۰ المان طیف ۲، ۵۰ المان طیف ۳
۳	0.5b <sub>bf</sub>	0.85d	0.175 b <sub>bf</sub>	۳۰۴۷۰۳	۳۳۴۳۴۹۲	۲۵۴ المان طیف ۱، ۷۰ المان طیف ۲، ۳۶ المان طیف ۳
۴	0.625 b <sub>bf</sub>	0.65d	0.175 b <sub>bf</sub>	۳۰۶۰۲۳	۳۳۶۵۳۶۶	۲۶۰ المان طیف ۱، ۶۹ المان طیف ۲، ۳۱ المان طیف ۳
۵	0.625 b <sub>bf</sub>	0.75d	0.175 b <sub>bf</sub>	۳۰۵۰۷۶	۳۳۵۳۹۸۴	۲۵۸ المان طیف ۱، ۶۲ المان طیف ۲، ۴۰ المان طیف ۳
۶	0.625 b <sub>bf</sub>	0.85d	0.175 b <sub>bf</sub>	۳۰۳۶۸۴	۳۳۴۲۳۷۲	۲۶۴ المان طیف ۱، ۶۱ المان طیف ۲، ۳۵ المان طیف ۳
۷	0.75 b <sub>bf</sub>	0.65d	0.175 b <sub>bf</sub>	۳۰۳۳۵۳	۳۵۴۸۷۵۶	۲۴۵ المان طیف ۱، ۷۲ المان طیف ۲، ۴۳ المان طیف ۳
۸	0.75 b <sub>bf</sub>	0.75d	0.175 b <sub>bf</sub>	۳۰۵۷۴۵	۳۵۳۵۶۵۰	۲۶۲ المان طیف ۱، ۶۰ المان طیف ۲، ۳۸ المان طیف ۳
۹	0.75 b <sub>bf</sub>	0.85d	0.175 b <sub>bf</sub>	۳۰۲۹۲۰	۳۵۲۲۹۰۶	۲۸۳ المان طیف ۱، ۴۹ المان طیف ۲، ۲۸ المان طیف ۳

همانگونه که از جدول پیداست، این جدول دارای هفت ستون است که از سمت چپ به ترتیب دارای مشخصات زیر می‌باشد:

۱. ستون شماره یک که نشان دهنده شماره نمونه‌های مورد نظر می‌باشد و از عدد ۱ تا ۹ شماره گذاری شده است.

۲. ستون شماره دو که بیانگر پارامتر  $a$  بوده و همانطور که قبلاً توضیح داده شد، این پارامتر نشان دهنده فاصله شروع منطقه کاهش یافته از بر ستون می‌باشد.

۳. ستون شماره سه که بیانگر پارامتر  $b$  بوده، نشان دهنده طول منطقه کاهش یافته در روی تیر می‌باشد.

۴. ستون شماره چهار بیانگر پارامتر  $c$  می‌باشد. این پارامتر نمایانگر عمق برش در منطقه کاهش یافته می‌باشد.

۵. ستون شماره پنج که میزان استهلاک انرژی نمونه‌های مورد مطالعه در چرخه‌های بارگذاری را نشان می‌دهد. این پارامتر مهمترین عامل در انتخاب اتصال مناسب جهت تامین ابعاد بهینه می‌باشد.

۶. ستون شماره شش که سختی اولیه نمودار بار – تغییر مکان را نشان می‌دهد. این پارامتر بر اساس شیب اولیه این نمودار در ناحیه الاستیک تعریف می‌شود و از نظر اهمیت در ارزیابی رفتاری در رده سوم قرار می‌گیرد (کم اهمیت ترین عامل در بین عوامل سه‌گانه)

۷. ستون شماره هفت که وضعیت تنش‌ها را از ابتدای تیر تا اولین مهار جانبی بر اساس رنگ-بندی کانتور تنش در نرم افزار آباکوس نشان می‌دهد. این پارامتر میزان دوری مفصل پلاستیک از چشمه اتصال را نشان می‌دهد و از نظر اهمیت ارزیابی، در رده دوم قرار می‌گیرد. در این ستون،

طیف ۱، معرف بیشترین میزان تنش با رنگ آبی روشن و تنش متوسط ۵،۳، طیف ۲، معرف رنگ آبی متوسط با تنش متوسط ۵،۲ و طیف ۳، معرف کمترین میزان تنش و رنگ آبی تیره با تنش متوسط ۱ می‌باشد.

#### ۷-۴-۲- ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها برای اتصال با مقطع تیر IPE450

اکنون با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل نمونه‌ها و ارزیابی معیارهای سه‌گانه مورد نظر در ارتباط با آنها، می‌توان جهت تعیین پارامترهای بهینه برش اقدام نمود. شیوه ارزیابی این نمونه‌ها به این شکل است که ابتدا به سراغ مهمترین معیار که همان استهلاک انرژی در چرخه‌های بارگذاری است رفته و تک‌تک مدل‌ها را از نمونه شماره ۱ شروع به ارزیابی کرده و تفاوت این پارامتر را در نمونه مورد نظر با نمونه بعد از خود بدست آورده و آن را به صورت درصد بیان می‌کنیم. همین کار را برای معیارهای دوم و سوم نیز انجام می‌دهیم. برای مقایسه، نمونه‌ها را به سه دسته تقسیم می‌کنیم، در هر دسته، نمونه‌ی بهینه انتخاب می‌شود و در نهایت سه مدل بهینه با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

لازم به ذکر است که برای پارامتر دوری مفصل پلاستیک از چشمه اتصال که یک معیار کیفی است، ترتیبی اتخاذ شد که بتوان این معیار را به صورت کمی نشان داد. برای این منظور از یک رابطه پیشنهادی که وابسته به نسبت کانتورهای رنگی تنش فون میسر در قسمتی از تیر در نزدیکی ستون است استفاده شده است [۲۴]. هر چه قدر تنش‌ها در ابتدای تیر تا مهار جانبی اول، بیشتر باشد یعنی تمرکز تنش از چشمه اتصال دورتر شده است. این رابطه بر اساس نسبت میانگین تنش رنگ المان مورد نظر به میانگین تنش المان‌هایی که دارای کمترین تنش هستند ضربدر تعداد المان‌ها در آن رنگ می‌باشد.

به عنوان مثال برای نمونه اول که در محدوده‌ی ابتدای تیر تا اولین مهار جانبی دارای ۲۱۸ المان با طیف ۱، ۸۵ المان با طیف ۲ و ۵۷ المان با طیف ۳ است، می‌توان معیار میانگین تمرکز تنش را بر اساس رابطه زیر بدست آورد:

$$\gamma = \frac{\text{تنش طیف 1}}{\text{تعداد المان طیف 1}} + \frac{\text{تنش طیف 2}}{\text{تعداد المان طیف 2}} + \frac{\text{تنش طیف 3}}{\text{تعداد المان طیف 3}}$$

$$\gamma = 218 \frac{3.5}{1} + 85 \frac{2.5}{1} + 57 \frac{1}{1} = 1032.5$$

همانگونه که ملاحظه می‌شود عدد به دست آمده معیاری برای سنجش و قضاوت در مورد تمرکز تنش در نزدیکی ستون می‌باشد. بدیهی است که هر اندازه المان‌ها تنش بیشتری داشته باشند، عدد بدست آمده از رابطه بیشتر می‌شود که این نشان دهنده عملکرد مثبت اتصال می‌باشد. پس از تعیین مقادیر پارامترهای سه‌گانه برای تمامی مدل‌های موجود، مدل‌ها را به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه کرده و تفاوت مقادیر پارامترهای مورد نظر را بر اساس درصد نسبت به یکدیگر نشان می‌دهیم. از آنجایی که که ارزش معیارهای در نظر گرفته شده برای قضاوت در مورد کیفیت عملکرد اتصالات با یکدیگر برابر نمی‌باشند، برای ارزیابی عملکرد این نمونه‌ها باید این معیارها را وزن‌دار کرد. به همین منظور برای معیار استهلاک انرژی که مهمترین معیار در ارزیابی عملکرد نمونه‌هاست ضریب وزنی ۳، برای معیار دوری مفصل پلاستیک از چشمه اتصال که در درجه دوم اهمیت قرار دارد ضریب وزنی ۲ و برای معیار سختی اولیه نمودار بار - تغییر مکان نیز ضریب ۱ را در نظر بگیریم.

جدول ۷-۱۰- نتایج تحلیل نمونه‌ها برای اتصال با مقطع تیر IPE450

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش در تیر(از ابتدای تیر تا اولین مهار جانبی) ( $\gamma$ )	سختی اولیه (N/m)
۱	۹/۵	۲۹/۲۵	۳/۳۲۵	۲۹۹۶۷۷	۱۰۳۲/۵	۳۳۶۷۲۹۱
۲	۹/۵	۳۳/۷۵	۳/۳۲۵	۳۰۳۰۷۷	۱۰۷۵	۳۳۵۵۳۷۴
۳	۹/۵	۳۸/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۴۷۰۳	۱۱۰۰	۳۳۴۳۴۹۲
۴	۱۱/۸۷۵	۲۹/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۶۰۲۳	۱۱۱۳/۵	۳۳۶۵۳۶۶
۵	۱۱/۸۷۵	۳۳/۷۵	۳/۳۲۵	۳۰۵۰۷۶	۱۰۹۸	۳۳۵۳۹۸۴
۶	۱۱/۸۷۵	۳۸/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۳۶۸۴	۱۱۱۱/۵	۳۳۴۲۳۷۲
۷	۱۴/۲۵	۲۹/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۳۳۵۳	۱۰۸۰/۵	۳۵۴۸۷۵۶
۸	۱۴/۲۵	۳۳/۷۵	۳/۳۲۵	۳۰۵۷۴۵	۱۱۰۵	۳۵۳۵۶۵۰
۹	۱۴/۲۵	۳۸/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۲۹۲۰	۱۱۴۱	۳۵۲۲۹۰۶

اکنون با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۷-۱۰ می‌توان به شیوه گفته شده به ارزیابی نمونه‌ها پرداخت. برای این کار در دسته اول، نمونه شماره ۱ را با نمونه شماره ۲ مقایسه کرده و درصد اختلاف معیارها را وزن‌دار کرده، با هم جمع می‌کنیم. جواب بدست آمده ملاک قضاوت در مورد عملکرد نمونه‌ها می‌باشد. فرایند ارزشیابی برای نمونه شماره ۲ و شماره ۳ نیز صورت می‌گیرد، در پایان ارزشیابی، مدل‌های بهینه سه گروه با یکدیگر مقایسه و در نهایت، نمونه‌ای که دارای بهترین عملکرد می‌باشد انتخاب می‌شود.

جدول ۷-۱۱- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته اول برای اتصال با مقطع تیر IPE450

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش ( $\gamma$ )	سختی اولیه (N/m)	برایند معیارها
۱	۹/۵	۲۹/۲۵	۳/۳۲۵	۲۹۹۶۷۷	۱۰۳۲/۵	۳۳۰۷۴۵۷	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۱/۱۳ ↓	۲*٪/۴/۱۲ ↓	۱*٪/۰/۳۵ ↑	٪/۱۱/۲۸ ↓
۲	۹/۵	۳۳/۷۵	۳/۳۲۵	۳۰۳۰۷۷	۱۰۷۵	۳۲۹۶۰۳۷	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰/۵۴ ↓	۲*٪/۲/۳ ↓	۱*٪/۰/۳۵ ↑	٪/۵/۸۷ ↓
۳	۹/۵	۳۸/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۴۷۰۳	۱۱۰۰	۳۲۸۴۵۵۹	

جدول ۷-۱۲- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته دوم برای اتصال با مقطع تیر IPE450

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش ( $\gamma$ )	سختی اولیه (N/m)	برایند معیارها
۴	۱۱/۸۷۵	۲۹/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۶۰۲۳	۱۱۱۳/۵	۳۳۰۵۳۴۶	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰/۳۱ ↑	۲*٪/۱/۴ ↑	۱*٪/۰/۳۳ ↑	٪/۴/۰۶ ↑
۵	۱۱/۸۷۵	۳۳/۷۵	۳/۳۲۵	۳۰۵۰۷۶	۱۰۹۸	۳۲۹۴۴۶۸	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰/۴۶ ↑	۲*٪/۱/۲۳ ↓	۱*٪/۰/۳۳ ↑	٪/۰/۷۵ ↓
۶	۱۱/۸۷۵	۳۸/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۳۶۸۴	۱۱۱۱/۵	۳۲۸۳۴۳۲	

جدول ۷-۱۳- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته سوم برای اتصال با مقطع تیر IPE450

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش ( $\gamma$ )	سختی اولیه (N/m)	برایند معیارها
۷	۱۴/۲۵	۲۹/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۳۳۵۳	۱۰۸۰/۵	۳۵۰۶۱۴۷	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰/۷۹ ↓	۲*٪/۲/۲۷ ↓	۱*٪/۰/۳۶ ↑	٪/۶/۵۵ ↓
۸	۱۴/۲۵	۳۳/۷۵	۳/۳۲۵	۳۰۵۷۴۵	۱۱۰۵	۳۴۹۳۵۹۵	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰/۹۲ ↑	۲*٪/۳/۲۶ ↓	۱*٪/۰/۳۳ ↑	٪/۳/۴۳ ↓
۹	۱۴/۲۵	۳۸/۲۵	۳،۳۲۵	۳۰۲۹۲۰	۱۱۴۱	۳۴۸۱۹۱۷	

جدول ۷-۱۴ - مقایسه عملکرد نمونه‌های بهینه دسته اول و دوم و سوم برای اتصال با مقطع تیر IPE450

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش (%)	سختی اولیه (N/m)	برایند معیارها
۳	۹/۵	۳۸/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۴۷۰۳	۱۱۰۰	۳۲۸۴۵۵۹	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪۰/۴۳ ↓	۲*٪۱/۲۳ ↓	۱*٪۰/۶۳ ↓	٪۴/۳۸ ↓
۴	۱۱/۸۷۵	۲۹/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۶۰۲۳	۱۱۱۳/۵	۳۳۰۵۳۴۶	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪۱/۰۱ ↑	۲*٪۲/۴۷ ↓	۱*٪۵/۳۴ ↓	٪۷/۲۵ ↓
۹	۱۴/۲۵	۳۸/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۲۹۲۰	۱۱۴۱	۳۴۸۱۹۱۷	

همانگونه که در جدول‌های ۷-۱۱ تا ۷-۱۴ ملاحظه می‌شود، هر سه معیار را برای تمامی مدل‌ها به صورت دوبه‌دو و بر اساس درصد اختلافی با یکدیگر مقایسه کرده و مقادیر وزنی مربوط به معیارها را در این درصدهای اختلافی ضرب می‌کنیم. حاصل جمع مقادیر بدست آمده از ستون‌های دوم تا چهارم عددی است بر حسب درصد که میزان کفایت نمونه مورد نظر را با نمونه‌ای که با آن مقایسه شده است بیان می‌کند. به این ترتیب با توجه به نتایج جدول، مقایسه نمونه‌ها نشان می‌دهد که نمونه شماره ۳ از جدول ۷-۱۱، نمونه شماره ۴ از جدول ۷-۱۲ و نمونه شماره ۹ از جدول ۷-۱۳ دارای بهترین عملکرد هستند. با توجه به نتایج جدول ۷-۱۴، مقایسه نمونه‌های ۳ و ۴ و ۹ نشان می‌دهد که نمونه شماره ۹ با پارامترهای برش ( $a = 14.25 \text{ cm}$ ,  $b = 38.25$ ,  $c = 3.325$ ) در بین سایر مدل‌ها بهترین عملکرد را ایفا کرده است.

به منظور بالا بردن دقت تحقیق در دستیابی به پارامترهای بهینه برش، پارامتر  $c$  را نیز برای نمونه شماره ۹ در دو مرحله تغییر داده و نتایج را با هم مقایسه می‌کنیم.

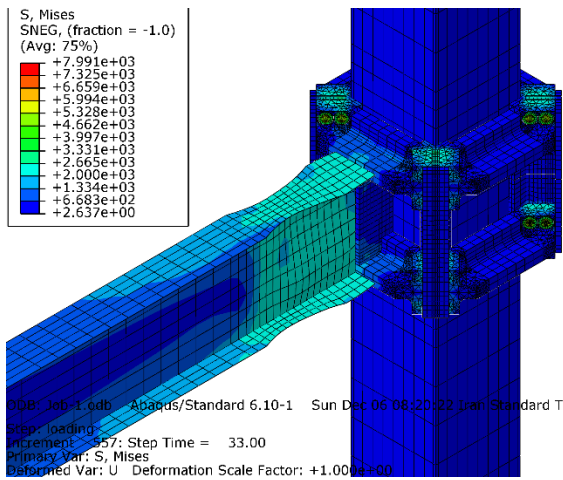
جدول ۷-۱۵- تعیین پارامتر بهینه C برای اتصال با مقطع تیر IPE450

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش ( $\gamma$ )	سختی اولیه (N/m)	برایند معیارها
۹-۱	۱۴/۲۵	۳۸/۲۵	۱/۹	۳۱۰۸۸۴	۱۰۳۱	۳۳۶۱۴۶۱	
(درصد اختلاف) $\times$ (ضریب وزنی)				۳*٪۲/۵۶ $\uparrow$	۲*٪۱۰/۶۷ $\downarrow$	۱*٪۳/۵۸ $\downarrow$	٪۱۷/۲۴ $\downarrow$
۹	۱۴/۲۵	۳۸/۲۵	۳/۳۲۵	۳۰۲۹۲۰	۱۱۴۱	۳۴۸۱۹۱۷	
(درصد اختلاف) $\times$ (ضریب وزنی)				۳*٪۶/۷۷ $\uparrow$	۲*٪۲/۱۵ $\uparrow$	۱*٪۷/۴۵ $\uparrow$	٪۳۲/۰۴ $\uparrow$
۹-۳	۱۴/۲۵	۳۸/۲۵	۴/۷۵	۲۸۲۴۲۶	۱۱۱۶/۵	۳۲۲۲۶۱۱	

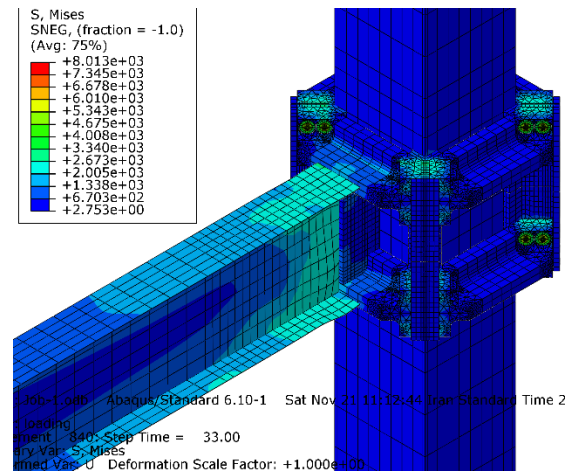
با مقایسه سه نمونه با پارامترهای C متفاوت، در جدول ۷-۱۵ مشاهده می‌کنیم که مجدداً نمونه شماره ۹ با پارامترهای برش ( $a = 14.25$  cm,  $b = 38.25$ ,  $c = 3.325$ ) در بین سایر مدل‌ها بهترین عملکرد را ایفا کرده است.

توزیع تنش فون میسز و تغییر شکل اتصال با تیر IPE450 بدون RBS و با RBS در شکل‌های ۷-۸ و ۷-۹ آورده شده است.





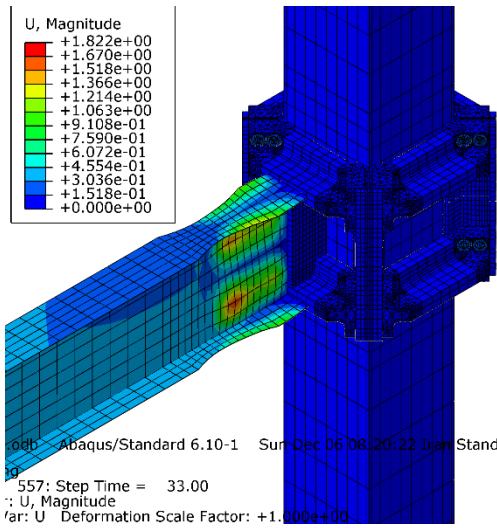
(ب)



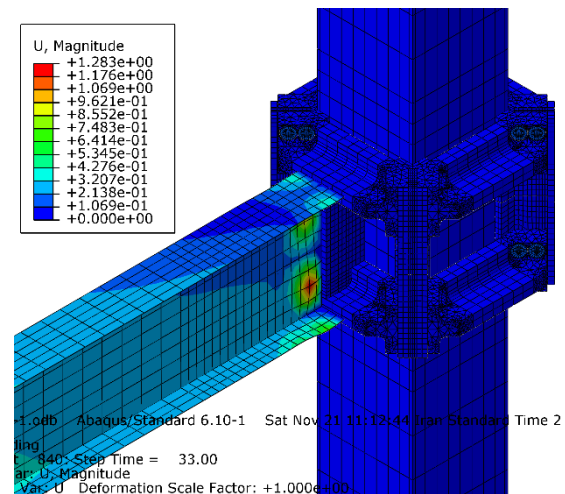
(الف)

شکل ۷-۸- توزیع تنش فون میسز در اتصال با تیر IPE450، در دوران ۰/۰۵ رادیان

(الف) بدون RBS (ب) با RBS



(ب)



(الف)

شکل ۷-۹- تغییر شکل اتصال با تیر IPE450، در دوران ۰/۰۵ رادیان

(الف) بدون RBS (ب) با RBS

### ۷-۴-۳- ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها برای اتصال با مقطع تیر IPE550

اکنون به منظور تعمیم نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر، مطالعات خود را برای اتصال با مقطع تیر IPE550 نیز انجام می‌دهیم و نتایج بدست آمده را با نتایج حاصل از نمونه‌های قبلی مقایسه می‌کنیم. برای پیدا کردن پارامترهای بهینه برش، کلیه عملیاتی که برای اتصال با مقطع تیر IPE450، در قسمت قبل انجام شد؛ برای تیر با مقطع IPE550 نیز تکرار خواهد شد.

جدول ۷-۱۶- نتایج تحلیل نمونه‌ها برای اتصال با مقطع تیر IPE550

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش در تیر(از ابتدای تیر تا اولین مهار جانبی) (γ)	سختی اولیه (N/m)
۱	۱۰/۵	۳۵/۷۵	۳/۶۷۵	۵۰۴۱۶۵	۸۳۸/۵	۵۴۸۱۹۴۳
۲	۱۰/۵	۴۱/۲۵	۳/۶۷۵	۵۰۶۰۸۲	۸۸۶	۵۴۶۳۰۴۱
۳	۱۰/۵	۴۶/۷۵	۳/۶۷۵	۵۱۳۸۳۷	۸۸۷/۵	۵۴۴۵۳۵۱
۴	۱۳/۱۲۵	۳۵/۷۵	۳/۶۷۵	۵۱۴۳۵۴	۸۷۰/۵	۵۵۲۹۷۵۱
۵	۱۳/۱۲۵	۴۱/۲۵	۳/۶۷۵	۵۱۹۴۸۷	۸۹۰/۵	۵۵۱۱۷۴۴
۶	۱۳/۱۲۵	۴۶/۷۵	۳/۶۷۵	۵۲۲۵۹۹	۸۸۴/۵	۵۴۹۳۸۹۵
۷	۱۵/۷۵	۳۵/۷۵	۳/۶۷۵	۵۱۸۵۷۵	۸۸۲	۵۵۰۹۷۹۶
۸	۱۵/۷۵	۴۱/۲۵	۳/۶۷۵	۵۳۱۴۱۷	۹۰۹	۵۴۹۱۴۲۰
۹	۱۵/۷۵	۴۶/۷۵	۳/۶۷۵	۵۲۹۱۲۱	۹۲۰/۵	۵۴۷۴۳۶۱

جدول ۷-۱۷- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته اول برای اتصال با مقطع تیر IPE550

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش ( $\gamma$ )	سختی اولیه (N/m)	برایند معیارها
۱	۱۰/۵	۳۵/۷۵	۳/۶۷۵	۵۰۴۱۶۵	۸۳۸/۵	۵۴۸۱۹۴۳	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰/۳۸ ↓	۲*٪/۰/۵/۶۶ ↓	۱*٪/۰/۰/۳۴ ↑	٪/۱۲/۱۳ ↓
۲	۱۰/۵	۴۱/۲۵	۳/۶۷۵	۵۰۶۰۸۲	۸۸۶	۵۴۶۳۰۴۱	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰/۱/۵۳ ↓	۲*٪/۰/۰/۱۷ ↓	۱*٪/۰/۰/۳۲ ↑	٪/۴/۶۱ ↓
۳	۱۰/۵	۴۶/۷۵	۳/۶۷۵	۵۱۳۸۳۷	۸۸۷/۵	۵۴۴۵۳۵۱	

جدول ۷-۱۸- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته دوم برای اتصال با مقطع تیر IPE550

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش ( $\gamma$ )	سختی اولیه (N/m)	برایند معیارها
۴	۱۳/۱۲۵	۳۵/۷۵	۳/۶۷۵	۵۱۴۳۵۴	۸۷۰/۵	۵۵۲۹۷۵۱	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰ ↓	۲*٪/۰/۲/۳ ↓	۱*٪/۰/۰/۳۳ ↑	٪/۷/۲۶ ↓
۵	۱۳/۱۲۵	۴۱/۲۵	۳/۶۷۵	۵۱۹۴۸۷	۸۹۰/۵	۵۵۱۱۷۴۴	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰/۰/۶ ↓	۲*٪/۰/۰/۶۷ ↑	۱*٪/۰/۰/۳۲ ↑	٪/۰/۱۳ ↓
۶	۱۳/۱۲۵	۴۶/۷۵	۳/۶۷۵	۵۲۲۵۹۹	۸۸۴/۵	۵۴۹۳۸۹۵	

جدول ۷-۱۹- مقایسه عملکرد نمونه‌های دسته سوم برای اتصال با مقطع تیر IPE550

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش ( $\gamma$ )	سختی اولیه (N/m)	برایند معیارها
۷	۱۵/۷۵	۳۵/۷۵	۳/۶۷۵	۵۱۸۵۷۵	۸۸۲	۵۵۰۹۷۹۶	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰/۲/۴۸ ↓	۲*٪/۰/۳/۰/۶ ↓	۱*٪/۰/۰/۳۳ ↑	٪/۱۳/۲۲ ↓
۸	۱۵/۷۵	۴۱/۲۵	۳/۶۷۵	۵۳۱۴۱۷	۹۰۹	۵۴۹۱۴۲۰	
(درصد اختلاف) × (ضریب وزنی)				۳*٪/۰/۰/۴۳ ↑	۲*٪/۰/۱/۲۷ ↓	۱*٪/۰/۰/۳۱ ↑	٪/۰/۹۲ ↓
۹	۱۵/۷۵	۴۶/۷۵	۳/۶۷۵	۵۲۹۱۲۱	۹۲۰/۵	۵۴۷۴۳۶۱	

جدول ۷-۲۰- مقایسه عملکرد نمونه‌های بهینه دسته اول و دوم و سوم برای اتصال با مقطع تیر IPE550

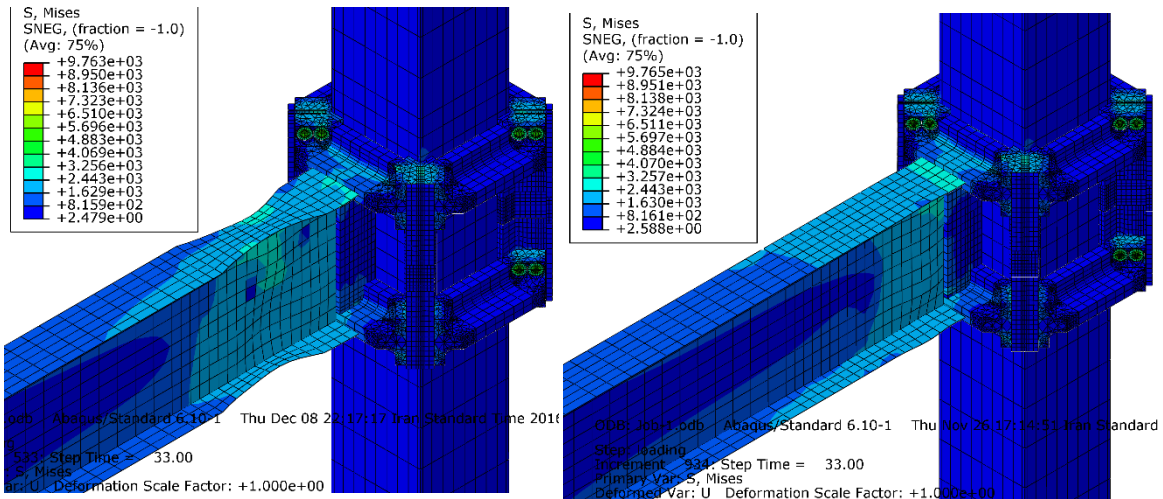
ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش ( $\gamma$ )	سختی اولیه (N/m)	برایند معیارها
۳	۱۰/۵	۴۶/۷۵	۳/۶۷۵	۵۱۳۸۳۷	۸۸۷/۵	۵۴۴۵۳۵۱	
(درصد اختلاف) $\times$ (ضریب وزنی)				۳٪/۱/۷۱ ↓	۲٪/۰/۳۴ ↑	۱٪/۰/۸۹ ↓	٪۵/۳۳ ↓
۶	۱۳/۱۲۵	۴۶/۷۵	۳/۶۷۵	۵۲۲۵۹۹	۸۸۴/۵	۵۴۹۳۸۹۵	
(درصد اختلاف) $\times$ (ضریب وزنی)				۳٪/۱/۲۵ ↓	۲٪/۴/۰۷ ↓	۱٪/۰/۳۶ ↑	٪۱۱/۵۳ ↓
۹	۱۵/۷۵	۴۶/۷۵	۳/۶۷۵	۵۲۹۱۲۱	۹۲۰/۵	۵۴۷۴۳۶۱	

با توجه به نتایج جدول ۷-۲۰، مقایسه نمونه‌های ۳ و ۶ و ۹ نشان می‌دهد که مشابه اتصال با مقطع تیر IPE450، که در قسمت قبل مورد ارزیابی قرار گرفت، مجدداً نمونه شماره ۹ با پارامترهای برش ( $a = 15.75$  cm,  $b = 46.75$ ,  $c = 3.675$ ) در بین سایر مدل‌ها بهترین عملکرد را ایفا کرده است. به منظور بالا بردن دقت تحقیق در دستیابی به پارامترهای بهینه برش، پارامتر  $c$  را نیز برای نمونه شماره ۹ در دو مرحله تغییر داده و نتایج را با هم مقایسه می‌کنیم.

جدول ۷-۲۱- تعیین پارامتر بهینه  $c$  برای اتصال با مقطع تیر IPE550

ردیف	a (cm)	b (cm)	c (cm)	اتلاف انرژی (J)	وضعیت تنش ( $\gamma$ )	سختی اولیه (N/m)	برایند معیارها
۹-۱	۱۵/۷۵	۴۶/۷۵	۲/۱	۴۶۳۳۲۴	۱۰۰/۴	۵۵۷۶۰۳۱	
(درصد اختلاف) $\times$ (ضریب وزنی)				۳٪/۱۴/۲ ↓	۲٪/۸/۳۲ ↑	۱٪/۱/۸۲ ↑	٪۲۴/۱۵ ↓
۹	۱۵/۷۵	۴۶/۷۵	۳/۶۷۵	۵۲۹۱۲۱	۹۲۰/۵	۵۴۷۴۳۶۱	
(درصد اختلاف) $\times$ (ضریب وزنی)				۳٪/۱۰/۶۸ ↑	۲٪/۶/۷۴ ↑	۱٪/۲/۴۸ ↑	٪۴۷/۹۸ ↑
۹-۳	۱۵/۷۵	۴۶/۷۵	۵/۲۵	۴۷۲۶۲۹	۸۵۸/۵	۵۳۳۸۶۲۷	

با مقایسه سه نمونه با پارامترهای c متفاوت، در جدول ۷-۲۱ مشاهده می‌کنیم که مجدداً نمونه شماره ۹ با پارامترهای برش ( $a = 15.75$  cm,  $b = 46.75$ ,  $c = 3.675$ ) در بین سایر مدل‌ها بهترین عملکرد را ایفا کرده است.

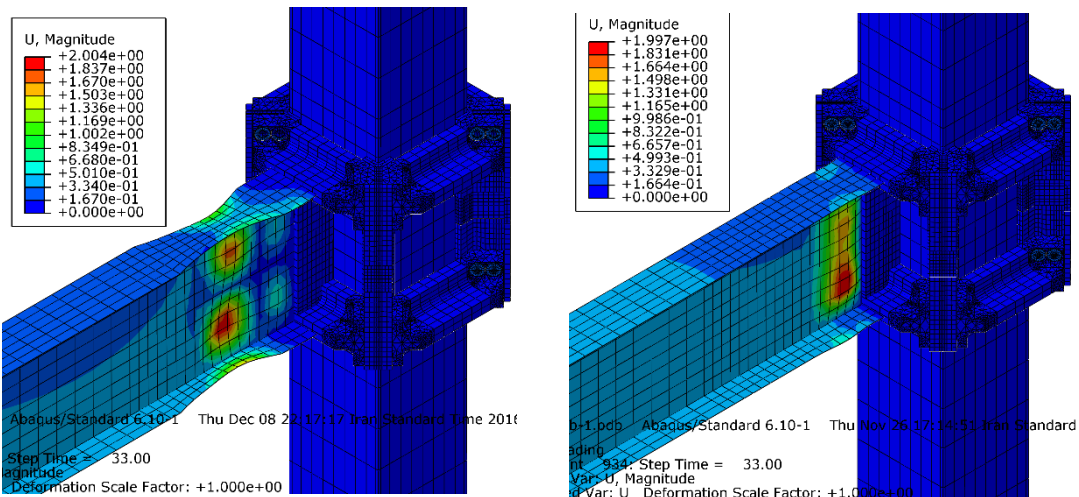


(ب)

(الف)

شکل ۷-۱۰- توزیع تنش فون میسز در اتصال با تیر IPE550، در دوران ۰/۰۵ رادیان

(الف) بدون RBS      (ب) با RBS



(ب)

(الف)

شکل ۷-۱۱- تغییر شکل اتصال با تیر IPE550، در دوران ۰/۰۵ رادیان

(الف) بدون RBS      (ب) با RBS

#### ۷-۴-۴- ارزیابی اثر کاهش در مقطع تیر (RBS) بر عملکرد اتصال

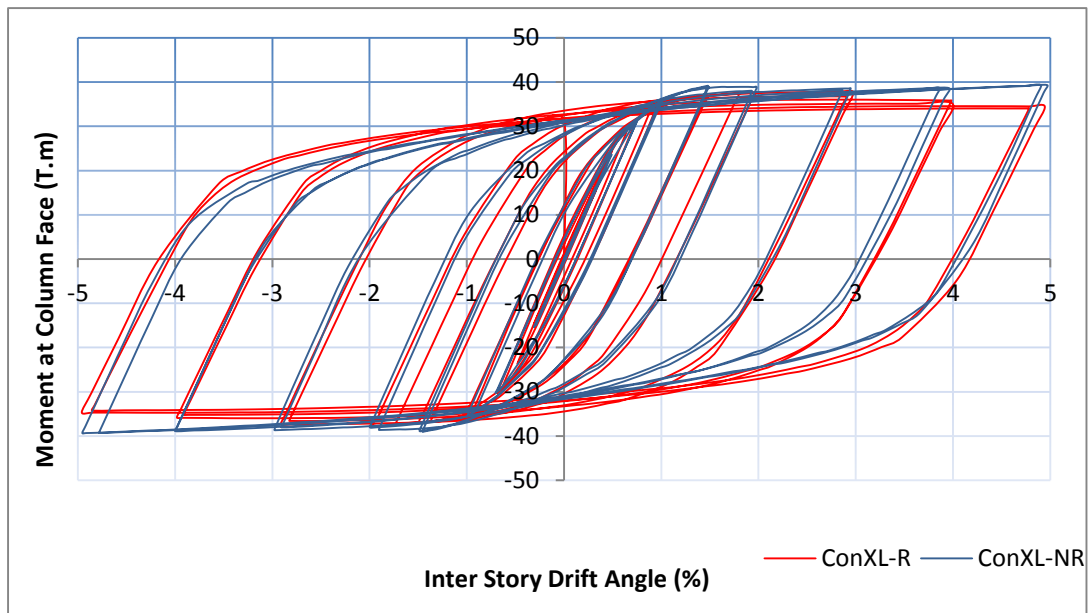
با توجه به شکل‌های ۷-۸-ب و ۷-۱۰-ب مشاهده می‌کنیم که تمرکز تنش از اتصال و چشمه اتصال دور شده و در ناحیه کاهش یافته تمرکز بیشتری یافته است. با توجه به نتایج تحلیل در جدول ۷-۲۲، اتصال RBS، با ایجاد مفصل پلاستیک در منطقه باریک شده، ضمن محافظت از اتصال، اتلاف انرژی بیشتری به ارمغان می‌آورد؛ در نتیجه عملکرد بهتری در برابر بارهای رفت و برگشتی دارد.

در شکل‌های ۷-۱۲ و ۷-۱۳ منحنی هیستریزس اتصال کان‌ایکسال با تیر، بدون RBS و با RBS نشان داده شده است. همانطور که در شکل‌ها و در جدول می‌بینیم در اتصال ConXL-R، حداکثر لنگر پلاستیک برای تیر با مقطع IPE450 و IPE550، نسبت به اتصال ConXL-NR کاهش یافته است. دلیل این امر، تضعیف مقطع بال تیر و تاثیر آن در کاهش مقاومت مقطع می‌باشد که در نتیجه باعث می‌شود تیر در ناحیه باریک شده، دچار کماتش‌های موضعی و جانبی گردد.

مشابه قبل، برابند معیارها برای اتصال با RBS و بدون RBS را محاسبه می‌کنیم. همانطور که قابل ملاحظه است، کاهش موضعی مقطع تیر، اثر قابل توجهی بر بهبود عملکرد اتصال دارد.

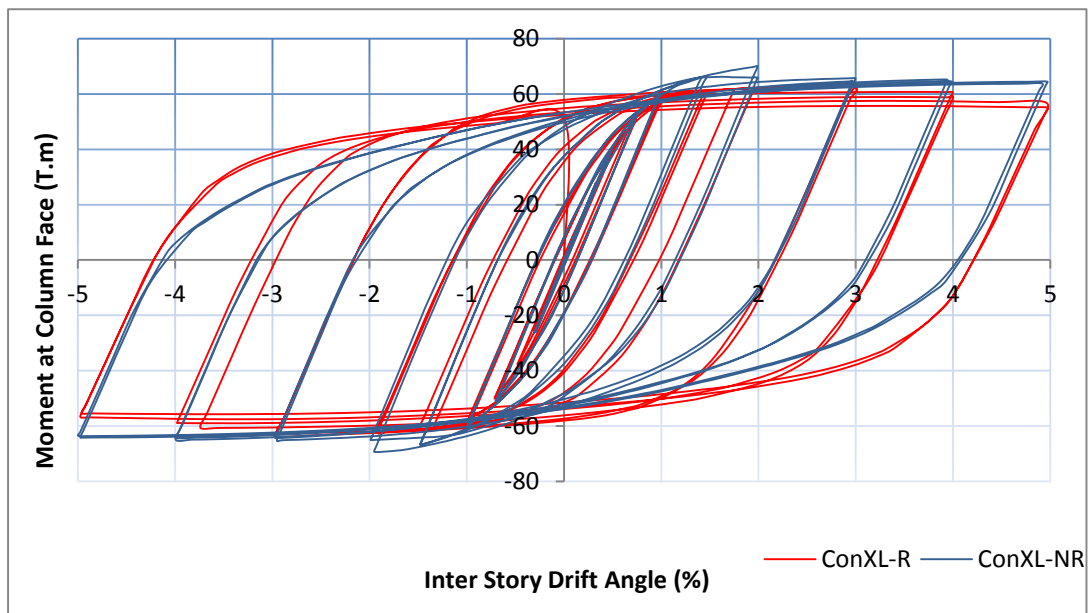
جدول ۷-۲۲- مقایسه عملکرد اتصال ConXL-R و ConXL-NR

نوع مقطع	$E_{total}$ (J)	وضعیت تنش (% $\gamma$ )	K (N/m)	برابند معیارها	$M_{max}$ (T.m)
IPE450- N-RBS	۳۰۰۳۸۱	۸۹۱	۳۳۸۳۱۲۷		۳۹/۳۳
درصد اختلاف	٪ ۰/۸۵ ↓	٪ ۲۸/۰۶ ↓	٪ ۲/۹۲ ↓	٪ ۶۱/۶ ↓	٪ ۳/۸۸ ↑
IPE450- RBS	۳۰۲۹۲۰	۱۱۴۱	۳۴۸۱۹۱۷		۳۷/۸۰
IPE550- N-RBS	۵۰۳۱۸۰	۸۱۵	۵۶۹۱۴۹۵		۶۹/۹۷
درصد اختلاف	٪ ۲/۷۷ ↓	٪ ۱۲/۹۴ ↓	٪ ۳/۸۲ ↑	٪ ۳۰/۳۷ ↓	٪ ۸/۷ ↑
IPE550- RBS	۵۱۷۱۲۱	۹۲۰/۵	۵۴۷۴۳۶۱		۶۳/۸۴



شکل ۷-۱۲- منحنی هیستریزیس اتصال ConXL-R و ConXL-NR

برای تیر با مقطع IPE450

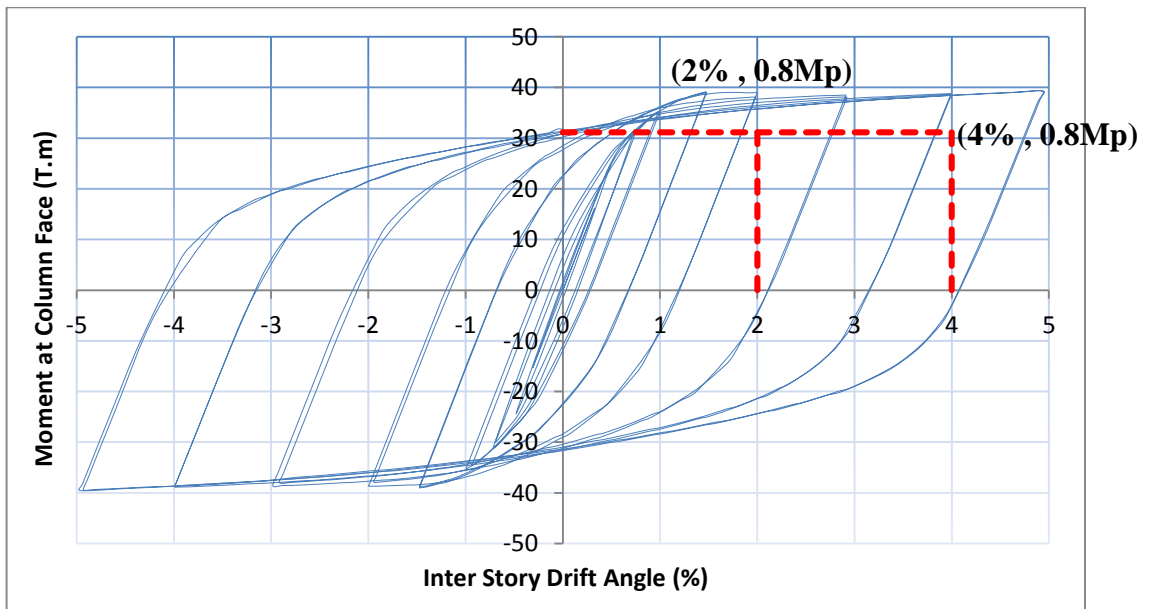


شکل ۷-۱۳- منحنی هیستریزیس اتصال ConXL-R و ConXL-NR

برای تیر با مقطع IPE550

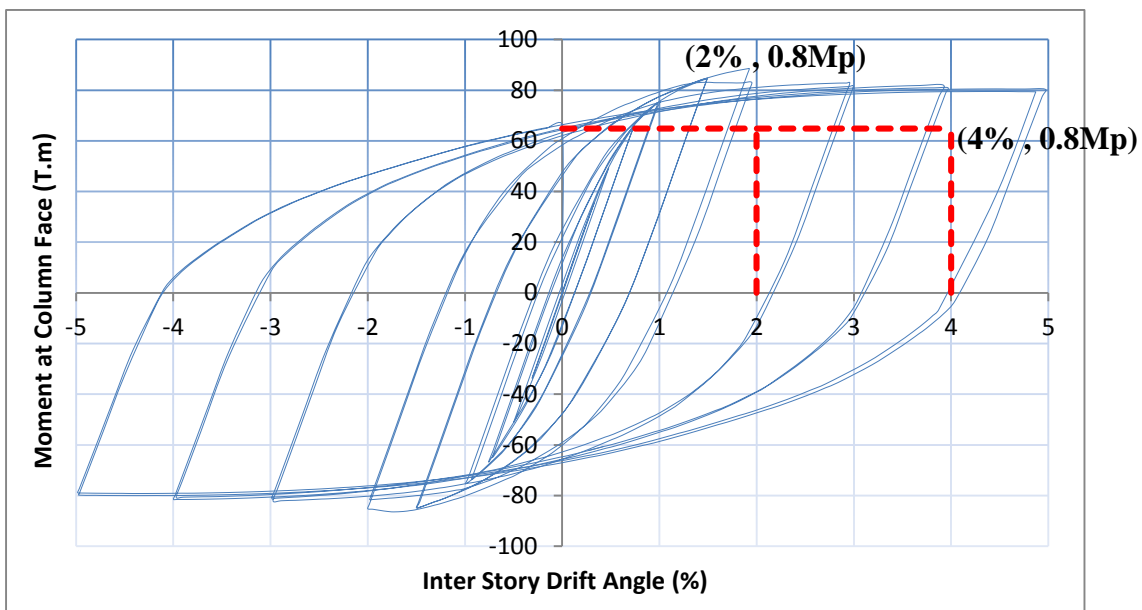
## ۷-۵- تاثیر نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها بر عملکرد اتصال

همانطور که قبلاً بیان شد تیرها با مقاطع IPE450، IPE500، IPE550، IPE600، IPB500. برای IPB550 و IPB600 اتصال کان‌ایکسال مدلسازی و آنالیز شدند. در تمامی نمونه‌ها پیچ‌ها با نیروی ۵۷۰ KN پیش‌تنیده شدند. مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، حداقل نیروی پیش‌تنیدگی برای پیچ‌های نوع A490، برابر با ۴۵۰ KN می‌باشد. سه نمونه با مقاطع تیر IPE450، IPE600 و IPB550 با حداقل نیروی پیش‌تنیدگی دوباره مدلسازی و تحلیل شدند. منحنی‌های هیستریزیس سه نمونه در شکل‌های ۷-۱۴ تا ۷-۱۶ قابل مشاهده است.

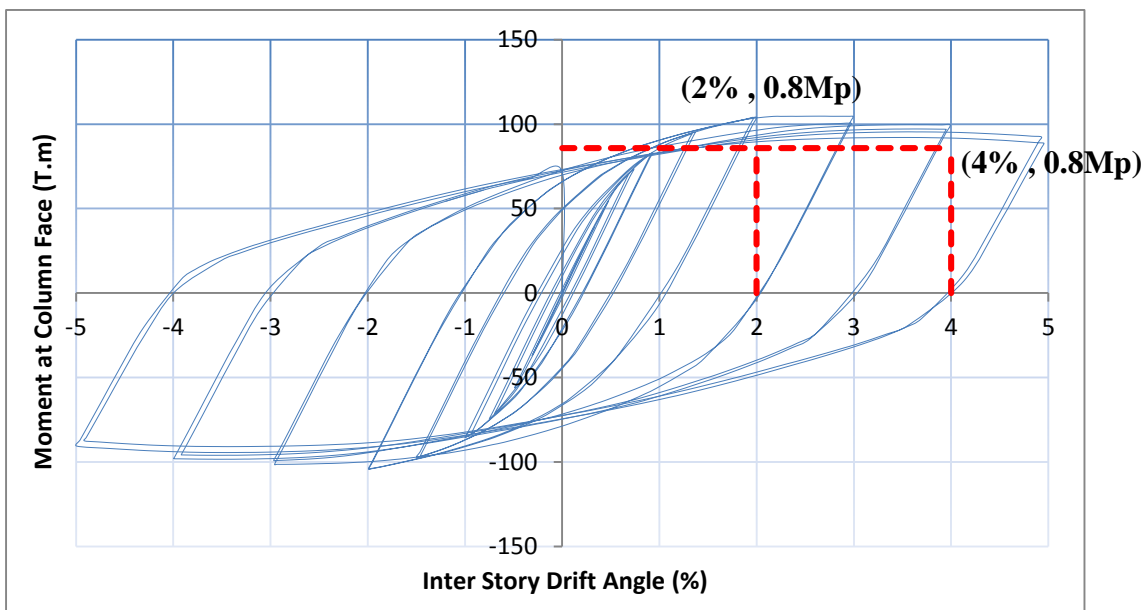


شکل ۷-۱۴- منحنی هیستریزیس اتصال تیر با مقطع IPE450 و حداقل نیروی پیش‌تنیدگی





شکل ۷-۱۵- منحنی هیستریزیس اتصال تیر با مقطع IPE600 و حداقل نیروی پیش تنیدگی



شکل ۷-۱۶- منحنی هیستریزیس اتصال تیر با مقطع IPB550 و حداقل نیروی پیش تنیدگی

جدول ۷-۲۳- مقایسه عملکرد نمونه‌ها قبل و بعد از تغییر نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها

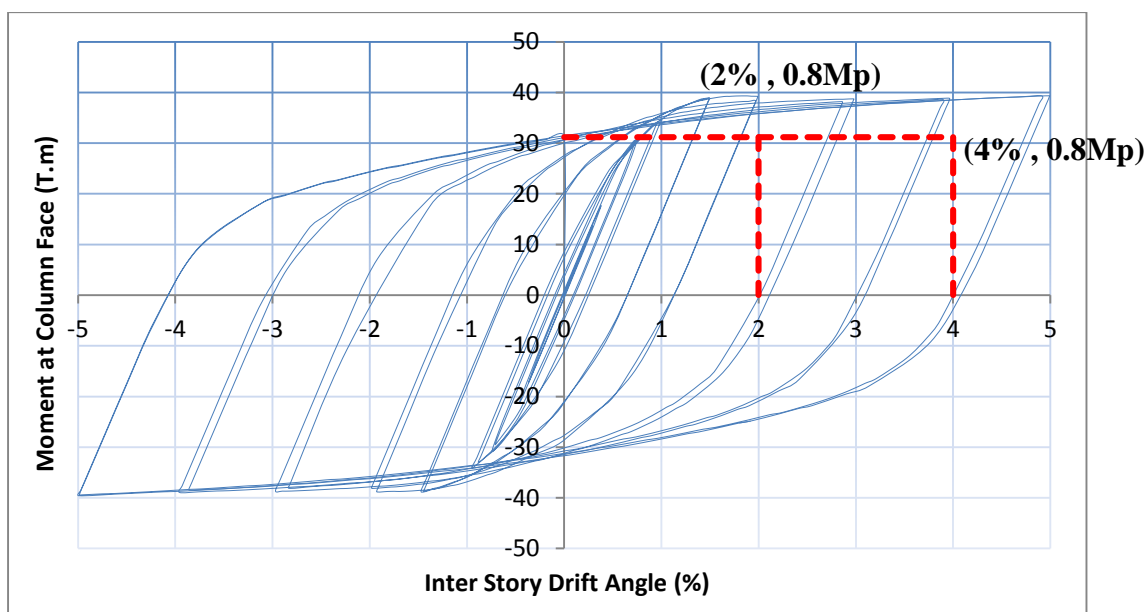
نوع مقطع	نیروی پیش‌تنیدگی (KN)	$E_{total}$ (J)	K (KN/m)
IPE450	۴۵۰	۳۰۰۰۳۲	۳۲۴۶
درصد اختلاف		٪۰/۱۲ ↓	٪۴/۲ ↓
IPE450	۵۷۰	۳۰۰۳۸۱	۳۳۸۳
IPE600	۴۵۰	۶۲۵۷۷۰	۷۱۷۱
درصد اختلاف		٪۰/۲۱ ↓	٪۰/۵۶ ↓
IPE600	۵۷۰	۶۲۷۰۸۴	۷۲۱۱
IPB550	۴۵۰	۶۸۸۵۸۰	۸۰۰۸
درصد اختلاف		٪۱/۱۸ ↓	٪۱/۱۵ ↓
IPB550	۵۷۰	۷۰۱۱۲۶	۸۱۰۰

با توجه به بررسی نمودارهای هیستریزیس نمونه‌ها، مشخص می‌شود که رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی کان‌ایکسال، برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه، با حداقل نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها نیز مناسب می‌باشد.

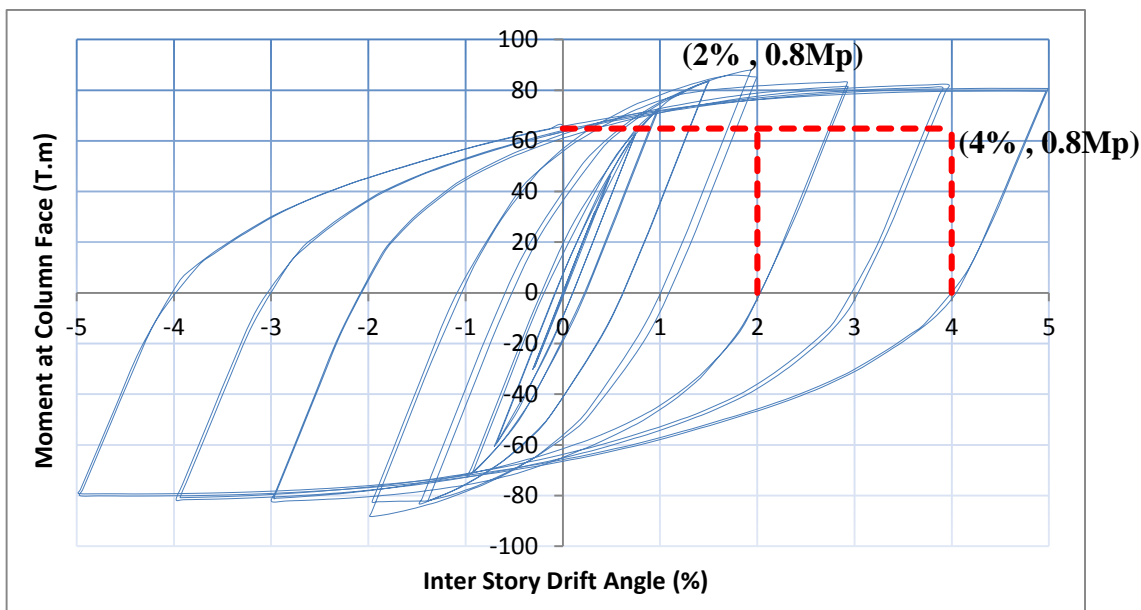
همانطور که جدول ۷-۲۳ نشان می‌دهد افزایش نیروی پیش‌تنیدگی، باعث افزایش در اتلاف انرژی و سختی اولیه نمونه‌ها می‌شود. ماکزیمم درصد افزایش در اتلاف انرژی بعد از زیاد شدن نیروی پیش‌تنیدگی، در تیر با مقطع IPB550 برابر با ۱،۸٪ و ماکزیمم افزایش سختی اولیه در تیر با مقطع IPE450، برابر با ۴،۲٪ می‌باشد. با بررسی نتایج جدول بالا می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش نیروی پیش‌تنیدگی تاثیر کمی در افزایش اتلاف انرژی و سختی اولیه نمونه‌ها دارد.

## ۶-۷- تاثیر حذف بتن پرکننده ستون بر عملکرد اتصال

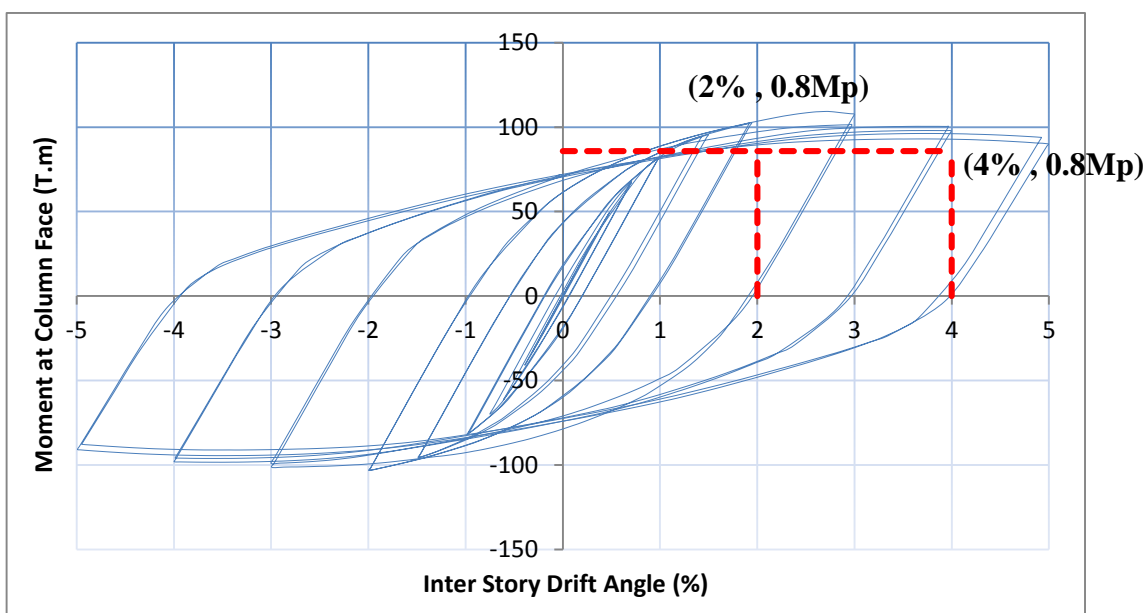
با توجه به اینکه در آیین‌نامه AISC-358 [۶] استفاده از بتن پرکننده ستون اجباری است، به کار بردن نمونه اتصالات بدون بتن پرکننده داخلی ستون و ترسیم نمودار هیستریزیس، نشان دهنده عملکرد مناسب و رفتار پایدار چرخه‌ای مدل‌ها می‌باشد. سه نمونه اتصال با مقاطع تیر IPE450، IPE600 و IPB550 بدون بتن پرکننده داخلی ستون، مدلسازی و مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۷-۱۷- منحنی هیستریزیس اتصال بدون بتن پرکننده داخلی ستون و تیر با مقطع IPE450



شکل ۷-۱۸- منحنی هیستریزیس اتصال بدون بتن پر کننده داخلی ستون و تیر با مقطع IPE600



شکل ۷-۱۹- منحنی هیستریزیس اتصال بدون بتن پر کننده داخلی ستون و تیر با مقطع IPB550

جدول ۷-۲۴- مقایسه عملکرد نمونه‌ها با بتن پرکننده داخلی و بدون بتن پرکننده داخلی ستون

نوع مقطع		$E_{total}$ (J)	K (KN/m)
IPE450	با بتن پرکننده	۳۰۰۳۸۱	۳۳۸۳
درصد اختلاف		٪۲/۵۷ ↑	٪۳/۶۶ ↑
IPE450	بدون بتن پرکننده	۲۹۲۶۵۹	۳۲۵۹
IPE600	با بتن پرکننده	۶۲۷۰۸۴	۷۲۱۱
درصد اختلاف		٪۵/۱ ↑	٪۸/۶ ↑
IPE600	بدون بتن پرکننده	۵۹۵۳۹۴	۶۵۹۳
IPB550	با بتن پرکننده	۷۰۱۱۲۶	۸۱۰۰
درصد اختلاف		٪۵/۶ ↑	٪۱۰/۹ ↑
IPB550	بدون بتن پرکننده	۶۶۱۷۲۸	۷۲۱۸

منحنی‌های هیستریزیس در شکل‌های ۷-۱۷ تا ۷-۱۹ نشان می‌دهند اتصال خمشی کان‌ایکس-

ال بدون بتن پرکننده داخلی ستون نیز برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه کاملاً مناسب است.

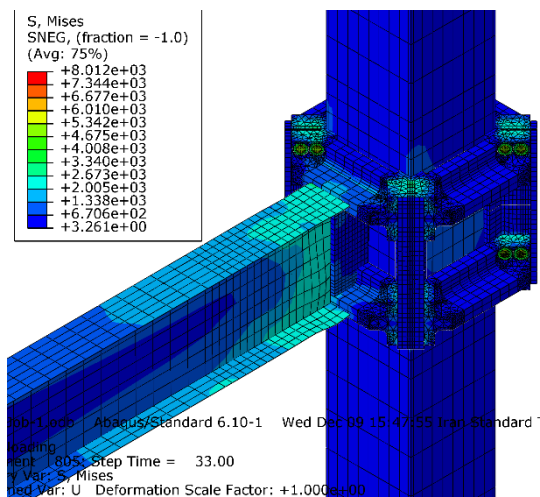
همانطور که جدول ۷-۲۴ نشان می‌دهد، در نمونه‌هایی که بتن پرکننده داخلی ستون حذف

شده، استهلاک انرژی که مهمترین معیار در ارزیابی عملکرد نمونه‌هاست، افت چشمگیری نداشته؛

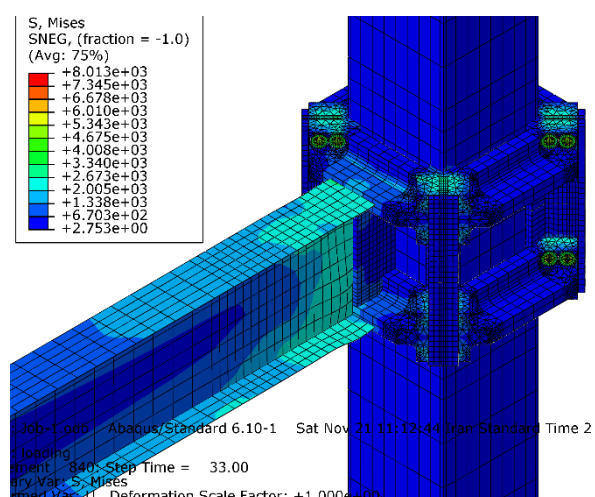
بنابراین عملکرد این نمونه‌ها، برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه قابل قبول می‌باشند.

به طور کلی می‌توان اظهار داشت، نمونه‌ها با بتن پرکننده ستون، دارای اتلاف انرژی و سختی

اولیه بیشتری نسبت به نمونه‌ها بدون بتن پرکننده ستون هستند؛ در نتیجه عملکرد بهتری دارند.



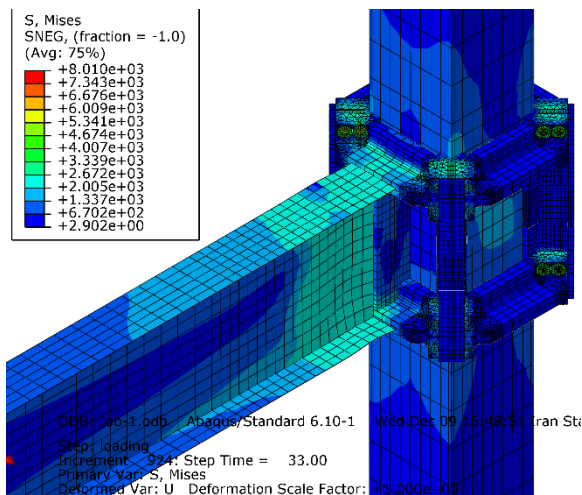
(ب)



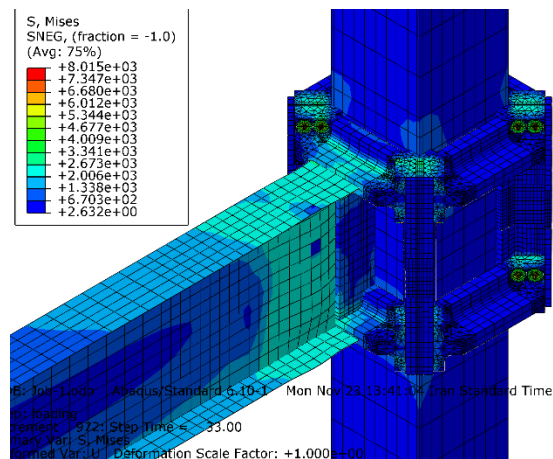
(الف)

شکل ۷-۲۰- توزیع تنش فون میسز در اتصال با تیر IPE450، در دوران ۰/۰۵ رادیان

(الف) با بتن پرکننده ستون (ب) بدون بتن پرکننده ستون



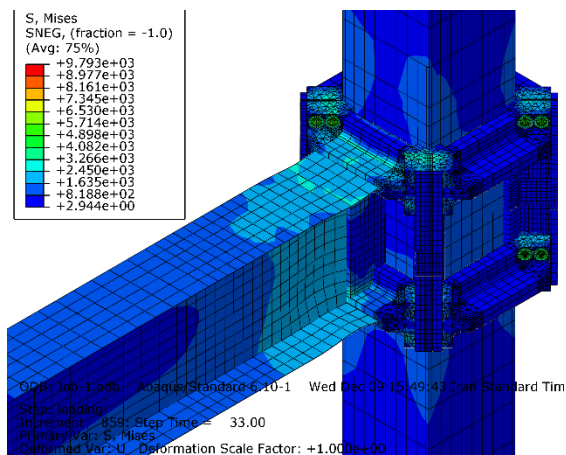
(ب)



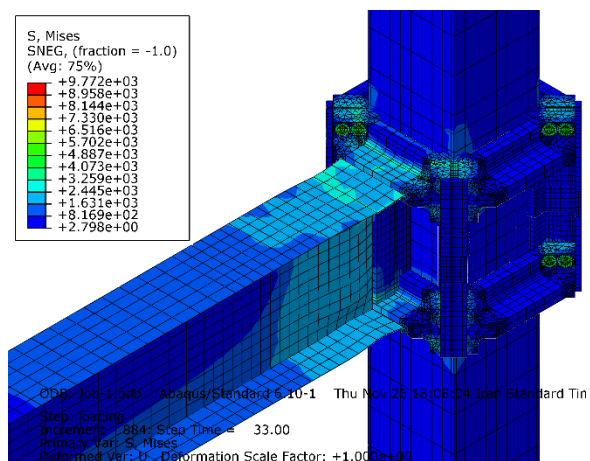
(الف)

شکل ۷-۲۱- توزیع تنش فون میسز در اتصال با تیر IPE600، در دوران ۰/۰۵ رادیان

(الف) با بتن پرکننده ستون (ب) بدون بتن پرکننده ستون

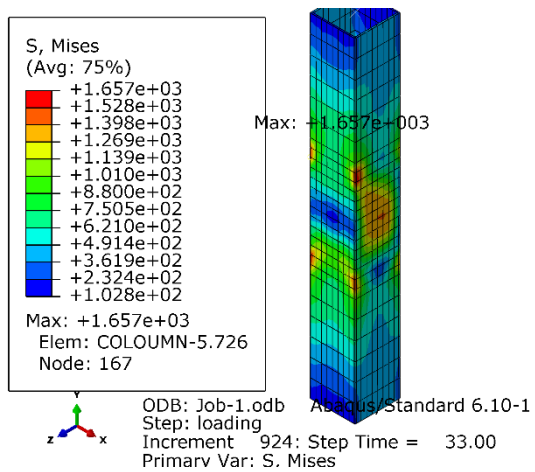


(ب)

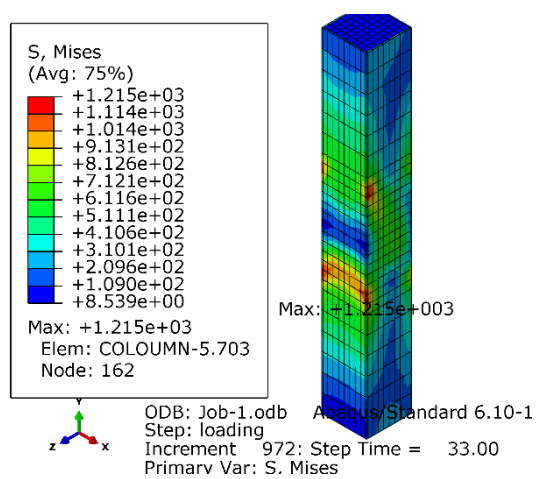


(الف)

شکل ۷-۲۲- توزیع تنش فون میسز در اتصال با تیر IPB550، در دوران ۰/۰۵ رادیان  
 (الف) با بتن پرکننده ستون (ب) بدون بتن پرکننده ستون



(ب)



(الف)

شکل ۷-۲۳- توزیع تنش فون میسز در ستون با تیر IPE600، در دوران ۰/۰۵ رادیان  
 (الف) با بتن پرکننده ستون (ب) بدون بتن پرکننده ستون





# ۸- فصل، هشتم

## نتیجہ گیری و پیشہا دہا

## ۸-۱- کلیات

هدف از ارائه این رساله، بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال صلب خمشی کان‌ایکس‌ال، برای مقاطع فولادی رایج در ایران می‌باشد که بتواند در برابر بارهای لرزه‌ای (رفت و برگشتی) عملکرد مناسبی داشته باشد. همان‌گونه که گفته شد اتصالات قدیمی در قاب‌های خمشی فولادی به دلیل ایجاد تمرکز تنش در محل چشمه اتصال، در رویارویی با بارهای تناوبی، عملکرد بسیار ضعیفی داشته و منجر به خرابی کلی سازه می‌شدند؛ به همین دلیل دو رویکرد برای اصلاح این اتصالات شکل گرفت که یکی سخت کردن اتصالات و دیگری نرم کردن آن‌ها می‌باشد. برای نرم کردن اتصالات معمولاً برش‌هایی را در مقطع تیر، در نزدیکی اتصال ایجاد می‌کنند که همین امر موجب هدایت تمرکز تنش از محل چشمه اتصال به داخل تیر می‌شود. محققین پیشین برش‌های مختلفی را امتحان کرده‌اند که در بین آنها برش شعاعی در بال تیر از لحاظ ویژگی‌های رفتاری دارای بهترین عملکرد می‌باشد. به همین جهت در ادامه به مطالعه پارامتریک تحلیلی بر روی اتصالات با کاهش موضعی در مقطع تیر، جهت دستیابی به ابعاد بهینه برش به منظور بهبود رفتار لرزه‌ای این نوع اتصال در قاب‌های خمشی فولادی پرداخته شده است. در انتها اثر میزان نیروی پیش‌تنیدگی و بتن پرکننده ستون، بر عملکرد اتصال نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۸-۲- نتایج

بررسی عددی نمونه‌ها در دو مرحله کلی انجام شده است. در مرحله اول عملکرد لرزه‌ای پروفیل‌های رایج در ایران مورد بررسی قرار گرفته است که با توجه به محدودیت‌های آیین‌نامه، تیر با مقاطع IPE450، IPE500، IPE550، IPE600، IPB500، IPB550 و IPB600 برای اتصال مجاز می‌باشند. در مرحله دوم، جهت بهبود عملکرد اتصال کان‌ایکس‌ال، اتصال با کاهش در مقطع تیر با مقاطع IPE450 و IPE550، مدل شده و سپس با تغییر پارامترهای برش، که منجر به ایجاد ۹ نمونه مختلف برای هر کدام از مقاطع شده، هندسه بهینه مقطع تیر مشخص شده است. در انتها اثر میزان نیروی

پیش‌تنیدگی و بتن پرکننده ستون، بر عملکرد اتصال با مقاطع تیر IPE450، IPE600 و IPB550 نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

این بررسی‌ها نتایج مفیدی را در پی داشته که به آنها اشاره می‌کنیم:

• مقاطع تیر آهن نیم‌پهن IPE450، IPE500، IPE550، IPE600، در ترکیب با اتصال کان-

ایکسال، برای استفاده در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه مجازند.

• مقاطع تیر آهن عریض سبک IPB500، IPB550 و IPB600، در ترکیب با اتصال کان‌ایکس-

ال، برای استفاده در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه مجازند.

• نتایج تحلیل نمونه‌ها برای یافتن هندسه بهینه مقطع تیر، نشان دادند که هر چقدر پارامتر  $a$

(فاصله برش از ستون) بیشتر شود، میزان استهلاک انرژی نمونه‌های مورد نظر به طور نسبی

افزایش پیدا می‌کند. این امر به دلیل دوری ناحیه کاهش یافته از چشمه اتصال است که منجر

به افزایش سختی ناحیه اتصال تیر به ستون شده و همین امر باعث بالا رفتن میزان استهلاک

انرژی نمونه‌ها می‌شود. (جدول ۷-۱۰ و ۷-۱۶)

• در اتصال با مقطع تیر IPE450، با بررسی ۹ نمونه مدلسازی شده با پارامترهای برش

مختلف، برای یافتن هندسه بهینه مقطع تیر، نمونه شماره ۹، با حداکثر مقادیر مجاز

پارامترهای  $a$  و  $b$ ، و مقدار متوسط پارامتر  $c$ ، دارای بهترین عملکرد می‌باشد.

پارامترهای بهینه برش:

$$a = a_{max} = 0.75b_{bf} , b = b_{max} = 0.85d , c = c_{ave} = 0.175 b_{bf}$$

• از آنجایی که نتایج حاصل شده در بخش قبلی بر اساس نمونه‌های دارای نیم‌رخ تیر با

مشخصات IPE450 صورت گرفته بود، در ادامه به منظور تعمیم نتایج به دست آمده از مرحله

قبل، مدلسازی‌ها را این بار با نیم‌رخ تیر با مشخصات IPE550 انجام دادیم. نتایج تحلیل نشان

می‌دهد که در این حالت نیز نمونه شماره ۹ با همان ابعاد برش، دارای بهترین عملکرد در بین سایر نمونه‌ها می‌باشد. این نتیجه‌ها نشان می‌دهد که این ابعاد برش مستقل از ابعاد نیمرخ تیر می‌باشد.

پارامترهای بهینه برش:

$$a = a_{max} = 0.75b_{bf} , b = b_{max} = 0.85d , c = c_{ave} = 0.175 b_{bf}$$

• همانگونه که در جدول ۷-۲۲ آمده است، اتصال RBS، با ایجاد مفصل پلاستیک در منطقه باریک شده، ضمن محافظت از اتصال، اتلاف انرژی بیشتری به ارمغان می‌آورد؛ در نتیجه عملکرد بهتری در برابر بارهای رفت و برگشتی دارد.

• در اتصال کان‌ایکسال با کاهش موضعی در مقطع بال تیر (ConXL-R)، حداکثر لنگر پلاستیک، نسبت به اتصال بدون کاهش در مقطع بال تیر (ConXL-NR) حداکثر به میزان ۸/۷٪ کاهش یافته است. دلیل این امر، تضعیف مقطع بال تیر و تاثیر آن در کاهش مقاومت مقطع می‌باشد.

• همانطور که در جدول ۷-۲۲ آمده است، ملاحظه می‌شود که نمونه ConXL-R دارای عملکرد لرزه‌ای بهتری نسبت به نمونه‌ی ConXL-NR می‌باشد و کاهش در مقطع بال تیر، اثر قابل توجهی به میزان  $\gamma = 28/06\%$  در اتصال با تیر IPE450 و  $\gamma = 12/94\%$  در اتصال با تیر IPE550، در دوری تمرکز تنش از اتصال و چشمه اتصال داشته است. ( $\gamma$  پارامتر دوری تمرکز تنش از چشمه اتصال است)

• در هر سه نمونه مدل‌سازی شده، با مقاطع تیر IPE450، IPE600 و IPB550، افزایش نیروی پیش‌تنیدگی، باعث افزایش اتلاف انرژی، حداکثر به مقدار ۱/۸٪ و افزایش سختی اولیه نمونه‌ها حداکثر به مقدار ۴/۲٪ می‌شود؛ اما از آنجایی که میزان افزایش اتلاف انرژی ناچیز است، می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش نیروی پیش‌تنیدگی، عملکرد لرزه‌ای اتصال را فقط تا حدودی بهبود می‌بخشد و تاثیر چندانی ندارد، بنابراین حداقل نیروی پیش‌تنیدگی برای این

اتصال کفایت می‌کند.

- منحنی‌های هیستریزیس ترسیم شده برای اتصال با مقاطع تیر IPE450، IPE600 و IPB550، بدون بتن پرکننده داخلی ستون، نشان می‌دهد که اتصال خمشی کان‌ایکسال بدون بتن پرکننده نیز برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه کاملاً مناسب هستند.
- تمامی نمونه‌ها با بتن پرکننده ستون، دارای اتلاف انرژی و سختی اولیه بیشتری نسبت به نمونه‌ها بدون بتن پرکننده ستون هستند؛ در نتیجه عملکرد بهتری دارند. (جدول ۷-۲۴)
- شکل‌های ۷-۲۰ تا ۷-۲۲، نشان می‌دهد بتن پرکننده ستون، باعث کم شدن تمرکز تنش از چشمه اتصال می‌شود. در این شکل‌ها مشاهده می‌شود در نمونه‌هایی که بتن نداریم، ستون در مرکز چشمه اتصال و جایی که یقه‌های گوشه به ستون متصل شده است، تنش‌های بیشتری دارد. برای بررسی دقیق‌تر بعنوان مثال، در شکل ۷-۲۳، تنش‌های ستون، با تیر IPE600، نشان داده شده است. همانطور که قابل ملاحظه است، ماکزیمم تنش در ستون بدون بتن،  $1657 \text{ kg/cm}^2$  و در نمونه با بتن،  $1215 \text{ kg/cm}^2$  می‌باشد.

### ۸-۳- پیشنهادها

- در تحقیق حاضر، جنس فولاد به کار رفته در مقاطع تیر و ستون از نوع فولاد ساختمانی رایج در ایران St37 و فولاد به کار رفته در سیستم یقه، St52 می‌باشد؛ بنابراین نتایج حاصله در این رساله بر این اساس به دست آمده است. جهت انجام تحقیقات تکمیلی می‌توان از فولاد با مقاومت‌های مختلف استفاده کرد و نتایج را با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مقایسه کرد.
- در این رساله کلیه برش‌های نمونه‌ها به صورت شعاعی در بال تیر انجام شده است. از آنجایی که تکنیک‌های مختلفی برای تضعیف تیر و ایجاد برش در آن وجود دارد می‌توان هندسه‌های دیگر برش در تیرها را نیز در نظر گرفته و کارایی این نوع برش‌ها را در این گونه اتصالات ارزیابی کرد. از انواع مختلف اینگونه برش‌ها می‌توان برش گوه‌ای شکل، برش نیم‌دایره در جان

تیر و یا برش ثابت و دوزنقه‌ای در بال تیر را نام برد.

- اتصال کان‌ایکسال تنها یکی از اتصالات صلب خمشی است که در آیین‌نامه‌های فولادی ایران جای خالی آن دیده می‌شود، اتصالات دیگری نیز وجود دارند که تحقیقات در زمینه بومی سازی آنها می‌تواند به غنی شدن آیین‌نامه‌های فولادی ایران کمک کند. از جمله این اتصالات می‌توان به اتصال Pin-Fuse اشاره کرد.

## مراجع

[1] Nakashima, M., Roeder, C.W., Maruoka, Y., 2000, "Steel Moment Frames for Earthquakes in United States & Japan", **J Struct Eng**, ASCE.

[2] Sherman, DR., 1996, "Designing with Structural Tubing", **Eng J**, AISC.

[3] FEMA-355D, 2000, "State of the Art Report on Connection Performance", Prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washaington, DC.

[4] Bree Renz, 2005, "ConXtechs Systemized Approach to Steel Construction Streamlines and Transforms Tradition Design and Construction Processes", **J Modern Steel Construction**.

[۵] گرامی م، (۱۳۸۵)، "بررسی اثر RBS در بهبود رفتار لرزه‌ای اتصالات خمشی فولادی"، دانشگاه سمنان.

[6] ANSI/AISC 358s1-11, 2011, "Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications", Chicago.

[۷] شهیدی ف، (۱۳۹۰)، "بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال خمشی ConXL با جزئیات جدید تحت بارگذاری چرخه‌ای"، سومین کنفرانس سازه و فولاد، ایران، تهران.

[8] Tremblay, R., Timlez, P., Bruneau, M. & Filiatrault, A., 1995, "Performance of Steel Structures During the 1994 Northridge Earthquake", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 22

[9] Youssef, N.F.G., Bonowitz, D. & Gross, J.H., 1995, "A Survey of Steel Moment Resisting Frame Buildings Affected by the 1994 Northridge", National Institute of Standard and Technology, Gaithersburg, MD, Report No. NISTIR 5625.

[10] FEMA-350, 2000, "Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings", Prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washaington, DC.

[11] Tsai KC, Popov EP, 1990, "Cyclic Behavior of End-Plate Moment Connections". Journal of Structural Engineering, ASCE, 2917-2930.

[12] Seradj, H., **1997**, "Ductile End Plate Connections Utilizing Plate Yielding", School of Civil Engineering and Environmental Science. University of Oklahoma. Norman. Oklahoma.

[13] Azizinamini A., **1982**, "Monotonic Response of Semi-Rigid Steel Beam to Column Connections", Columbia, University of South Carolina.

[14] Mohsen Gerami, Hamid Saberi, Vahid Saberi., **2011**, "Cyclic Behavior of Bolted Connections with Different Arrangement of Bolts", Journal of Constructional Steel Research, Elsevier, Vol. 67, 690-705.

[15] Kazuhiko Kasai, Ian Hodgson, David Bieiman, **1998**, "Rigid-Bolted Repair Method for Damaged Moment Connections", Journal of Engineering Structures, Vol. 20, 521-532.

[16] Chen, S.J., **1996**, "A Simple and Effective Retrofit Method for Steel Beam to Column Connection", Seventh US-Japan Workshop on the Improvement of Structural Design and Construction Practices, Applied Technology Council, Redwood City, California.

[17] Chen, S.J., **1999**, "Design of Ductile Steel Beam to Column Connection for Seismic Resistance", Workshop on Design Technology of Earthquake Resistant Moment Resisting Connection, Taipei, Taiwan.

[18] Engelhardt, M.D., **1998**, "Design Recommendations for Radius Cut Reduced Beam Section Moment Connection", Unpublished Report Based on Presentation to AISC Annual Convention.

[19] ANSI/AISC 341-10, **2010**, "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction; Inc , Chicago

[20] FEMA-355A, **2000**, "State of the Art Report on Base Metals and Fracture", Prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

[۲۱] مقررات ملی ساختمان، "مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی"، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی

ساختمان، وزارت تحقیقات مسکن و شهرسازی، تهران، نشر توسعه ایران، ۱۳۹۲

[22] Engelhardt, M.D., Fry, G., Johns, S., Venti, M., and Holliday, S., **2000**, "Behavior and Design of Radius Cut", Reduced Beam Section Connections, SAC Report 00/17, SAC Joint Venture.



[23] ABAQUS User Manual Version 6.10.1.

[۲۴] عین‌آبادی ه، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه ارشد: "تعیین ابعاد بهینه اتصال RBS جهت بهبود رفتار لرزه‌ای قاب خمشی فولادی"، دانشکده عمران، دانشگاه شاهرود.

## **Abstract**

Following the Northridge earthquake of 1994, a significant number of steel moment resisting structural systems were damaged. Several studies have been conducted to improve the seismic performance of steel structures and specially their beam to column connections. One of the proposed connections for special moment resisting frames included AISC-358 is ConXL moment connection. the collar systems of ConXL moment connection are precast steel elements. In this study the seismic behavior of ConXL moment connections with Iranian steel sections has been investigated. Also one of the Research purposes is identify optimum geometry of reduced beam section in ConXL moment connection. According to assumed criteria that includes: energy dissipation, distance between plastic hinge and panel zone, and preliminary stiffness of connection. Also the effect of filling concrete and pretension force in bolts has been investigated.

**Keywords:** Northridge earthquake, ConXL Moment Connection, Seismic Performance, Reduced Beam Section.



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Civil Engineering**

**Investigation and Improvement of Seismic Performance of Con-  
XL Moment Connection for Iranian Steel Section's**

**Maryam Moghimi**

**Supervisor :**

**Dr. Vahid Reza Kalatjari**

**February 2016**