

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران و معماری

گروه عمران

عنوان پایان نامه :

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

دانشجو :

احمد گریوانی

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر وحیدرضا کلات جاری

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

بہ او کہ نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، سکوت، مهربانی...

پدرم راه تمام زندگیست

پدرم دین خوشی، همیشگیست

تقدیم بہ مادر عزیزتر از جانم

مادرم، ہستی من ز، ہستی تو ست، تا، ہستم و، ہستی دارم تو ست

نگہسار جاودانی مادر است

چشم سار مہربانی مادر است

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 می نمایم...

همچنین از، همسر مهربانم، خانم مهندس مریم مقیمی صمیمانه قدردانی می نمایم....

تعهد نامه

اینجانب **احمد گریوانی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران (سازه) دانشکده مهندسی عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "بررسی و بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال صلب خمشی کایزر، 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 ۱۳۹۴ / ۱۱ / ۲۶

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 نورثریج 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 کایزر (KBB) 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 کایزر در ترکیب با مقاطع فولادی رایج در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین سه راهکار برای بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال کایزر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که برخی مقاطع ایرانی مجاز به استفاده با اتصالات کایزر نیستند. از بین سه راهکار مطرح شده برای بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال کایزر، راهکار افزودن ورق‌های پیوستگی اضافه در چشمه اتصال موثرتر بوده است.

کلمات کلیدی: زلزله نورثریج، اتصال خمشی کایزر، عملکرد لرزه‌ای، مقاطع فولادی ایرانی، ورق پیوستگی.

لیست مقاله‌های استخراج شده از پایان‌نامه :

(۱) بررسی اثر میزان پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، بر عملکرد لرزه‌ای اتصال صلب خمشی کایزر

چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه‌های نوین، ایران، یاسوج

(۲) بررسی اثر بزرگ‌شدگی چشمه اتصال، بر عملکرد لرزه‌ای اتصال صلب خمشی کایزر

چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه‌های نوین، ایران، یاسوج

(۳) بررسی اثر مهاربندی جانبی تیر، بر میزان جذب انرژی اتصال صلب خمشی کایزر

کنفرانس ملی مهندسی معماری، عمران و توسعه شهری، ایران، بابل

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه و طرح مسأله

۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- هدف تحقیق	۵
۱-۳- روش تحقیق	۵
۱-۴- محتوای پایان نامه	۶

فصل دوم : بررسی عملکرد اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی

۲-۱- مقدمه (نقش اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی فولادی)	۸
۲-۲- رفتار شکل‌پذیر و ترد در اتصالات	۸
فصل سوم : مروری بر تحقیقات انجام شده	۱۵

فصل چهارم : معرفی اتصال صلب خمشی کایزر

۴-۱- کلیات	۲۲
۴-۲- محدودیت‌ها در اتصال کایزر	۲۲
۴-۲-۱- ضوابط تیرها	۲۲
۴-۲-۲- ضوابط ستون	۲۴
۴-۲-۳- محدودیت‌های براکت	۲۵
۴-۲-۴- محدودیت‌ها در روابط تیر-ستون	۲۵
۴-۲-۵- محدودیت‌های اتصال براکت به بال ستون	۲۵
۴-۲-۶- محدودیت‌های اتصال براکت به بال تیر	۲۶
۴-۲-۷- محدودیت‌های اتصال جان تیر به ستون	۲۷
۴-۳- روش طراحی	۲۸

فصل پنجم : مدل‌سازی عددی و صحت‌سنجی نمونه‌های عددی

۵-۱- مقدمه	۳۸
۵-۲- هندسه مدل‌ها	۳۸
۵-۳- المان‌های مورد استفاده در مدل‌سازی	۳۹
۵-۴- مش‌بندی	۴۲

۴۳	۵-۵- شرایط مرزی مدل ها
۴۴	۵-۶- بارگذاری
۴۵	۵-۷- رفتار مصالح
۴۶	۵-۸- مراحل انجام مدل سازی در نرم افزار آباکوس
۴۶	۵-۸-۱- مرحله اول : ماژول Part
۴۷	۵-۸-۲- مرحله دوم : ماژول Property
۵۰	۵-۸-۳- مرحله سوم : ماژول Assembly
۵۱	۵-۸-۴- مرحله چهارم : ماژول Step
۵۳	۵-۸-۵- مرحله پنجم : ماژول Interaction
۵۶	۵-۸-۶- مرحله ششم : ماژول Load
۵۸	۵-۸-۷- مرحله هفتم : ماژول Mesh
۶۰	۵-۸-۸- مرحله هشتم : ماژول Job
۶۱	۵-۸-۹- مرحله نهم : ماژول Visualization
۶۲	۵-۹- صحت سنجی و مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی

فصل ششم : ارائه مثال های عددی و ارزیابی نتایج

۶۶	۶-۱- کلیات
۶۶	۶-۲- بررسی عملکرد پروفیل های فولادی رایج در ایران به منظور تأیید یا رد کاربرد آنها با اتصال خمشی کایزر
۶۸	۶-۲-۱- بررسی مقاطع تیر آهن نیم پهن IPE و تیر آهن عریض IPB سبک همراه با اتصال کایزر سری W ..
۷۶	۶-۲-۲- بررسی مقاطع تیر آهن عریض IPB سبک همراه با اتصال کایزر سری B
۷۹	۶-۳- بررسی اثر نیروی پیش تنیدگی بر عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر
۷۹	۶-۳-۱- بررسی اثر نیروی پیش تنیدگی بر روی نمونه های دارای کایزر سری W
۸۳	۶-۳-۲- بررسی اثر نیروی پیش تنیدگی بر روی نمونه های دارای کایزر سری B
۸۷	۶-۴- بررسی اثر افزودن ورق های پیوستگی اضافه در چشمه اتصال (بزرگ شدگی چشمه اتصال) بر عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر
۸۸	۶-۴-۱- بررسی اثر افزودن ورق های پیوستگی اضافه (بزرگ شدگی چشمه اتصال) بر عملکرد نمونه های دارای کایزر سری W

۶-۴-۲- بررسی اثر افزودن ورق‌های پیوستگی اضافه (بزرگ‌شدگی چشمه اتصال) بر عملکرد نمونه‌های دارای کایزر سری B ۹۲

۶-۵-۵- بررسی اثر ضریب اصطکاک بر عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر ۹۶

۶-۵-۱- بررسی اثر ضریب اصطکاک بر عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر در نمونه‌های دارای کایزر سری W ۹۷

۶-۵-۲- بررسی اثر ضریب اصطکاک بر عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر در نمونه‌های دارای کایزر سری B ۱۰۰

۶-۶- ارزیابی فیزیکی مدل‌های ساخته شده با مقاطع رایج در ایران ۱۰۴

فصل هفتم : نتایج و پیشنهادها

۷-۱- مقدمه ۱۱۲

۷-۲- نتایج ۱۱۲

۷-۲-۱- جداول کاربردی ۱۱۵

۷-۳- پیشنهادها ۱۲۱

مراجع ۱۲۲

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: تفاوت کایزر سری W و سری B ۴
- شکل ۱-۲: اتصال بدون تقویت تیر به ستون ۹
- شکل ۲-۲: تنش برشی - تنش در راستای طولی بال تیر ۱۰
- شکل ۳-۲: نمودار تنش-کرنش برای المان‌های دور (B) و نزدیک (A) محل اتصال ۱۰
- شکل ۴-۲: انتقال محل ایجاد تنش ماکزیمم از نقطه A به نقطه B ۱۲
- شکل ۵-۲: اتصال صلب خمشی کایزر ۱۲
- شکل ۶-۲: نمونه‌هایی از برش‌های مختلف در اتصال با مقطع کاهش یافته ۱۳
- شکل ۷-۲: پارامترهای برش شعاعی ۱۳
- شکل ۱-۳: شکل هندسی براکت اتصال KBB ۱۹
- شکل ۱-۴: جدول ۹-۱ آیین‌نامه ANSI/AISC-358 ۲۸
- شکل ۲-۴: جدول ۹,۳ آیین‌نامه AISC-358 ۳۳
- شکل ۳-۴: جدول ۹,۲ آیین‌نامه AISC-358 ۳۵
- شکل ۱-۵: هندسه پاره‌سازه‌ی اتصال یکطرفه در مدل‌سازی نمونه‌ها ۳۹
- شکل ۲-۵: انواع المان‌های مورد استفاده در نرم‌افزار آباکوس ۴۰
- شکل ۳-۵: المان‌های C3D با درونیابی مرتبه اول و دوم ۴۱
- شکل ۴-۵: اشکال سه‌بعدی که می‌توان برای آنها از مش‌بندی Structure استفاده کرد ۴۲
- شکل ۵-۵: تاریخچه بارگذاری استاندارد طبق آیین‌نامه AISC-341-2010 ۴۵
- شکل ۶-۵: پنجره‌های مورد استفاده برای ترسیم قطعات مختلف و ایجاد برش ۴۶
- شکل ۷-۵: نمونه‌ای از براکت پیچی و تیر ترسیم شده و برش خورده در ماژول Part ۴۷
- شکل ۸-۵: تعریف وزن واحد حجم مصالح ۴۸
- شکل ۹-۵: تعریف خصوصیات رفتار الاستیک مصالح ۴۸
- شکل ۱۰-۵: تعریف خصوصیات رفتار پلاستیک مصالح ۴۹
- شکل ۱۱-۵: اختصاص مصالح به قطعه‌های ترسیم شده ۴۹
- شکل ۱۲-۵: نمونه‌ای از مدل‌های مونتاژ شده در ماژول Assembly ۵۰
- شکل ۱۳-۵: گام‌های تعریف شده برای اعمال بارگذاری به مدل ۵۱

- شکل ۵-۱۴: تنظیمات اطلاعات مورد نیاز از آنالیز مدل توسط نرم افزار ۵۲
- شکل ۵-۱۵: تعیین نوع تعامل بین سطوح ۵۴
- شکل ۵-۱۶: تعیین خصوصیات رفتار مماسی بین دو سطح ۵۴
- شکل ۵-۱۷: تعیین خصوصیات رفتار عمود بر سطح بین دو سطح ۵۵
- شکل ۵-۱۸: رفتار اصطکاکی تعریف شده بین بال تیر و پاشنه‌ی کایزر ۵۵
- شکل ۵-۱۹: اعمال بار پیش‌تنیدگی بر پیچ‌ها ۵۶
- شکل ۵-۲۰: اعمال جابجایی به انتهای تیر ۵۷
- شکل ۵-۲۱: پارتیشن‌بندی قطعات برای سهولت در مش‌بندی ۵۸
- شکل ۵-۲۲: مش‌بندی قطعات پس از پارتیشن‌بندی و ایجاد Seed ۵۹
- شکل ۵-۲۳: نحوه تعریف Job برای انجام تحلیل، و استفاده از کلید Monitor ۶۰
- شکل ۵-۲۴: نمایش تنش فون‌میسز برای یکی از نمونه‌ها در ماژول Visualization ۶۱
- شکل ۵-۲۵: مدل‌سازی عددی نمونه‌های آزمایشگاهی ۶۲
- شکل ۵-۲۶: منحنی هیستریزیس نمونه‌های عددی و آزمایشگاهی ۶۳
- شکل ۶-۱: منحنی هیستریزیس نمونه‌های عددی دارای کایزر سری W ۷۲
- شکل ۶-۲: منحنی هیستریزیس نمونه‌های عددی دارای کایزر سری B ۷۷
- شکل ۶-۳: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، تحت نیروهای پیش‌تنیدگی مختلف ۸۰
- شکل ۶-۴: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، تحت نیروهای پیش‌تنیدگی مختلف ۸۱
- شکل ۶-۵: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، تحت نیروهای پیش‌تنیدگی مختلف ۸۵
- شکل ۶-۶: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، تحت نیروهای پیش‌تنیدگی مختلف ۸۵
- شکل ۶-۷: تفاوت نمونه‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ در اتصالات دارای کایزر سری W ۸۷
- شکل ۶-۸: تفاوت نمونه‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ در اتصالات دارای کایزر سری B ۸۸
- شکل ۶-۹: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ ۹۰
- شکل ۶-۱۰: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ ۹۱
- شکل ۶-۱۱: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ ۹۴
- شکل ۶-۱۲: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ ۹۵
- شکل ۶-۱۳: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های کلاس اصطکاکی A و B ۹۸
- شکل ۶-۱۴: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های کلاس اصطکاکی A و B ۹۹

- شکل ۶-۱۵ : منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های کلاس اصطکاکی A و B ۱۰۱
- شکل ۶-۱۶ : منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های کلاس اصطکاکی A و B ۱۰۲
- شکل ۶-۱۷ : توزیع تنش Von-Mises در نمونه‌های عددی دارای کایزر سری W در گام پایانی بارگذاری.. ۱۰۷
- شکل ۶-۱۸ : توزیع تنش Von-Mises در نمونه‌های عددی دارای کایزر سری B در گام پایانی بارگذاری.. ۱۰۹
- شکل ۷-۱ : نمای شماتیک براکت‌های کایزر سری W ۱۱۸
- شکل ۷-۲ : نمای شماتیک براکت‌های کایزر سری B ۱۱۹
- شکل ۷-۳ : نحوه استفاده از اتصالات کایزر در ترکیب با ستون‌های قوطی شکل ۱۲۰

فهرست جداول

جدول ۱-۵ : مشخصات مصالح مورد استفاده در مدل سازی ها	۴۵
جدول ۲-۵ : مشخصات نمونه های آزمایشگاهی انتخاب شده برای صحت سنجی	۶۲
جدول ۱-۶ : مشخصات نمونه های دارای کایزر سری W	۶۸
جدول ۲-۶ : میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه های دارای کایزر سری W	۷۳
جدول ۳-۶ : مشخصات نمونه های دارای کایزر سری B	۷۶
جدول ۴-۶ : میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه های دارای کایزر سری B	۷۸
جدول ۵-۶ : مشخصات نمونه های انتخابی دارای کایزر سری W برای تغییر نیروی پیش تنیدگی	۷۹
جدول ۶-۶ : میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه های با پیش تنیدگی متفاوت، و دارای کایزر سری W	۸۲
جدول ۷-۶ : مشخصات نمونه های انتخابی دارای کایزر سری B برای تغییر نیروی پیش تنیدگی	۸۳
جدول ۸-۶ : میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه های با پیش تنیدگی متفاوت، و دارای کایزر سری B	۸۶
جدول ۹-۶ : مشخصات نمونه های انتخابی برای بررسی اثر بزرگ شدگی چشمه اتصال در نمونه های دارای کایزر سری W	۸۹
جدول ۱۰-۶ : میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه های دارای کایزر سری W همراه با چشمه اتصال کوچک و بزرگ	۹۱
جدول ۱۱-۶ : تاثیر چشمه اتصال بزرگ در نمونه های دارای کایزر سری W	۹۲
جدول ۱۲-۶ : مشخصات نمونه های انتخابی برای بررسی اثر بزرگ شدگی چشمه اتصال در نمونه های دارای کایزر سری W	۹۳
جدول ۱۳-۶ : میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه های دارای کایزر سری B همراه با چشمه اتصال کوچک و بزرگ	۹۵
جدول ۱۴-۶ : تاثیر چشمه اتصال بزرگ در نمونه های دارای کایزر سری B	۹۶
جدول ۱۵-۶ : مشخصات نمونه های انتخابی برای بررسی اثر ضریب اصطکاک، در نمونه های دارای کایزر سری W	۹۷
جدول ۱۶-۶ : میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه های دارای کلاس اصطکاکی متفاوت	۹۹
جدول ۱۷-۶ : مشخصات نمونه های انتخابی برای بررسی اثر ضریب اصطکاک، در نمونه های دارای کایزر سری B	۱۰۰
جدول ۱۸-۶ : میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه های دارای کلاس اصطکاکی متفاوت	۱۰۲

- جدول ۱-۷ : براکت کایزر مناسبِ سری W برای تیرهای IPE و IPB ۱۱۵
- جدول ۲-۷ : براکت کایزر مناسبِ سری B برای تیرهای IPB ۱۱۶
- جدول ۳-۷ : مشخصات کلی براکت‌های سری W و B ۱۱۷
- جدول ۴-۷ : مشخصات براکت‌های سری W ۱۱۷
- جدول ۵-۷ : مشخصات براکت‌های سری B ۱۱۸

۱- فصل اول

مقدمه و طرح مسأله

ایران کشوری زلزله خیز می باشد و ایجاد سازه های مقاوم در برابر زلزله اهمیت فراوانی دارد. با توجه به فراوانی استفاده از سازه های فولادی در ایران باید نسبت به توسعه سازه های فولادی مقاوم در مقابل زلزله و اصلاح اشکالات موجود توجه خاصی مبذول داشت. فولاد به دلیل مقاومت بالا در تحمل کشش و فشار و همچنین خاصیت شکل پذیری و رفتار مشابه در کشش و فشار به طور وسیعی در سازه های رایج مورد استفاده قرار می گیرد و به همین دلیل تاکنون مطالعات وسیعی در مورد رفتار این گونه سازه ها صورت گرفته است.

زلزله نورث ریج به دلیل تحولاتی که در روند طراحی اتصالات گیردار جوشی در سازه های فولادی ایجاد کرد، نقطه عطفی در تاریخ اتصالات سازه های فولادی محسوب می شود. طراحی اتصالات ممانگیر فولادی که مطابق آئین نامه های رایج سازه های فولادی طرح شده بود با مشاهده گسیختگی ترد و شکننده در این نوع اتصالات در زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج دچار بی اعتباری گشت. به طور کلی می توان گفت که طراحی اتصالات از زمان وقوع این زلزله به دو دسته تقسیم شد:

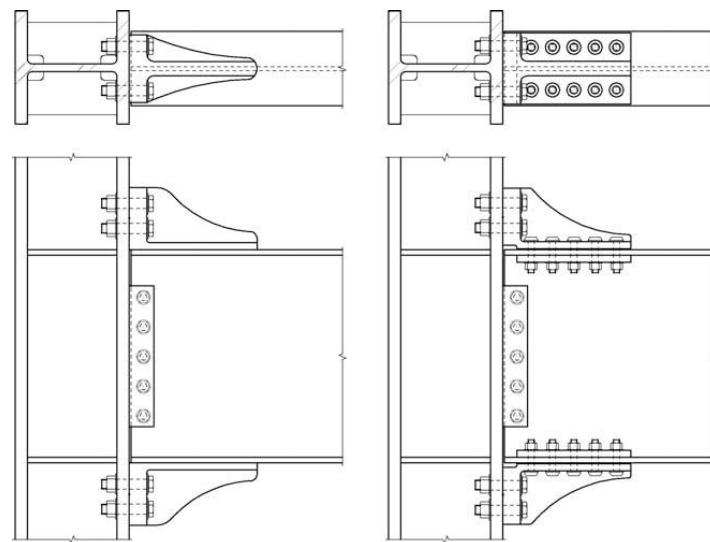
اتصالات Pre - Northridge

اتصالات Post- Northridge

از اوایل سال ۱۹۶۰ میلادی مهندسين شروع به استفاده از ساختمان های فلزی قاب خمشی جوشی کردند که در آیین نامه ها به عنوان شکل پذیرترین سیستم سازه ای مطرح می شد. اتصالات در سازه های قاب خمشی نقش عضو باربر جانبی نیروی زلزله را ایفا می کنند. پیش از زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج مهندسين بر این باور بودند که اتصالات خمشی متعارف بکاربرده شده در سازه های فلزی قاب خمشی دارای این قابلیت هستند که دوران پلاستیک بزرگی تا میزان ۰,۰۲ رادیان و یا بیشتر را تحمل کنند، بدون اینکه کاهش چشم گیری در میزان مقاومت آنها حاصل شود. حتی بسیاری از آنها تصور می کردند که ساختمان های فلزی قاب خمشی در برابر زلزله آسیب ناپذیر هستند و احیاناً در صورت وجود آسیب

و خرابی، این خرابی‌ها تنها محدود به جاری شدن اعضا و اتصالات (که شکل‌پذیر فرض می‌شدند) می‌شود و فروریزش در برابر بارهای ناشی از زلزله غیرممکن تصور می‌شد. با این باور، تعداد زیادی از سازه‌های صنعتی، تجاری و آموزشی به خصوص در غرب آمریکا با استفاده از این سیستم باربر لرزه‌ای جانبی طراحی و ساخته شدند. زلزله‌ای که در ۱۷ ژانویه سال ۱۹۹۴ در آمریکا رخ داد، این باور مهندسين را به چالش واداشت. چنانکه گزارش‌های مربوط به گسترده‌ی آسیب‌دیدگی اتصالات ساختمان‌های فولادی پس از زلزله‌ی نورثریج، به وضوح وجود نقایص اساسی در طراحی و شیوه‌های ساخت قاب‌های خمشی فولادی را به اثبات رساند و برای مهندسين آشکار شد که اتصالات قاب خمشی فولادی به آن اندازه‌ای که تصور می‌شد شکل‌پذیر نیستند. اتصالات فاقد شکل‌پذیری کافی بودند، به عبارت دیگر قادر به فراهم آوردن ظرفیت چرخش پلاستیک کافی نبودند و لذا دچار گسیختگی ترد می‌شدند. ساختمان‌های آسیب دیده، دامنه بسیار وسیعی از یک طبقه تا ۲۶ طبقه و ساختمان‌های با عمر حدود ۳۰ سال تا سازه‌های در حال ساخت را شامل می‌شد. این ساختمان‌های آسیب دیده در ناحیه جغرافیایی وسیعی پخش شده بودند و حتی شامل مناطقی که سطح زلزله متوسطی را تجربه کرده بودند نیز می‌شد. مشاهدات عینی نشان داد که تعداد زیادی از این خرابی‌ها در سازه‌های مختلف، مشابه هستند. به همین علت تحقیقاتی در مورد آسیب‌های احتمالی به ساختمان‌ها در زلزله‌های پیش از زلزله نورثریج صورت گرفت و خرابی‌های مشابه‌ای در ساختمان‌های با قاب خمشی تحت زلزله‌های سال ۱۹۹۲ الاندرز و سال ۱۹۸۹ لوماپریتا مشاهده گردید. البته ساختمان‌های قاب خمشی فولادی آسیب دیده در زلزله نورثریج هدف اصلی آیین‌نامه‌های طراحی را برآورده کرده بودند. اما آن گونه که پیش‌بینی می‌شد رفتار نکرده بودند و ضررهای اقتصادی زیادی ناشی از خرابی اتصالات بوجود آمده بود. این در حالی بود که خیلی از این ساختمان‌ها زلزله‌ای کمتر از زلزله طرح را تجربه کرده بودند. این ضررهای اقتصادی شامل هزینه‌های مستقیم مربوط به بررسی و تعمیر خرابی‌ها و هزینه‌های غیر مستقیم شامل از دست دادن موقت یا طولانی مدت فضاهای ساختمانی آسیب دیده بود.

در سال‌های اخیر اتصالات جدیدی در آیین‌نامه‌های معتبر ساختمانی نظیر آیین‌نامه AISC-358 معرفی شده است، نظیر اتصالات ^۱KBB، ConXL، ConXR، که عموماً به صورت ریخته‌گری در کارخانه تولید می‌شوند. در این پایان‌نامه اتصال صلب خمشی کایزر (KBB) که بعنوان یکی از اتصالات مناسب برای استفاده در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه مطرح شده، مورد مطالعه قرار گرفته است. اتصال کایزر از لحاظ تجاری در انحصار شرکت "ICF Kaiser Engineering" است. این اتصال، اتصالی کارخانه‌ای بوده که بصورت ریخته‌گری تولید می‌گردد و از صلبیت بالایی نسبت به سایر اتصالات، نظیر اتصال ورق انتهایی، سپری و ... برخوردار است. اتصال کایزر به دو نوع کلی تقسیم‌بندی می‌شود، کایزر سری W، و کایزر سری B. تفاوت اصلی این دو نوع اتصال در نحوه اتصال آنها به بال تیر است، در کایزر سری W اتصال براکت به بال تیر با استفاده از جوش گوشه صورت می‌گیرد، اما در کایزر سری B این اتصال توسط پیچ تامین می‌گردد. در هر دو نوع کایزر اتصال براکت به بال ستون بوسیله پیچ انجام می‌شود. شکل ۱-۱ تفاوت این دو نوع اتصال را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: تفاوت کایزر سری W و سری B

۱ . Kaiser Bolted Bracket

۱-۲- هدف تحقیق

همانطور که اشاره شد، با توجه با استفاده گسترده سازه‌های فولادی در ایران و اینکه ایران از لحاظ لرزه‌خیزی در زمره کشورهای زلزله‌خیز جهان قرار دارد، همچنین با در نظر گرفتن مسائل اجرایی پروژه‌های عمرانی در ایران، علی‌الخصوص 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 به تازگی مورد بازبینی قرار گرفته‌اند و تغییراتی اساسی در آنها به چشم می‌خورد، اما با این وجود هنوز فقدان اتصالاتی همچون اتصال کایزر در آیین‌نامه‌های ایران دیده می‌شود که لزوم مطالعه روی این نوع اتصالات و به نحوی بومی سازی آنها برای مصالح فولادی و مقاطع فولادی رایج در ایران را روشن می‌سازد.

در این رساله قصد داریم گامی در راستای بومی‌سازی اتصال کایزر (KBB) و انتقال آن از آیین‌نامه‌ی AISC-358 به آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های فولادی داخلی انجام دهیم و در روندی منطقی به خروجی‌هایی برسیم که تا حد امکان مهندسی بوده و به سهولت برای مهندسين قابل بهره‌برداری باشد. بررسی رفتار لرزه‌ای این اتصال و همچنین تلاش برای بهبود عملکرد لرزه‌ای آن مد نظر است. از آنجا که هندسه این اتصال در انحصار شرکت "ICF Kaiser Engineering" است، برای بهبود عملکرد اتصال از ایده‌هایی همچون تغییر در میزان نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، بهره‌گیری از ورق‌های پیوستگی اضافه در چشمه اتصال، و نیز تغییر کلاس سطوح فولادی از نظر ضریب اصطکاک بهره گرفته شده است.

۱-۳- روش تحقیق

روش تحقیق، روش عددی "اجزاء محدود غیر خطی" می‌باشد. روند کار بدین گونه است که پس از صحت‌سنجی مدل عددی با نمونه‌های آزمایشگاهی و اطمینان از صحت نتایج حاصله، مدل‌های عددی مورد نظر ایجاد گردیده و تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار می‌گیرند. بار اعمالی به صورت کنترل

تغییر مکان در انتهای تیر اعمال می‌شود. همچنین برای آنالیز اجزاء محدود غیرخطی از نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS version 6.10.1 استفاده شده است.

۴-۱- محتوای پایان‌نامه

در این پایان‌نامه با توجه به نیازها و ضروریات مطرح شده در بخش قبل، عملکرد اتصال صلب خمشی تیر به ستون (با بکار گیری مقاطع رایج در ایران) با استفاده از اتصال کایزر بررسی می‌شود. خلاصه‌ای از مطالب ارائه شده در فصول مختلف پایان‌نامه در این قسمت آورده شده است :

در فصل دوم مباحثی در رابطه با عملکرد اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی مطرح شده است.

در فصل سوم مروری بر کارهای پیشینیان صورت پذیرفته است.

در فصل چهارم به معرفی اتصال صلب خمشی کایزر پرداخته شده است.

فصل پنجم به نحوه مدلسازی نمونه‌ها در نرم‌افزار آباکوس و نیز صحت‌سنجی آنها اختصاص دارد.

در فصل ششم به ارائه مثال‌های عددی و ارزیابی نتایج پرداخته شده است.

نهایتاً در فصل هفتم خلاصه نتایج و پیشنهادها ارائه شده است.

۲- فصل دوم

بررسی عملکرد اتصال تیر به ستون

در قاب های خمشی

۲-۱- مقدمه (نقش اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی فولادی)

یکی از رایج‌ترین سیستم‌های مقاوم در برابر نیروی زلزله، سیستم قاب خمشی مقاوم است که در این سیستم وظیفه جذب نیروی زلزله بر عهده سختی ستون‌ها و تیرهای تشکیل دهنده قاب‌های ساختمانی است. قاب‌های خمشی فولادی به سبب دارا بودن خصوصیات مختلف، مانند انطباق مناسب با معماری، شکل‌پذیری مناسب و درجه نامعینی بالا همواره بعنوان یک گزینه سازه‌ای مناسب مطرح بوده‌اند.

سختی قاب‌های خمشی فولادی، تابعی از سختی تیرها و ستون‌های قاب و همچنین سختی اتصال میان تیرها و ستون‌ها می‌باشد. با تغییر شکل جانبی قاب، این زمینه وجود دارد که زاویه میان تیر و ستون تغییر یابد، اما سختی اتصال مانع ایجاد تغییر زاویه شده و موجب ایجاد لنگر و برش در تیرها و ستون‌های سازه می‌شود.

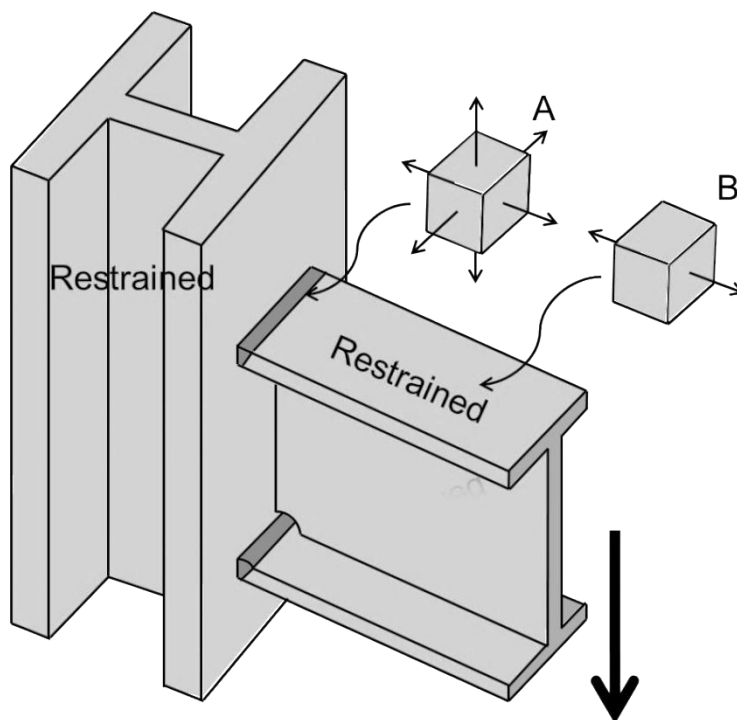
شکل‌پذیری قاب‌های خمشی فولادی معمولاً ناشی از تشکیل مفصل پلاستیک خمشی در انتهای تیرهای سازه می‌باشد. اجتناب از ایجاد مفصل پلاستیک در ستون‌ها عمدتاً به دلیل جلوگیری از ایجاد طبقه نرم در سازه و حفظ پایداری کلی ساختمان می‌باشد. به منظور هدایت روند تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها و مصون داشتن ستون‌ها از تغییر شکل‌های پلاستیک، محدوده اتصال باید از سختی و مقاومت مناسبی برخوردار باشد.

با توجه به مطالب بالا، عملکرد اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی فولادی، نقشی اصلی و اساسی در رفتار لرزه‌ای قاب خواهد داشت.

۲-۲- رفتار شکل‌پذیر و ترد در اتصالات [۱]

یکی از منابع ایجاد شکل‌پذیری در قاب‌ها، تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها می‌باشد. برای ایجاد مفصل پلاستیک در تیرها، باید رفتار تیرها در محل ایجاد ماکزیمم تنش، دارای شکل‌پذیری باشد. بنابراین ابتدا به بررسی رفتار شکل‌پذیر و ترد در نواحی مختلف تیر پرداخته می‌شود.

اتصال بدون تقویت تیر به ستون در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. در این شکل دو المان (المان A , B) مشخص شده است. المان A در محل جوش متصل کننده ی بال تیر به بال ستون قرار دارد، در نتیجه جابجایی این نقطه در راستای عرض بال تیر ($\varepsilon_1 = 0$) و نیز در راستای ضخامت بال تیر ($\varepsilon_2 = 0$) مقید است. با توجه به روابط الاستیسیته، در نقطه A در راستای عرض بال تیر و ضخامت بال تیر تنش ایجاد می شود (در این نقطه تنش سه محوره ایجاد می گردد).

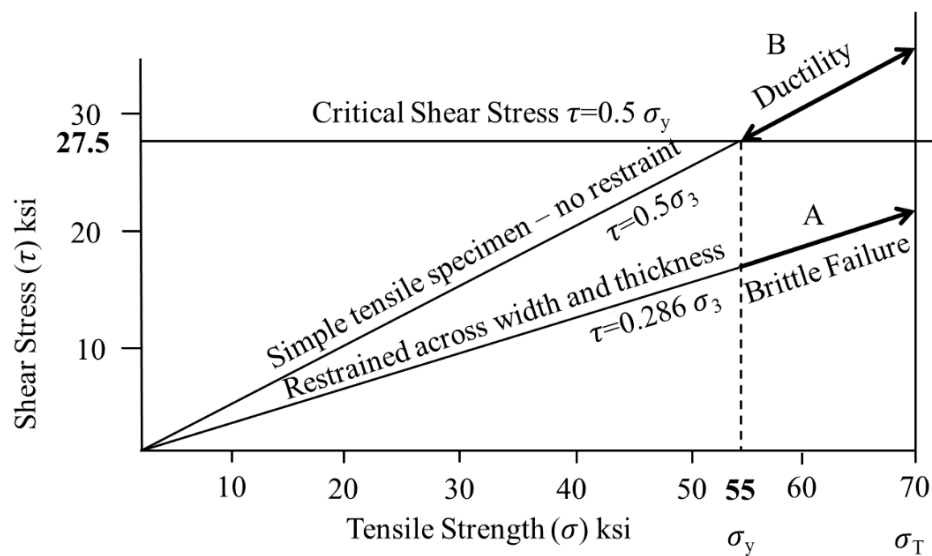


شکل ۱-۲: اتصال بدون تقویت تیر به ستون [1]

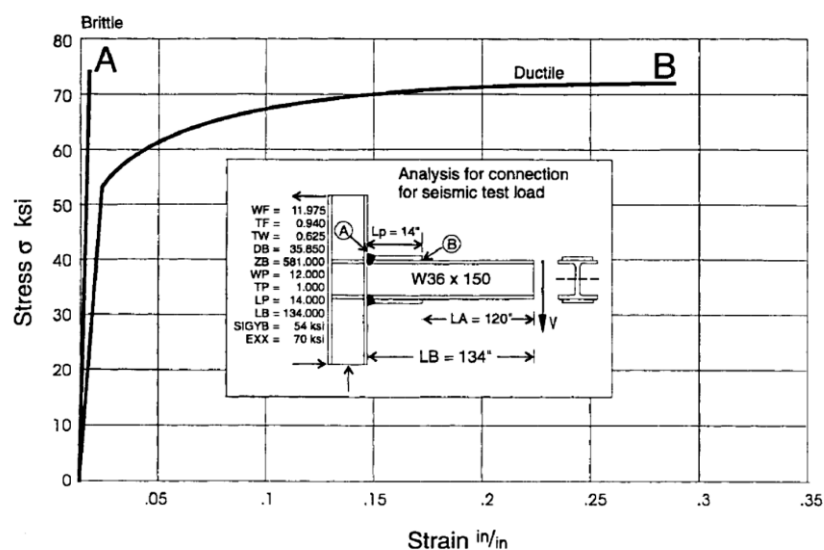
المان B روی بال تیر و دور از محل اتصال قرار دارد، در نتیجه هیچ قیدی در برابر جابجایی این نقطه در راستای عرض بال تیر و ضخامت بال تیر وجود ندارد. بنابراین المان موجود در این نقطه فقط تحت تنش تک محوری در راستای طولی بال تیر قرار می گیرد.

نمودار مربوط به "تنش برشی (τ) - تنش در راستای طولی بال تیر (σ)" برای المان های A و B در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، المان تحت تنش تک محوری (المان

(B) رفتار شکل پذیری از خود نشان می‌دهد. زیرا مقدار تنش برشی موجود در این المان، در حالت تنش نهائی از تنش برشی بحرانی ($\tau = \frac{1}{2} \sigma_y$) بیشتر است. اما در مورد المان تحت تنش سه محوری (المان A) رفتار ترد مشاهده می‌شود. زیرا مقدار تنش برشی موجود در این المان، در حالت تنش نهائی از مقدار تنش بحرانی کمتر می‌باشد. در ضمن برای مشاهده بهتر رفتار شکل‌پذیر یا ترد این دو المان، نمودار تنش-کرنش این دو المان در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲: تنش برشی - تنش در راستای طولی بال تیر [۱]

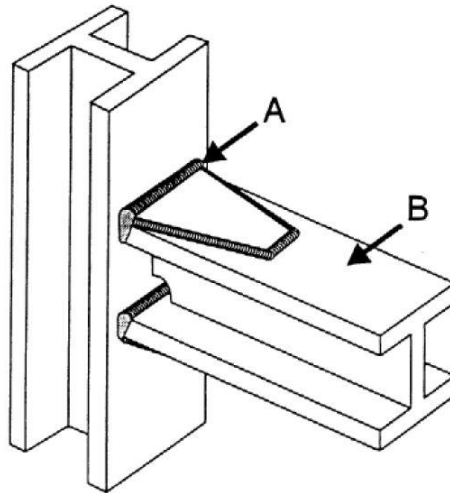


شکل ۲-۳: نمودار تنش-کرنش برای المان‌های دور (B) و نزدیک (A) محل اتصال [۱]

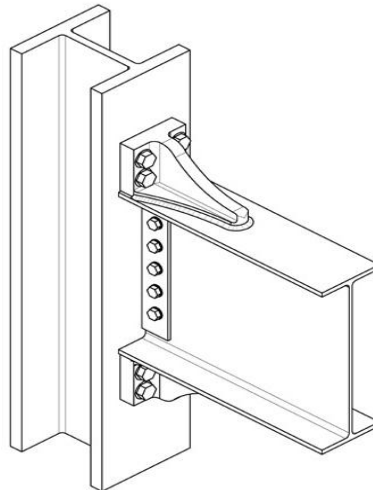
با توجه به مطالب بالا مشخص است که فولاد در نزدیکی محل اتصال دارای رفتار ترد می‌باشد ولی با دور شدن از محل اتصال، رفتار فولاد شکل‌پذیر می‌شود. از طرفی لنگر ماکزیمم تحت اثر نیروی زلزله در محل اتصال تشکیل می‌شود. بنابراین برای اتصال تقویت نشده تیر به ستون، ماکزیمم تنش در محل اتصال ایجاد می‌شود که به علت رفتار ترد فولاد در این منطقه، ممکن است گسیختگی ترد در اتصال تقویت نشده تیر به ستون ایجاد شود. بنابراین باید محل ایجاد ماکزیمم تنش را از محل اتصال دور کرد. این کار از دو طریق انجام می‌شود: ۱- تقویت تیر در محل اتصال، ۲- کاهش مقطع تیر در فاصله مناسبی از محل اتصال (تضعیف تیر در فاصله مناسبی از محل اتصال)

الف- تقویت تیر در محل اتصال :

برای تقویت تیر در محل اتصال از روش‌های مختلفی مانند ورق پوششی، لچکی و... استفاده می‌شود. با این کار محل ایجاد تنش ماکزیمم به فاصله مناسبی دور از محل اتصال منتقل می‌گردد و بعلا شکل‌پذیر بودن رفتار فولاد در فواصل دور از محل اتصال، امکان ایجاد مفصل پلاستیک در تیر بوجود می‌آید. بعنوان مثال در شکل ۲-۴ مشاهده می‌شود که با استفاده از ورق پوششی محل ایجاد تنش ماکزیمم از نقطه A به نقطه B منتقل می‌گردد [۱]. در نتیجه در اتصال با ورق پوششی مفصل پلاستیک در تیر در انتهای ورق پوششی تشکیل می‌شود. یکی از نوین‌ترین روش‌های تقویت تیر در محل اتصال به ستون، استفاده از اتصال صلب خمشی کایزر است [۲] که تا حد زیادی تضمین‌کننده انتقال مفصل پلاستیک از بر ستون به سمت میانه دهانه تیر می‌باشد (شکل ۲-۵).



شکل ۴-۲: انتقال محل ایجاد تنش ماکزیمم از نقطه A به نقطه B

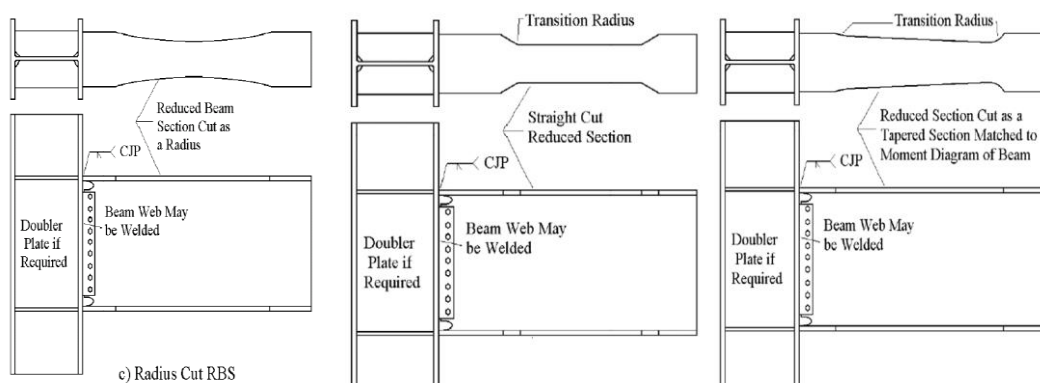


شکل ۵-۲: اتصال صلب خمشی کایزر

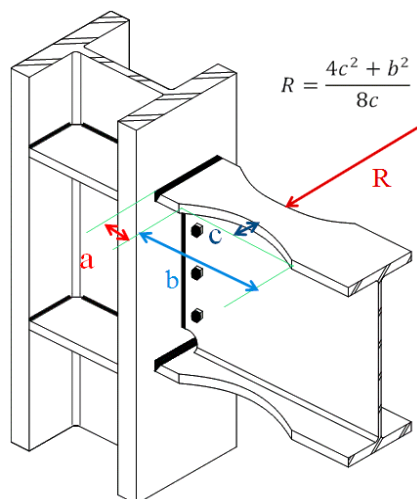
ب- کاهش مقطع تیر در فاصله مناسبی از محل اتصال (RBS) [۳]:

در این اتصال مقطع تیر بوسیله کاهش عرض بال در فاصله‌ای مشخص از ناحیه اتصال تیر به ستون کاهش داده می‌شود، به این ترتیب پدیده تسلیم در ناحیه کاهش یافته از تیر تحت لنگری کمتر از تقاضای غیر الاستیک رخ می‌دهد (واضح است که به علت کاهش مقطع از ظرفیت خمشی تیر کاسته می‌شود). این فیوز، اتصال را در مقابل گسیختگی زود هنگام محافظت می‌کند. البته پتانسیل کم‌انرژی پیمشی - جانبی تیر به خاطر کاهش سختی پیمشی تیر در ناحیه تشکیل مفصل پلاستیک

افزایش می‌یابد و لذا نیاز به مهاربندی تیر در این ناحیه است. چنانچه این مهاربندی جانبی صورت پذیرد، در آن صورت ظرفیت دوران پلاستیک مناسبی در اتصال ایجاد خواهد شد. برش‌های هندسی مختلف برای مقطع کاهش یافته مورد بررسی قرار گرفته که بهترین آنها برش شعاعی است که بر اساس مطالعات تجربی بدست آمده است. دقت اجرای صحیح برش اهمیت بسیار زیادی دارد، و عدم آن باعث شکست ترد می‌گردد. در شکل ۶-۲ نمونه‌هایی از برش‌های مختلف مربوط به این اتصال و در شکل ۷-۲ پارامترهای برش شعاعی نمایش داده شده است.



شکل ۶-۲: نمونه‌هایی از برش‌های مختلف در اتصال با مقطع کاهش یافته



شکل ۷-۲: پارامترهای برش شعاعی

۳- فصل سوم

مروری بر تحقیقات انجام شده

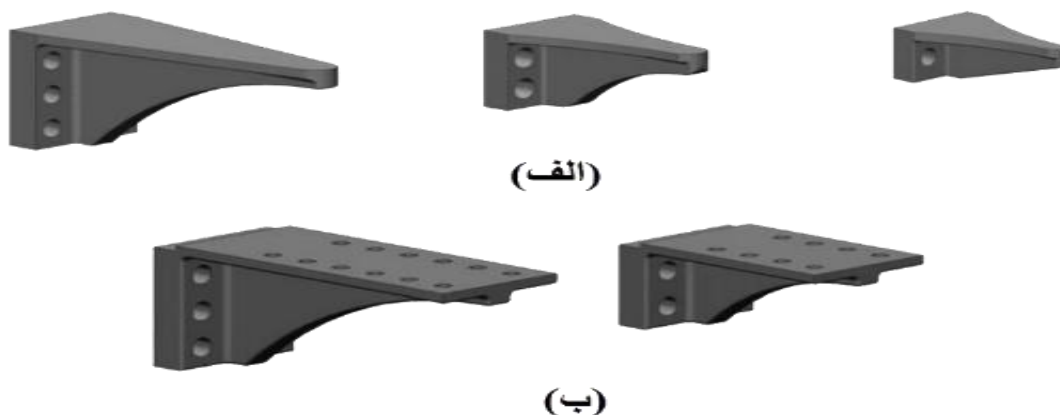
پس از زلزله سال ۱۹۹۴ نورث ریج کالیفرنیا که سبب آسیب دیدن بسیاری از سیستم‌های قاب خمشی فولادی گردید، توجه به قابلیت اعتماد در فرآیند طراحی سازه‌ها افزایش یافت [۴]. آسیب‌های به وجود آمده عموماً در محل اتصال تیر به ستون رخ داده بود، زیرا در آنها ظرفیت دوران غیر ارتجاعی اتصال کمتر از ظرفیت غیر ارتجاعی اعضای قاب بود [۴، ۵، ۶]. این گسیختگی‌ها شامل، گسیختگی‌های غیر شکل‌پذیر در ریشه جوش شیار با نفوذ کامل (CJP) در محل اتصال بال تیر به ستون، بال تیر و مقطع میانی ستون بوده است [۵، ۶]. پس از این زلزله تحقیقات زیادی در خصوص بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصالات صورت پذیرفت. در این میان می‌توان به مطالعات "Tsai" و "Popove" [۷] اشاره کرد که بهبود عملکرد لرزه‌ای اتصال End-Plate سخت‌کننده‌دار را با استفاده از پیچ‌های قوی‌تر، تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد بررسی قرار دادند. 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. "Seradj" [۸] با انجام آزمایش بر روی اتصال End-Plate هشت – پیچی دارای سخت‌کننده تحت بار چرخه‌ای، نشان داد که سختی این اتصال به ضخامت ورق انتهایی و قطر پیچ‌های متصل کننده به ستون وابسته است. همچنین نشان داد که نازک‌تر کردن ورق انتهایی و افزایش قطر پیچ سبب ایجاد رفتار نیمه صلب در اتصال مذکور می‌گردد.

"Adey" و همکاران [۹] دریافتند که در اتصال End-Plate، استفاده از سخت‌کننده اضافی، مقاومت خمشی و دوران جاری شدگی و همچنین ظرفیت اتلاف انرژی اتصال را افزایش می‌دهد. "Shi" و همکاران [۱۰] اتصال تیر به ستون با End-Plate پیچی و ستون‌ها و تیرهای جوش شده با ورق را تحت بارگذاری چرخه‌ای آزمایش کردند، نتایج نشان داد که هر دو سخت‌کننده‌های ورق انتهایی و سخت‌کننده‌های بال ستون، سهم اساسی در رفتار اتصال خمشی End-Plate دارند. سخت‌کننده‌های ورق انتهایی با حصول اطمینان از پیوستگی جان تیر، مدل گسیختگی اتصال را تغییر

می‌دهند و سبب تغییر در توزیع نیروی پیچ‌ها می‌شوند و در نهایت سبب تغییر مؤلفه‌های مد تغییر شکلی اتصال می‌گردند [۱۱]. نتایج تمام بررسی‌ها نشان می‌دهد که وجود سخت‌کننده‌ها در وجه خارجی اتصال End-Plate تأثیر زیادی بر رفتار لرزه‌ای این اتصال دارد. بنابراین در طراحی کل اتصال End-Plate باید مشارکت سخت‌کننده‌ها به علت تغییر در خواص مکانیکی اتصال، مورد توجه واقع شود. "Azizinamini" و همکاران [۱۲] مطالعات آزمایشگاهی در خصوص رفتار اتصال نبشی نشیمن زیر سری و بالاسری تحت بارگذاری چرخه‌ای و بارگذاری یکنواخت (مونوتونیک) انجام دادند. "Astaneh - Asl" و "Shen" [۱۳] مطالعات آزمایشگاهی متعددی در خصوص الگوی تغییر شکل و مد گسیختگی اتصال نبشی پیچ شده انجام دادند. "Kishi" و همکاران [۱۴] این اتصالات را با استفاده از روش اجزاء محدود مورد بررسی قرار دادند، آنها در ارزیابی کاربردی خود روابط پارامتری سه‌گانه‌ای برای پیش‌بینی رفتار اتصال نیمه صلب ارائه کردند. مدل اجزاء محدود آنها دارای مصالح غیر خطی برای تمامی مؤلفه‌ها بود و ضریب اصطکاک $0/1$ فرض شده بود، که این مقدار یک سوم مقدار در نظر گرفته شده برای سطح فولاد کلاس "A" از نظر زبری است. (در آیین‌نامه AISC Load and Resistance Factor Design Specification برای سطح فولاد کلاس "A" این مقدار $0/33$ در نظر گرفته شده است). "Gerami" و همکاران [۱۵] 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 [۱۶] در مطالعات آزمایشگاهی اتصالی شبیه به اتصال نبشی زیر و بالاسری همراه با سخت‌کننده و نوار برشگیر جان، تحت بار چرخه‌ای را مورد آزمایش قرار دادند. این آزمایش برای تیرهایی با ارتفاع 406 میلیمتر تا 914 میلیمتر 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 براکت پیچی در دانشگاه "Lehigh" گردید. "Adan" و همکاران [۱۷، ۱۸] نوعی از اتصالات صنعتی برگرفته از ایده براکت‌های پیچی را توسعه دادند و نام آن را اتصال خمشی براکت پیچی کایزر^۱ "KBB" نهادند. بعدها به منظور افزایش کیفیت، جوش از آن حذف گردید و آن را به صورت ریخته‌گری از فولاد پرمقاومت ساختند. آنها مطالعاتی در خصوص رفتار لرزه‌ای این اتصال انجام دادند. برای این منظور هفت مدل از اتصال KBB با مقیاس کامل مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفت. این بررسی‌ها به منظور در نظر گرفتن این اتصال برای موارد بهسازی و طراحی سازه‌های نوین صورت گرفت. "Uang" و همکاران [۱۹] رفتار چرخه‌ای اتصال KBB را بررسی کردند، آنها چندین مدل آزمایشگاهی با مقیاس کامل، همراه با چندین مدل عددی را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی‌ها عملکرد چرخه‌ای این اتصال مناسب ارزیابی شد. همچنین بالغ بر چهل مدل واقعی با مقیاس کامل و چندین مدل عددی به منظور بررسی رفتار چرخه‌ای این اتصال برای تیرها و ستون‌های مختلف توسط کمیته تدوین آیین‌نامه AISC و گروه "ICF Kaiser Engineering" صورت گرفت، که عموماً در این آزمایش‌ها از بارگذاری چرخه‌ای آیین‌نامه‌های ANSI/AISC-341 و ATC-24 استفاده شده بود. در نهایت در سال ۲۰۱۰ این اتصال به عنوان اتصالی مناسب برای سیستم‌های قاب خمشی ویژه (SMF) و سیستم‌های قاب خمشی متوسط "IMF" در آیین‌نامه ANSI/AISC-358 آورده شد [۲۰]. این اتصال همانطور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است به دو سری W و B تقسیم می‌گردد.

۱ . Kaiser Bolted Bracket



شکل ۳-۱: شکل هندسی براکت اتصال KBB (الف) اتصال KBB سری W، (ب) اتصال KBB سری B

در اتصال کایزر سری W، اتصال براکت به بال تیر از طریق جوش صورت می‌پذیرد. اما در اتصال کایزر سری B، اتصال براکت به بال تیر از طریق پیچ‌های پر مقاومت حاصل می‌گردد. در هر دو تیپ از اتصال، اتصال براکت‌ها به ستون تنها از طریق پیچ‌های پر مقاومت امکان‌پذیر است [۲۰]. مزیت این اتصال نسبت به سایر اتصالات مشابه، نظیر اتصال ورق انتهایی و اتصال با ورق سپری، علاوه بر سرعت بالاتر در اجرا و افزایش کیفیت ساخت و حذف هرگونه جوشکاری در کارگاه، تأمین گیرداری بیشتر برای اتصالات سازه‌های بلند که در آنها تیر دارای ارتفاع زیادی است، می‌باشد. شهیدی و همکاران [۲۱] در سال ۱۳۹۱ رفتار لرزه‌ای اتصال کایزر را در نواحی نزدیک گسل مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنها نشان می‌دهد این اتصال در مناطق نزدیک گسل عملکرد خوبی داشته و از اتلاف انرژی خوبی برخوردار می‌باشد.

۴- فصل چهارم

معرفی اتصال صلب خمشی کائیز

۴-۱- کلیات :

اتصال کایزر، اتصالی است که به صورت ریخته‌گری شده از فولاد پر مقاومت ساخته می‌شود، این اتصال به دو رده کلی سری W و سری B تقسیم می‌گردد. در اتصال کایزر سری W، اتصال تیر به براکت از طریق جوش می‌باشد و در اتصال کایزر سری B، اتصال براکت به بال تیر، از طریق پیچ‌های پرمقاومت صورت می‌گیرد، در هر دو نوع براکت‌های سری W و B، اتصال براکت به بال ستون توسط پیچ‌های پرمقاومت تأمین می‌شود [۲۰].

طبق آیین نامه AISC-358 تیرها و ستون‌ها و براکت‌های کایزر مورد استفاده باید ضوابط زیر را برآورده سازند.

۴-۲- محدودیت‌ها در اتصال کایزر :

۴-۲-۱- ضوابط تیرها

تیرها باید محدودیت‌های زیر را تأمین نمایند [۲۰].

(۱) تیرها باید از مقاطع بال-پهن نورد شده، یا مقاطع I شکل ساخته شده با ورق (مطابق با ضوابط بخش ۲.۳ آیین‌نامه AISC-358) تشکیل گردند.

(۲) حداکثر ارتفاع تیرها، برای مقاطع نورد شده به W33(W840) محدود می‌شود. عمق مقاطع ساخته شده با ورق، نباید از حداکثر عمق مجاز برای مقاطع بال-پهن نورد شده فراتر رود.

(۳) وزن تیر حداکثر به ۱۳۵ lb/ft (۱۹۵ kg/m) محدود می‌شود.

(۴) حداکثر ضخامت بال تیر به یک اینچ (۲۵ mm) محدود می‌شود.

(۵) حداقل عرض بال تیر برای براکت‌های سری W، ۶ اینچ (۱۵۲mm) بوده، که این حداقل برای براکت‌های سری B، ۱۰ اینچ (۲۵۰ mm) می‌باشد.

(۶) نسبت فاصله خالص دهانه به عمق تیر، برای هر دو سیستم SMF و IMF باید برابر ۹ یا بزرگتر از

آن باشد.

(۷) نسبت عرض به ضخامت برای بال و جان تیر، باید منطبق بر ضوابط لرزه‌ای AISC باشد.

(۸) مهار جانبی تیرها باید موارد زیر را تأمین نماید :

الف) برای سیستم SMF باید منطبق بر ضوابط لرزه‌ای AISC باشد.

باید مهارهای جانبی اضافی (تکمیلی) در محل مفصل پلاستیک مورد انتظار، منطبق بر ضوابط لرزه‌ای AISC، در نظر گرفته شود.

زمانی که از مهار جانبی اضافی (تکمیلی) استفاده شود، مهار جانبی اضافی تیر باید در فاصله‌ای به اندازه d تا $d/5$ عمیق تیر می‌باشد) از دورترین انتهای براکت تا بر ستون قرار داده شود. همچنین نباید هیچ‌گونه مهار جانبی اضافی در فاصله بین وجه ستون تا فاصله d از انتهای براکت، قرار داده شود.

ب) برای سیستم‌های IMF، باید مطابق با ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه AISC عمل شود.

استثناء : برای هر دو سیستم، در جایی که تیر، دال بتنی سازه ای را تحمل می‌کند، و همچنین در منطقه محافظت^۱ شده بین تیر یا 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.

۱. منطقه محافظت شده قسمتی از تیر است که در فاصله بین وجه ستون تا فاصله d از انتهای براکت می‌باشد.

۴-۲-۲- ضوابط ستون

ستون‌ها باید محدودیت‌های زیر را تأمین نمایند [۲۰].

(۱) ستون از هر نوع مقاطع نورد شده یا مقاطع ساخته شده از ورق، باید براساس بخش ۲.۳ آیین‌نامه AISC مجاز باشند.

(۲) تیر باید به بال ستون متصل شود.

(۳) پهنای بال ستون باید حداقل ۱۲ اینچ (۳۰۵ mm) باشد.

(۴) عمق مقطع نورد شده ستون زمانی که دال بتنی سازه‌ای به کار برده می‌شود، باید حداکثر به W36(W920) محدود گردد. در غیاب دال بتنی سازه‌ای عمق مقطع ستون نورد شده حداکثر به W14(W360) محدود می‌گردد. عمق مقاطع ستون بال پهن ساخته شده از ورق، نباید از عمق مقاطع نورد شده تجاوز نماید. ستون‌های بال صلیبی نباید دارای پهنای عمقی بزرگتر از عمق مجاز برای مقاطع نورد شده باشند. ستون‌های قوطی ساخته شده از ورق نباید دارای پهنای عمقی بیشتر از ۱۶ اینچ (۴۰۶ mm) باشند. ستون‌های قوطی در صورتی که در قابهای خمشی متعامد سهیم باشند، نباید پهنای عمقی بیش از ۱۶ اینچ (۴۰۶ mm) داشته باشند.

(۵) هیچ‌گونه محدودیتی در وزن واحد طول ستون‌ها وجود ندارد.

(۶) هیچ‌گونه الزامات اضافی برای ضخامت بال ستون وجود ندارد.

(۷) نسبت پهنای به ضخامت برای بال‌ها و جان ستون‌ها باید مطابق با الزامات ملاحظات لرزه‌ای (AISC Seismic Provisions) باشد.

(۸) مهارجانبی ستون‌ها باید مطابق با الزامات لرزه‌ای AISC باشد.

۴-۲-۳- محدودیت‌های براکت

براکت‌های تهیه شده از فولاد ریخته‌گری شده با مقاومت بالا، باید محدودیت‌های زیر را برآورده نمایند [۲۰].

(۱) براکت ریخته‌گری شده باید مطابق با الزامات پیوست A آیین‌نامه AISC باشد.

(۲) شکل و تناسب براکت باید مطابق با بخش ۹.۸ آیین‌نامه AISC-358 باشد.

(۳) سوراخ پیچ‌ها در براکت برای اتصال به ستون باید به صورت لوبیایی کوتاه باشد.

(۴) ضخامت مصالح، فاصله لبه و فاصله انتها باید تلورانسی به اندازه $\pm \frac{1}{16}$ اینچ (۲ mm) داشته باشد. محل قرارگیری سوراخ‌ها باید تلورانسی به اندازه $\pm \frac{1}{16}$ اینچ (۲ mm) داشته باشد. همچنین حداکثر تلورانس ابعاد کلی براکت باید به اندازه $\pm \frac{1}{8}$ اینچ (۳ mm) محدود گردد.

۴-۲-۴- محدودیت‌ها در روابط تیر-ستون

اتصال تیر به ستون باید محدودیت‌های زیر را تأمین نماید [۲۰].

(۱) چشمه اتصال باید با الزامات لرزه‌ای آیین‌نامه AISC مطابقت داشته باشد.

(۲) نسبت لنگر ستون-تیر، باید با ضوابط لرزه‌ای AISC مطابقت داشته باشد.

۴-۲-۵- محدودیت‌های اتصال براکت به بال ستون

اتصال براکت به بال ستون دارای محدودیت‌های زیر است [۲۰].

(۱) پیچ‌های اتصال دهنده به بال ستون باید از نوع پیش‌تنیده و مطابق با استاندارد A354, A490M, A490, ASTM و از رده BD باشد، و یا از میلگرد رزوه شده A354 رده BD استفاده گردد. و همچنین باید با ضوابط بخش ۴ آیین‌نامه AISC-358 مطابقت داشته باشد (بخش ۴ این آیین‌نامه مربوط به ملزومات پیچ‌ها است).

۲) سوراخ پیچ‌های بال ستون باید به اندازه $\frac{1}{8}$ اینچ (۳ mm) بزرگتر از قطر اسمی پیچ باشد. سوراخ پیچ‌ها باید از طریق مته‌کاری و یا ساب‌پانچ و یا قلاویز ایجاد گردند. برای سوراخ‌کاری استفاده از پانچ مجاز نمی‌باشد.

۳) استفاده از ورق پرکننده^۱ برای یک و یا هر دو طرف در بالا یا پایین اتصال براکت مجاز است، مشروط به اینکه مشخصات آیین‌نامه RCSC رعایت شود.

۴) برای پیچ کردن براکت به ستون قوطی، باید یک واشر فولادی به صورت ورق بین ستون قوطی و براکت در هر دو وجه ستون تعبیه گردد. ورق واشر باید استاندارد ASTM A572/A572M رده ۵۰ (۳۴۵) را برآورده نماید و همچنین باید برای انتقال نیروی پیچ، به لبه خارجی ستون طراحی گردد. در صورت نیاز، عمق ورق قائم می‌تواند به اندازه ۴ اینچ (۱۲۰ mm) بیش از سطح تماس گسترش یابد. ضخامت ورق نباید از ۳ اینچ (۷۶ mm) بیشتر گردد. ادوات اتصال باید از درون ستون قوطی عبور کرده و بر روی سطح مقابل مهار گردد. همچنین سطح مقابل باید دارای ورق واشر باشد.

۵) وقتی اتصال در دو وجه متعامد یک ستون قوطی شکل نسبت به یکدیگر قرار داشته باشند، باید یک ورق جدا کننده فولادی $1\frac{3}{4}$ اینچی (۴۴ mm) بین بال‌های تیر و براکت‌های اتصال متعامد قرار داده شود. ورق جدا کننده باید از مصالح فولاد سازه‌ای مشخص شده در AISC ساخته شده باشد و همچنین عرض و طول تقریبی آن برابر با سطح تماس براکت در نظر گرفته شود.

۴-۲-۶- محدودیت‌های اتصال براکت به بال تیر

اتصالات براکت به بال تیر باید محدودیت‌های زیر را برآورده نماید [۲۰].

۱) زمانی که براکت به بال تیر جوش می‌شود، باید جوش متصل کننده از نوع جوش گوشه باشد. جوش‌های براکت باید بتواند ضوابط ظرفیت بحرانی جوش مطرح شده در ملاحظات لرزه‌ای

^۱ - Finger Shims

8M . 8/D1 . AWS D1, AISC و الزامات AWS D1.1/D1.1M را برآورده نماید. تشخیص روش جوشکاری (WPS) جوش گوشه، برای اتصال براکت به بال تیر، بستگی به نوع مصالح ریخته‌گری شده براکت دارد. شروع و یا توقف جوشکاری، در ۲ اینچی (۵۱mm) رأس براکت مجاز نمی‌باشد و جوشکاری باید در اطراف رأس براکت انجام شود.

۲) زمانی که براکت به بال تیر پیچ می‌شود، ادوات اتصال نظیر پیچ‌ها باید طبق ASTM A490 یا A490M پیش‌تنیده گردند، و رزوه خارج از صفحه برش بوده و الزامات بخش ۴ آیین‌نامه AISC-358 را برآورده نماید.

۳) سوراخ پیچ‌های بال تیر باید $1\frac{5}{32}$ اینچ (۲۹ mm) بوده و با استفاده از مته‌کاری سوراخ‌هایی نظیر الگوی براکت ایجاد شوند. استفاده از پانچ مجاز نمی‌باشد.

۴) زمانی که براکت به بال تیر پیچ می‌شود، باید یک ورق با ضخامت ۱ اینچ (۲۵ mm) و پهنای (عرض) ۴ اینچ (۱۰۲ mm) طبق ASTM A572/A572M رده ۵۰ (۳۴۵) به عنوان ورق واشر بر روی وجه مخالف بال تیر متصل شده، قرار داده شود.

۴-۲-۷- محدودیت‌های اتصال جان تیر به ستون

اتصال جان تیر به بال ستون باید محدودیت‌های زیر را برآورده نماید [۲۰].

۱) مقاومت برشی مورد نیاز برای اتصال جان تیر باید طبق بخش ۹-۹ آیین‌نامه AISC-358 تعیین گردد.

۲) اتصال ورق برشگیر یک طرفه باید با استفاده از جوش گوشه دوطرفه، جوش شیاری با نفوذ نسبی PJP دو طرفه و یا جوش شیاری با نفوذ کامل CJP به بال ستون صورت گیرد.

۴-۳- روش طراحی [۲۰]

گام اول: انتخاب تیر و ستون به گونه‌ای که محدودیت‌های بخش ۳-۹ آیین‌نامه ANSI/AISC-358 را اقلان نماید.

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

۳-۴-۲ آیین‌نامه ANSI/AISC-358

گام سوم: انتخاب یکی از آرایش‌ها و پیکربندی‌های معرفی شده برای اتصال با توجه به جدول ۱-

۹ آیین‌نامه ANSI/AISC-358 (شکل ۴-۱)

TABLE 9.1 Kaiser Bolted Bracket Proportions						
Bracket Designation	Bracket Length, L_{bb} in. (mm)	Bracket Height, h_{bb} in. (mm)	Bracket Width, b_{bb} in. (mm)	Number of Column Bolts, n_{cb}	Column Bolt Gage, g in. (mm)	Column Bolt Diameter in. (mm)
W3.0	16 (406)	5 1/2 (140)	9 (229)	2	5 1/2 (140)	1 3/8 (35)
W3.1	16 (406)	5 1/2 (140)	9 (229)	2	5 1/2 (140)	1 1/2 (38)
W2.0	16 (406)	8 3/4 (222)	9 1/2 (241)	4	6 (152)	1 3/8 (35)
W2.1	18 (457)	8 3/4 (222)	9 1/2 (241)	4	6 1/2 (165)	1 1/2 (38)
W1.0	25 1/2 (648)	12 (305)	9 1/2 (241)	6	6 1/2 (165)	1 1/2 (38)
B2.1	18 (457)	8 3/4 (222)	10 (254)	4	6 1/2 (165)	1 1/2 (38)
B1.0	25 1/2 (648)	12 (305)	10 (254)	6	6 1/2 (165)	1 1/2 (38)

شکل ۴-۱: جدول ۱-۹ آیین‌نامه ANSI/AISC-358

گام چهارم: 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 مؤثر بر تیر، و مبتنی بر ترکیب بار $1.2D + f_1L + 0.2S$ kips(N) باشد. در اینجا f_1 ضریب باری می‌باشد که به وسیله آیین‌نامه‌ی طراحی برای بارهای زنده تعیین می‌شود اما مقدار آن هیچ‌گاه نباید کمتر از $\frac{1}{2}$ فرض شود.

گام پنجم : محاسبه حداکثر لنگر محتمل در بر ستون :

$$M_f = M_{pr} + V_h S_h \quad (۱-۴)$$

که در آن:

M_f : ماکزیمم لنگر محتمل در بر ستون است. (N-mm) kip-in.

S_h : فاصله مفصل پلاستیک از بر ستون است. (mm) in. ، که برابر با پارامتر L_{bb} در شکل ۱-۴ می‌باشد.

V_h = بزرگترین مقدار نیروی برشی در محل مفصل پلاستیک در هر یک از دو انتهای تیر است.
(N) kips.

معادله (۱-۴) از بارهای ثقلی موجود در فاصله بین مفصل پلاستیک تا بر ستون صرف‌نظر می‌کند. مطلوب‌تر است، اگر بارهای ثقلی موجود در این قسمت کوچک از تیر، در معادله (۱-۴) در نظر گرفته شود.

گام ششم : مقاومت کششی پیچ‌های اتصال براکت‌ها به ستون باید روابط زیر را اقناع نماید :

$$r_{ut} \leq \phi_n F_{nt} A_b \quad (۲-۴)$$

که در آن:

$$r_{ut} = \frac{M_f}{d_{eff} n_{cb}} \quad (۳-۴)$$

A_b : سطح مقطع اسمی پیچ‌ها. $\text{in}^2(\text{mm}^2)$

F_{nt} : مقاومت کششی اسمی پیچ‌ها. ksi (MPa)

d_{eff} : ارتفاع موثر تیر، که برابر است با فاصله مرکز هندسی مجموعه پیچ‌های براکت بالایی و

پایینی in (mm)

n_{cb} : تعداد پیچ‌های اتصال ستون، مطابق جدول ذکر شده در شکل ۴-۱

گام هفتم : تعیین حداقل پهنای بال ستون برای جلوگیری از گسیختگی کششی بال:

$$b_{cf} \geq \frac{2 \left[d_b + \frac{1}{8} inch \right]}{\left(1 - \frac{R_y F_{yf}}{R_t F_{uf}} \right)} \quad (4-4)$$

$$b_{cf} \geq \frac{2[d_b + 3mm]}{\left(1 - \frac{R_y F_{yf}}{R_t F_{uf}} \right)} \quad (S.I.) \quad (5-4)$$

که در آن:

b_{cf} : پهنای بال ستون. in (mm)

d_b : قطر پیچ‌های بال ستون. in (mm)

F_{yf} : حداقل تنش تسلیم تعیین شده برای بال ستون. ksi (MPa)

F_{uf} : حداقل مقاومت کششی تعیین شده برای مصالح بال. ksi (MPa)

R_y : نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده برای مصالح بال.

R_t : نسبت مقاومت کششی مورد انتظار به حداقل مقاومت کششی تعیین شده برای مصالح بال.

گام هشتم: تعیین حداقل ضخامت بال ستون برای از بین بردن عملکرد اهرمی^۱

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{4.44r_u b'}{\phi_d p F_y}} \quad (۶-۴)$$

که در آن:

$$b' = \frac{1}{2}(g - k_1 - 0.5t_{cw} - d_b) \quad (۷-۴)$$

g : فاصله آکس تا آکس پیچ‌های ستون. in (mm)

$$\left. \begin{array}{l} k_1 : \text{فاصله مرکز جان ستون تا پاشنه جوش بال} \\ p : \text{فاصله عمودی هریک از پیچ‌ها. in (mm)} \\ t_{cf} : \text{حداقل ضخامت بال ستون مورد نیاز} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{W1.0/B1.0 برای برکت نوع } ۳, ۵ \text{ in} = ۸۹ \text{ mm} \\ \text{برای برکت‌های دیگر. } ۵ \text{ in} = ۱۲۷ \text{ mm} \end{array}$$

برای جلوگیری از عملکرد اهرمی. in (mm)

t_{cw} : ضخامت جان ستون. in(mm)

۱ . Prying action

گام نهم : حداقل ضخامت بال ستون برای حذف ورق پیوستگی

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{M_f}{\phi_d F_{yf} d_{eff} Y_m}} \quad (۸-۴)$$

$$\left. \begin{array}{l} W3.0/W3.1 \text{ برای } ۵,۹ = \\ W2.0/W2.1/B2.1 \text{ برای } ۶,۵ = \\ W1.0/B1.0 \text{ برای } ۷,۵ = \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{که در آن:} \\ Y_m: \text{ پارامتر ساده شده مکانیزم جاری شدگی بال ستون} \\ t_{cf} = \text{حداقل ضخامت مورد نیاز بال ستون} \end{array}$$

برای حذف ورق پیوستگی. in (mm)

گام دهم : الزامات ورق پیوستگی

برای ستون‌های با مقطع W14 و کم عمق‌تر، در صورتی که معادله گام نهم (۸-۴) اقلان شود ورق پیوستگی مورد نیاز نمی‌باشد. برای ستون‌هایی با مقطع عمیق‌تر از W14 باید ورق پیوستگی تعبیه گردد.

گام یازدهم : در صورتی که براکت‌ها به بال تیر جوش شده باشند به سراغ گام چهاردهم می‌رویم، در غیر این صورت باید حداقل پهنای بال تیر برای جلوگیری از گسیختگی کششی بال تیر را تعیین نماییم:

$$b_{bf} \geq \frac{2 \left[d_b + \frac{1}{32} inch \right]}{\left(1 - \frac{R_y F_{yf}}{R_t F_{uf}} \right)} \quad (۹-۴)$$

$$b_{bf} \geq \frac{2 [d_b + 1mm]}{\left(1 - \frac{R_y F_{yf}}{R_t F_{uf}} \right)} \quad (S.I.) \quad (۱۰-۴)$$

که در آن:

b_{bf} : پهنای بال تیر. in (mm)

d_b : قطر پیچ‌های بال تیر. in (mm)

گام دوازدهم: مقاومت برشی پیچ‌های تیر باید رابطه زیر را اقلان کند

$$\frac{M_f}{\phi_n F_{nv} A_b d_{eff} n_{bb}} < 1 \quad (۱۱-۴)$$

که در آن:

F_{nv} : مقاومت برشی اسمی پیچ‌ها. ksi (MPa)

n_{bb} : تعداد پیچ‌های تیر طبق جدول ۹،۳ آیین‌نامه AISC-358 (شکل ۲-۴)

TABLE 9.3 B-Series Bracket Design Proportions						
Bracket Designation	Column Bolt Edge Distance, d_e in. (mm)	Column Bolt Pitch, p_b in. (mm)	Bracket Stiffener Thickness, t_s in. (mm)	Bracket Stiffener Radius, r_v in. (mm)	Number of Beam Bolts, n_{bb}	Beam Bolt Diameter in. (mm)
B2.1	2 (51)	3 ^{1/2} (89)	2 (51)	16 (406)	8 or 10	1 ^{1/8} (29)
B1.0	2 (51)	3 ^{1/2} (89)	2 (51)	28 (711)	12	1 ^{1/8} (29)

شکل ۲-۴: جدول ۹،۳ آیین‌نامه AISC-358

گام سیزدهم: بال تیر را برای برش قالبی به صورت زیر کنترل نمایید.

$$\frac{M_f}{d_{eff}} \leq \phi_n R_n \quad (۱۲-۴)$$

R_n : ضریب مربوط به برش قالبی است (به فصل ز آیین نامه AISC مراجعه شود).

گام چهاردهم : اگر براکت‌ها به وسیله پیچ به بال تیر متصل شده‌اند به گام پانزدهم بروید، در غیر اینصورت رابطه زیر برای جوش گوشه اتصال براکت به بال تیر باید ا قناع شود:

$$\frac{M_f}{\phi_n F_w d_{eff} l_w (0.707w)} < 1 \quad (13-4)$$

که در آن:

F_w : مقاومت اسمی جوش که برابر است با $0.6F_{EXX}$

F_{EXX} : مقاومت فلز جوش. ksi (MPa)

L_{bb} : طول براکت‌ها مطابق شکل ۲-۴. in (mm)

$$l = \begin{cases} 0 \text{ in} = \text{ (صفر میلیمتر) اگر } b_{bf} \geq b_{bb} \\ 5 \text{ in} = \text{ (۱۲۵ میلیمتر) اگر } b_{bf} < b_{bb} \end{cases}$$

in(mm) : فاصله همپوشانی براکت‌ها.

$$l_w = \begin{cases} 2(L_{bb} - 2.5 \text{ inch} - l) = \\ 2(L_{bb} - 64 \text{ mm} - l) = \end{cases}$$

in(mm) : طول جوش گوشه.

(S.I)

w : حداقل اندازه جوش گوشه مطابق جدول ۹،۲ آیین نامه AISC-358 (شکل ۳-۴). in(mm)

TABLE 9.2
W-Series Bracket Design Proportions

Bracket Designation	Column Bolt Edge Distance, d_e in. (mm)	Column Bolt Pitch, p_b in. (mm)	Bracket Stiffener Thickness, t_s in. (mm)	Bracket Stiffener Radius, r_v in. (mm)	Bracket Horizontal Radius, r_h in. (mm)	Minimum Fillet Weld Size, w in. (mm)
W3.0	2 1/2 (64)	n.a.	1 (25)	n.a.	28 (711)	1/2 (13)
W3.1	2 1/2 (64)	n.a.	1 (25)	n.a.	28 (711)	5/8 (16)
W2.0	2 1/4 (57)	3 1/2 (89)	2 (51)	12 (305)	28 (711)	3/4 (19)
W2.1	2 1/4 (57)	3 1/2 (89)	2 (51)	16 (406)	38 (965)	7/8 (22)
W1.0	2 (51)	3 1/2 (89)	2 (51)	28 (711)	n.a.	7/8 (22)

شکل ۳-۴: جدول ۹،۲ آیین‌نامه AISC-358

گام پانزدهم: تعیین مقاومت برشی مورد نیاز تیر و اتصال جان تیر به ستون (V_u)

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

که در آن:

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

$V_{gravity}$: نیروی برشی تیر، حاصل از ترکیب بار $1.2D + f_1L + 0.2S$ (که در آن ضریب f_1 را

آیین‌نامه طراحی برای بارهای زنده تعیین میکند. اما این مقدار هیچ‌گاه نباید از $\frac{1}{2}$ کمتر باشد) kips

(N)

گام شانزدهم: اتصال جان تیر به ستون را مطابق بخش ۹-۷ آیین‌نامه ANSI/AISC-358

طراحی کنید.

گام هفدهم: بررسی و چک کردن چشمه اتصال مطابق با بخش ۹-۴ آیین‌نامه ANSI/AISC-

358 (مقدار d_{eff} را بجای عمق تیر، d ، جایگزین کنید).

گام هجدهم (تکمیلی) : اگر ستون مورد استفاده از نوع قوطی است، برای تعیین ضخامت ورق
واشر بین بال ستون و براکت‌ها از رابطه زیر استفاده کنید.

$$Z_x \geq \frac{M_f \langle b_{cf} - t_{cw} - g \rangle}{4\phi_d F_y d_{eff}} \quad (۱۵-۴)$$

که در آن:

F_y : حداقل تنش جاری شدگی مشخص شده برای مصالح ورق و اشر. ksi(MPa)

Z_x : مدول پلاستیک ورق و اشر. $in^3 (mm^3)$

g : فاصله افقی پیچ‌های ستون. in(mm)

۵- فصل پنجم

مدل سازی عددی و صحت سنجی نمونه های عددی

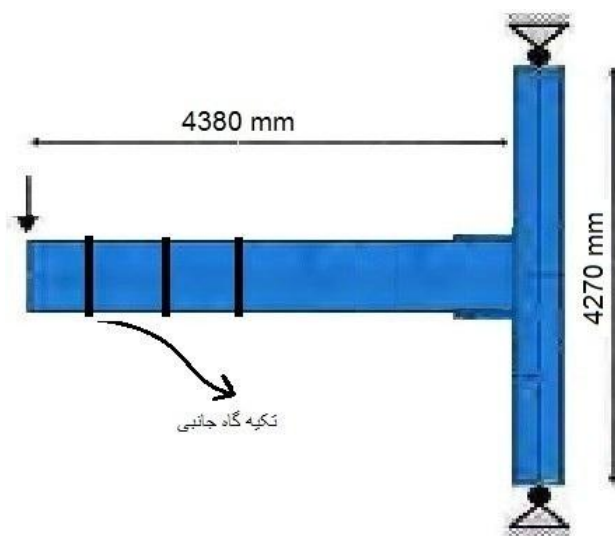
۵-۱- مقدمه

جهت بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال صلب خمشی کایزر، مدل‌هایی با استفاده از مقاطع تیر و ستون مختلف در نظر گرفته شده است. تحلیل انواع مدل‌ها توسط نرم‌افزار اجزاء محدود غیرخطی ABAQUS version 6.10 صورت پذیرفته است. در ادامه شرح مختصری از هندسه مدل‌ها، المان‌های بکارگرفته شده، مصالح مصرفی فولاد، نحوه مش‌بندی، شرایط مرزی و تکیه‌گاه‌ها بیان شده است.

۵-۲- هندسه مدل‌ها

هندسه مدل‌ها به صورت پاره سازه‌های یک اتصال کناری قاب خمشی فولادی است که در اصطلاح، اتصال یک طرفه نامیده می‌شود. هر نمونه از یک ستون H شکل یا قوطی شکل و یک تیر I شکل، به همراه سایر قطعات تشکیل دهنده اتصال، شامل براکت‌های پیچی کایزر، پیچ‌ها، ورق‌های پیوستگی، ورق‌های واشر، برشگیرها و صفحات صلب انتهایی تشکیل شده‌اند.

شکل ۵-۱ شکل کلی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. این شکل با توجه به نحوه تغییر شکل قاب خمشی تحت اثر بارهای جانبی است که در آن، نقاط عطف در نزدیکی وسط اجزاء تیر و ستون تشکیل می‌گردد. در مدل‌ها ارتفاع ستون یعنی فاصله میان تکیه‌گاه مفصلی تحتانی تا تکیه‌گاه مفصلی فوقانی برابر ۴۲۷۰ میلیمتر می‌باشد و همچنین طول تیر یعنی فاصله میان نوک تیر (محل اعمال بار) تا برستون برابر ۴۳۸۰ میلیمتر می‌باشد. در ضمن سه تکیه‌گاه جانبی از انتهای تیر در فواصل ۹۲ سانتیمتر (۳ فوت) از یکدیگر قرار گرفته‌اند.



شکل ۵-۱: هندسه پاره‌سازه‌ی اتصال یک‌طرفه در مدل‌سازی نمونه‌ها

۵-۳- المان‌های مورد استفاده در مدل‌سازی [۲۲]

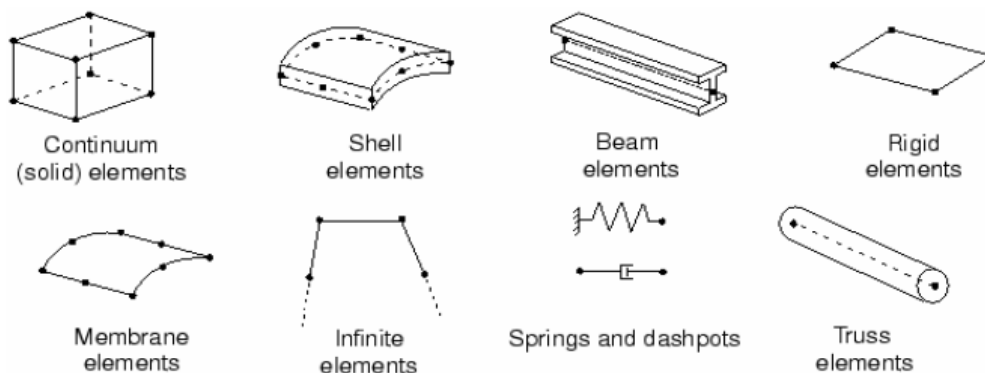
در نرم‌افزار ABAQUS المان‌های مختلفی می‌توان برای مدل‌سازی استفاده نمود. شاید بتوان گفت یکی از مهم‌ترین مراحل مدل‌سازی اجزاء محدود، به کار بردن المان‌های مناسب می‌باشد. در نرم‌افزار ABAQUS هر المان دارای یک اسم منحصر به فرد می‌باشد. نام اکثر المان‌های مورد استفاده در مدل‌سازی‌های این پایان‌نامه C3D8R است. برای درک بهتر، به تشریح نام المان C3D8R خواهیم پرداخت. این نام بیانگر پنج خاصیت این نوع المان می‌باشد:

- **خانواده** : اولین حرف که در نام یک المان مشاهده می‌شود، بیانگر خانواده آن المان است،

مثلا در المان C3D8R حرف C بیانگر این است که این المان از خانواده Continuum یا Solid می‌باشد.

در شکل ۵-۲ انواع المان های مورد استفاده در ABAQUS که در مسائل تحلیل تنش کاربرد

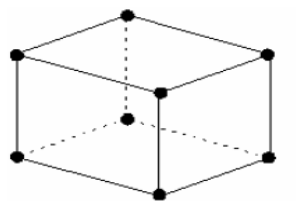
دارند، نشان داده شده است.



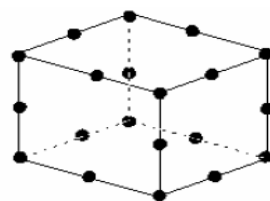
شکل ۵-۲: انواع المان های مورد استفاده در نرم افزار آباکوس

- **درجات آزادی:** این ویژگی مستقیماً به خانواده‌ی المان وابسته است. یکی از متغیرهای اصلی در تحلیل اجزای محدود، درجات آزادی می‌باشد. درجات آزادی در واقع متغیرهای اصلی می‌باشند که در هنگام تحلیل محاسبه می‌گردند. برای یک مدل سازی "تنش-تغییر مکان" درجات آزادی اصلی تغییر مکان‌های گره‌ها می‌باشند. در خصوص المان‌های Shell، دوران در گره‌ها درجات آزادی هستند، در یک مدلسازی انتقال حرارت درجات آزادی عبارت‌اند از دمای گره‌ها.

- **تعداد گره‌ها:** المان C3D8R، ۸ گره دارد (فقط در گوشه‌های خود دارای گره می‌باشد). در نتیجه این المان از میان‌یابی خطی در هر جهت استفاده می‌کند و از این رو المان خطی یا مرتبه اول نامیده می‌شود (شکل ۵-۳a). المان‌هایی که دارای گره در وسط هر لبه خود می‌باشند مانند المان C3D20 نشان داده شده در شکل ۵-۳b از میان‌یابی سهموی (مرتبه دوم) استفاده می‌کنند و از این رو به این المان‌ها سهموی یا مرتبه دوم می‌گویند.



(a) Linear element
(8-node brick, C3D8)



(b) Quadratic element
(20-node brick, C3D20)

شکل ۵-۳: المان‌های C3D با درونیابی مرتبه اول و دوم

- **فرمول‌بندی^۱** : فرمول بندی یک المان به تئوری ریاضی تعیین رفتار المان باز می‌گردد. همه المان‌های مورد استفاده در تحلیل تنش-تغییر مکان از فرمول‌بندی لاگرانژ استفاده می‌کنند. در این نوع فرمول بندی ماده‌ی داخل المان تا انتها، داخل المان باقی می‌ماند و نمی‌تواند از مرز المان خارج شود.

- **انتگرال‌گیری^۲** : نرم افزار ABAQUS از روش‌های عددی جهت انتگرال‌گیری کمیت‌های مختلف در حجم یک المان استفاده می‌کند. ABAQUS رفتار ماده را در هر Integration Point یک المان با استفاده از روش مربع سازی گوس محاسبه می‌کند. مرتبه المان (خطی یا مرتبه دوم) و نحوه انتگرال‌گیری، به دقت جواب در یک تحلیل تنش-تغییر مکان تأثیر می‌گذارد. نکته حائز اهمیت در نرم افزار ABAQUS، تعداد نقاط گوس برای حل عددی معادله حاصل از تشکیل ماتریس سختی است. بسیار واضح است که هر قدر تعداد نقاط گوس بیشتر باشد، حل عددی دقیق خواهد بود. اگر از المان C3D8R استفاده شود هر المان دارای آرایه‌ای ۸ عنصری از Integration Point می‌باشد. نرم‌افزار آباکوس از سه روش برای انتگرال‌گیری در نقاط گوسی استفاده می‌کند، انتگرال کامل، انتگرال کاهش یافته و انتگرال‌گیری به روش مدهای ناسازگار. در اینجا برای انجام تحلیل‌ها از روش انتگرال‌گیری

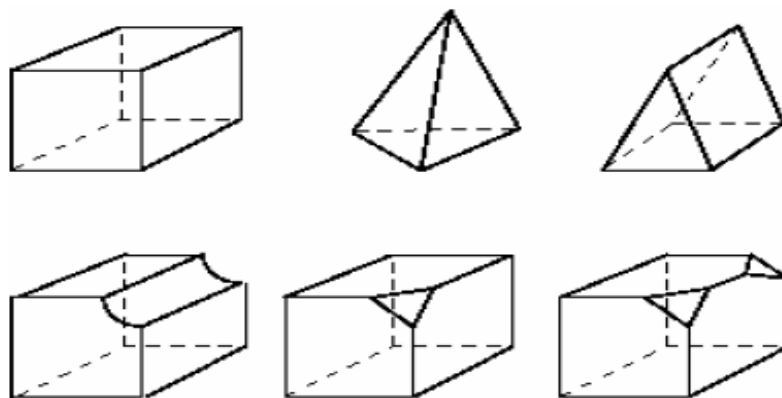
۱ . Formulation

۲ . Integration

کاهش یافته استفاده می‌کنیم. حرف R در انتهای نام المان بیانگر همین موضوع است.

۴-۵ - مش‌بندی [۲۲]

در نرم افزار ABAQUS روش‌های مختلفی برای مش‌بندی مدل موجود می‌باشد. برای مثال یک مدل را می‌توان به صورت Free یا به صورت دستی مش‌بندی کرد. در حالت Free نرم افزار به صورت خودکار اجزای مدل را مش‌بندی می‌کند، که دقت این روش کمتر از روش دستی است و بهتر است تا جای ممکن مدل‌ها بصورت دستی مش‌بندی شوند و درصد مش‌بندی‌های دستی کاملاً بر مش‌بندی‌های Free حاکم باشد، که این موضوع در مدل‌سازی‌های این تحقیق بطور کامل رعایت شده است. بهترین تکنیک مش‌بندی، استفاده از مش‌های Structure می‌باشد چرا که کاربر بیشترین کنترل را بر المان‌ها دارد. در این تکنیک اجزای مدل بایستی قبل از مش‌بندی به طور دقیق پارتیشن‌بندی شوند تا مدل به اشکال ساده‌تری تبدیل شود. اشکال سه بعدی که مش Structure می‌خورند در شکل ۴-۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۵: اشکال سه‌بعدی که می‌توان برای آنها از مش‌بندی Structure استفاده کرد

۵-۵- شرایط مرزی مدل‌ها

پایین ستون‌ها : در قسمت پایینی ستون‌ها شرایط مرزی به گونه‌ای تعریف شده تا از حرکت در جهت قائم ، افقی و هم در جهت عمود بر صفحه جلوگیری به عمل آید که در اصطلاح تکیه‌گاه از نوع مفصلی پین شده می‌باشد. در این تکیه‌گاه از دوران ستون حول محور خود جلوگیری شده و دوران حول دو محور دیگر آزاد گذاشته شده تا شرایط واقعی بهتر شبیه‌سازی شوند. ضمناً برای جلوگیری از تمرکز تنش در انتهای ستون، ناشی از قیدهای تعریف شده، از صفحه صلبی استفاده شده که انتهای ستون با استفاده از قید Tie به این صفحه صلب متصل شده است. قابل ذکر است که شرایط تکیه‌گاهی بیان شده، تنها به مرکز صفحه صلب اعمال شده است. بعنوان مثال درجات آزادی قائم در گوشه‌های صفحه صلب باز است.

بالای ستون : در قسمت بالایی ستون‌ها شرایط مرزی به گونه‌ای تعریف شده تا از حرکت در جهت قائم ، افقی و هم در جهت عمود بر صفحه جلوگیری به عمل آید که در اصطلاح تکیه‌گاه از نوع مفصلی پین شده می‌باشد. در این تکیه‌گاه از دوران ستون حول محور خود جلوگیری شده و دوران حول دو محور دیگر آزاد گذاشته شده تا شرایط واقعی بهتر شبیه‌سازی شوند. ضمناً برای جلوگیری از تمرکز تنش در انتهای ستون، ناشی از قیدهای تعریف شده، از صفحه صلبی استفاده شده که انتهای ستون با استفاده از قید Tie به این صفحه صلب متصل شده است. قابل ذکر است که شرایط تکیه‌گاهی بیان شده، تنها به مرکز صفحه صلب اعمال شده است. بعنوان مثال درجات آزادی قائم در گوشه‌های صفحه صلب باز است.

انتهای تیر : بارگذاری سیکلی به انتهای تیر طره وارد می‌شود. بنابراین برای توزیع یکنواخت بار و جلوگیری از تمرکز تنش، یک صفحه صلب در انتهای تیر طره قرار داده شده است که این صفحه به لبه مقطع تیر Tie شده است.

تکیه‌گاه جانبی تیرها : برای جلوگیری از کمانش جانبی - پیچشی تیر، تعدادی از گره‌های کناری بال تیر در فواصل مشخص از حرکت در راستای جانبی منع شده‌اند تا مهاربندی جانبی تیرها به این صورت شبیه‌سازی شود.

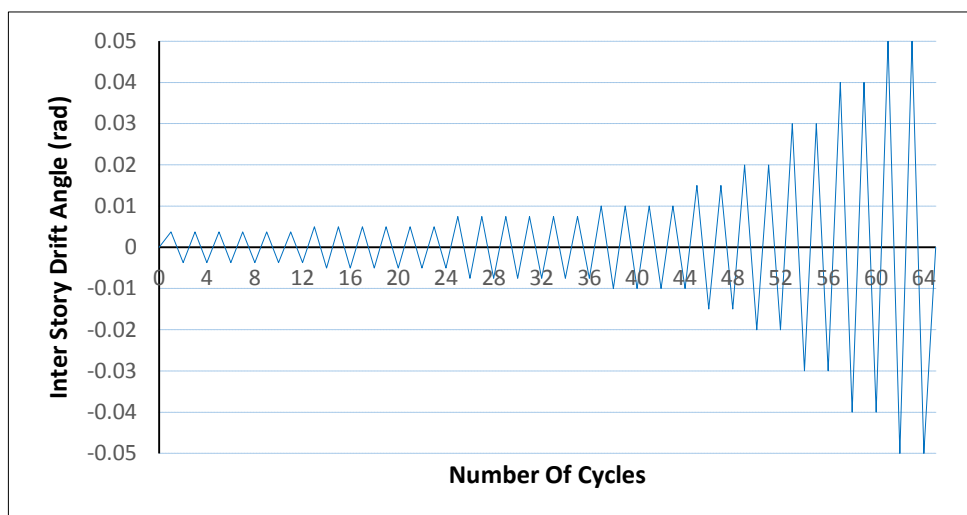
۵-۶- بارگذاری

در تمامی مدل‌ها بارگذاری اتصالات به صورت بارگذاری چرخه‌ای نوک تیر طره می باشد. تاریخچه بارگذاری مطابق با آئین‌نامه ANSI/AISC-341-10 [۲۳] انتخاب شده است (به جز نمونه‌های صحت سنجی، به بخش ۵-۹ مراجعه شود) که به صورت تغییر مکان در نوک تیر طره اعمال می‌شود.

در نرم افزار ABAQUS برای تعریف بارگذاری چرخه‌ای ابتدا بایستی در مراحل مدل‌سازی در ماژول Step، بارگذاری از نوع General Static انتخاب شده و سپس در مرحله بارگذاری (load) در قسمت Amplitude تاریخچه بارگذاری با توجه به میزان تغییر شکل نوک تیر ناشی از دریافت مربوطه به صورت اعداد مثبت (رفت) و منفی (برگشت) اعمال شود.

آزمایش چرخه‌ای اتصالات قاب‌های خمشی ویژه و متوسط بوسیله کنترل زاویه دریافت طبقه انجام می‌شود. الگوی بارگذاری به این صورت می‌باشد (شکل ۵-۵) [۲۳] :

- (1) 6 cycles at $\theta = 0.00375$ rad
- (2) 6 cycles at $\theta = 0.005$ rad
- (3) 6 cycles at $\theta = 0.0075$ rad
- (4) 4 cycles at $\theta = 0.01$ rad
- (5) 2 cycles at $\theta = 0.015$ rad
- (6) 2 cycles at $\theta = 0.02$ rad
- (7) 2 cycles at $\theta = 0.03$ rad
- (8) 2 cycles at $\theta = 0.04$ rad
- (9) 2 cycles at $\theta = 0.05$ rad



شکل ۵-۵: تاریخچه بارگذاری استاندارد طبق آیین نامه AISC-341-2010 [۲۳]

۵-۷- رفتار مصالح

برای مدلسازی نمونه‌های آزمایشگاهی انجام شده توسط Scott M. Adan و William Gibb، از مشخصات فولادهای گزارش شده در مرجع [۱۷] استفاده شده، و برای سایر نمونه‌ها که به منظور بومی‌سازی مجموعه اتصال برای ایران ساخته شده‌اند، از مشخصات مصالح فولادی رایج در ایران، مطابق آنچه در جدول ۵-۱ آمده استفاده شده است.

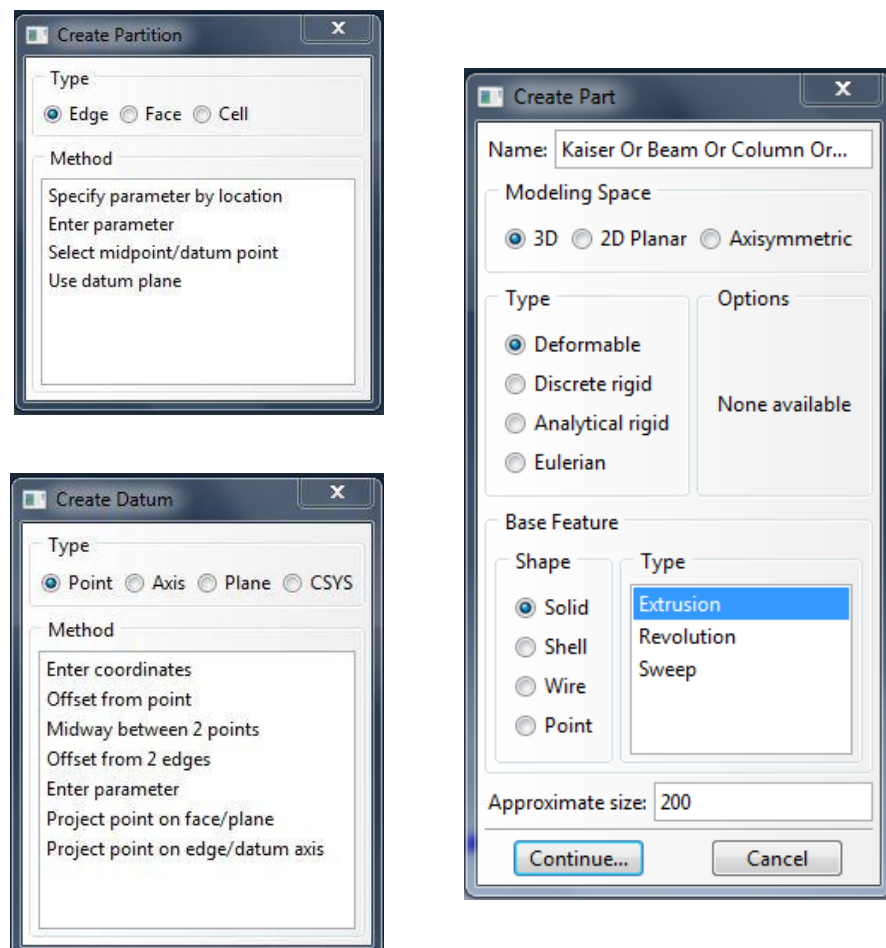
جدول ۵-۱: مشخصات مصالح مورد استفاده در مدلسازی‌ها

نام مصالح	تنش تسلیم (Kg/cm^2)	تنش نهایی (Kg/cm^2)	وزن واحد حجم (Kg/m^3)	ازدیاد طول نسبی در شکست (%)	کاربرد
St-37	۲۴۰۰	۳۷۰۰	۷۸۰۰	۰/۲۲	تیر و ستون
St-52	۳۶۰۰	۵۲۰۰	۷۸۰۰	۰/۲۲	براکت کایزر
ASTM-A490	۸۰۰۰	۱۰۰۰۰	۷۸۰۰	۰/۲	پیچ

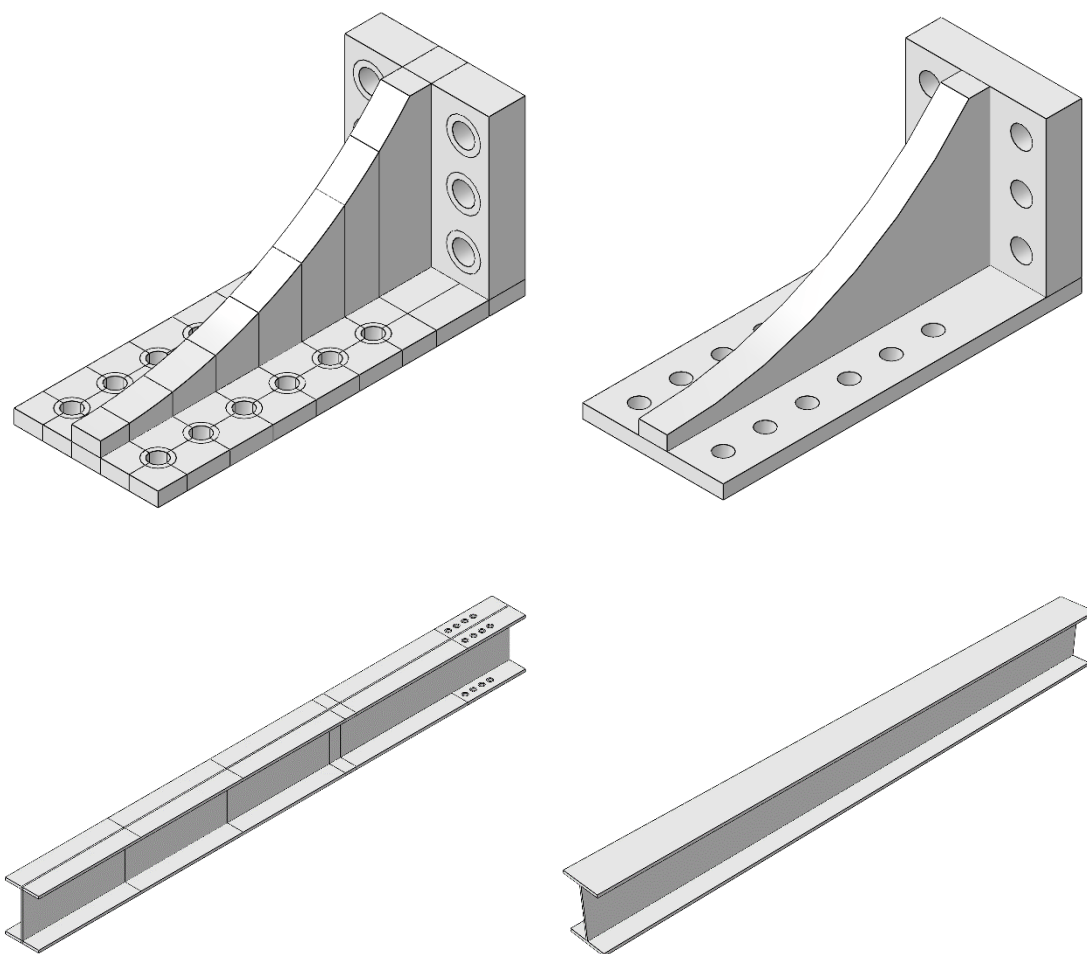
۵-۸- مراحل انجام مدل سازی در نرم افزار آباکوس

۵-۸-۱- مرحله اول : ماژول Part

این مرحله که اولین گام در استفاده از نرم افزار آباکوس می باشد، جهت ترسیم بخش های مختلف مدل به کار گرفته می شود. شکل های زیر نحوه تعریف عضو و شیوه ترسیم آن را نشان می دهد. باید توجه کرد که پس از ترسیم هر قطعه، برای اینکه در ماژول Assembly به راحتی بتوان مش های مناسب را روی قطعه ساخته شده ایجاد کرد، باید با استفاده از ابزارهای Partition و Datum برش های کافی رو قطعات ایجاد گردد (شکل ۵-۶، شکل ۵-۷).



شکل ۵-۶: پنجره های مورد استفاده برای ترسیم قطعات مختلف و ایجاد برش های مورد نیاز برای مش بندی در مراحل بعد.

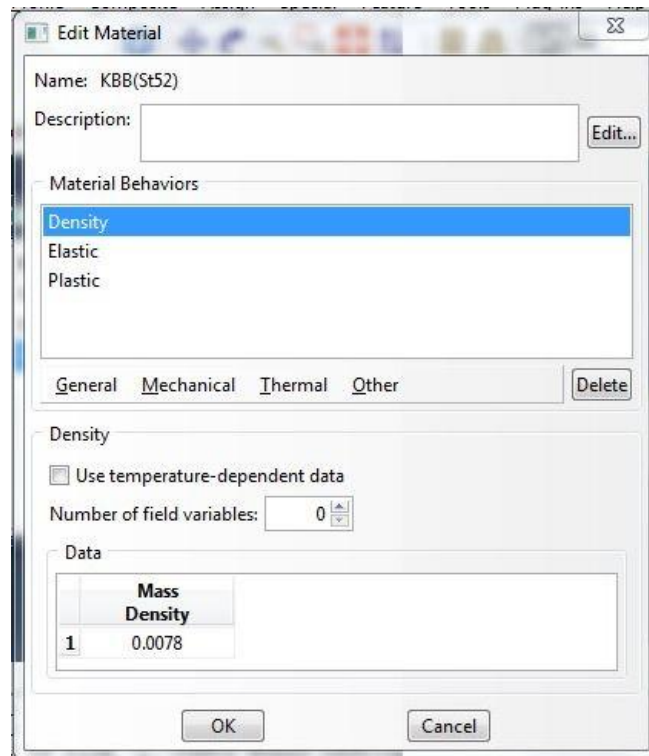


شکل ۵-۷: نمونه‌ای از براکت پیچی و تیر ترسیم شده و برش خورده در ماژول Part

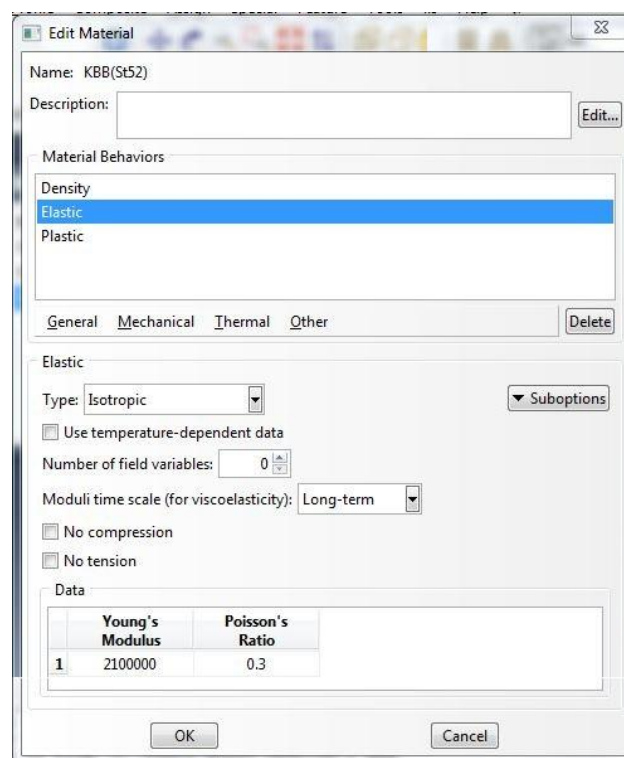
در اینجا تنها دو قطعه ترسیم شده نشان داده شده است، سایر قطعه‌های مورد نیاز را نیز یک به یک همانند نمونه‌ها باید ترسیم کرد.

۵-۸-۲- مرحله دوم : ماژول Property

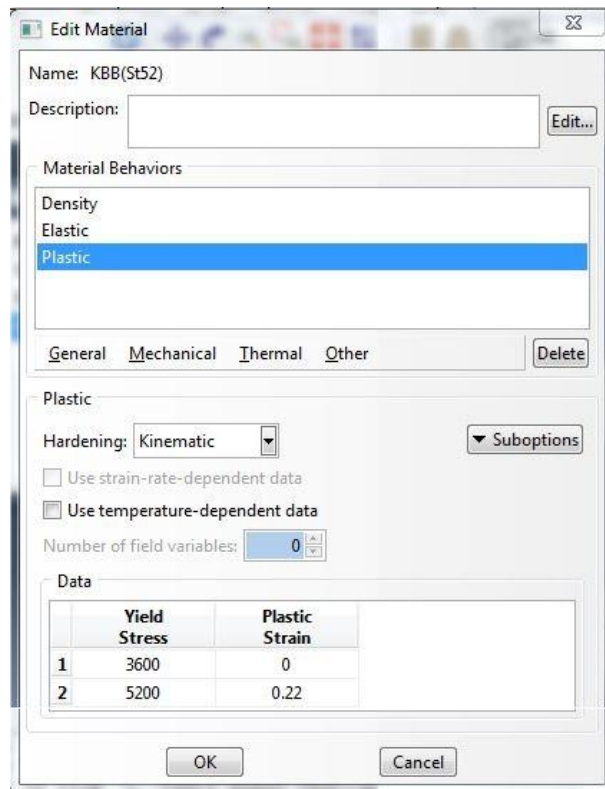
این ماژول برای تعریف مشخصات مصالح مورد استفاده در اعضای مختلف مدل به کار گرفته می‌شود. نرم افزار آباکوس قادر است علاوه بر رفتار خطی، رفتار غیرخطی مصالح را نیز در نظر گرفته و آن را مدل‌سازی کند. در شکل‌های زیر نحوه تعریف رفتار فولاد نشان داده شده است.



شکل ۵-۸ : تعریف وزن واحد حجم مصالح

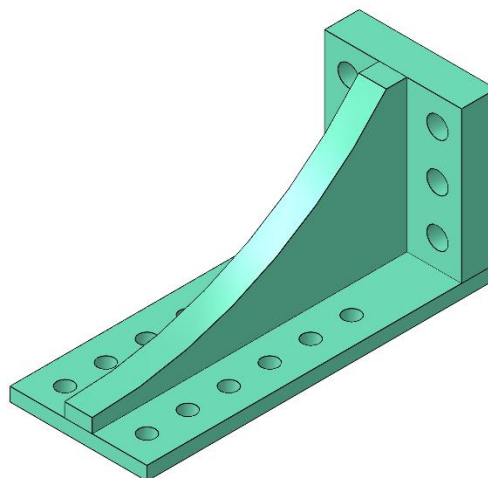


شکل ۵-۹ : تعریف خصوصیات رفتار الاستیک مصالح



شکل ۵-۱۰: تعریف خصوصیات رفتار پلاستیک مصالح

حال با استفاده از گزینه  Assign Section ، مصالح تعریف شده را به هر قطعه نسبت می‌دهیم (شکل ۵-۱۱).



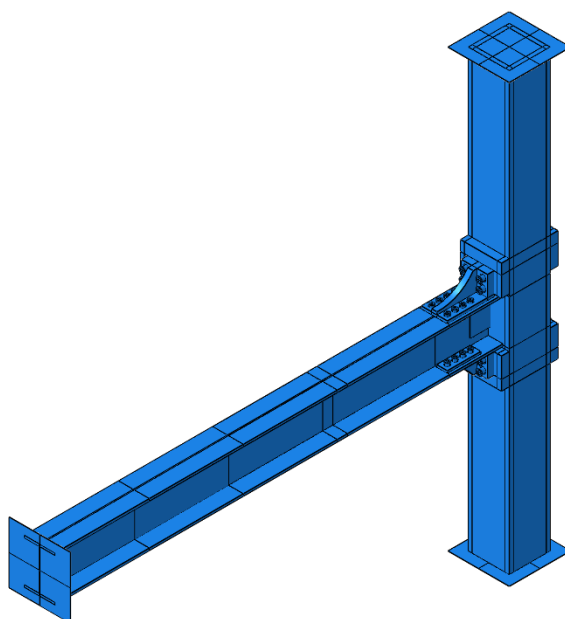
شکل ۵-۱۱: اختصاص مصالح به قطعه‌های ترسیم شده

خصوصیات مصالح تمامی بخش‌های مدل‌سازی شده باید یک به یک همانند نمونه‌ی ارائه شده به آنها اختصاص داده شود.

۵-۸-۳- مرحله سوم : ماژول Assembly

در این مرحله اعضایی که در ماژول Part ترسیم شده‌اند را بر اساس مشخصات مدل مورد نظر به یکدیگر متصل کرده و مدل را به اصطلاح مونتاژ می‌کنیم. در این ماژول برای وارد کردن قسمت‌های مختلف سازه از ماژول Part از قابلیت  Instance Part استفاده می‌شود. همچنین برای دوران و انتقال قطعات به محل دلخواه می‌توان از کلیدهای  Translate Instance و  Rotate Instance استفاده کرد. 

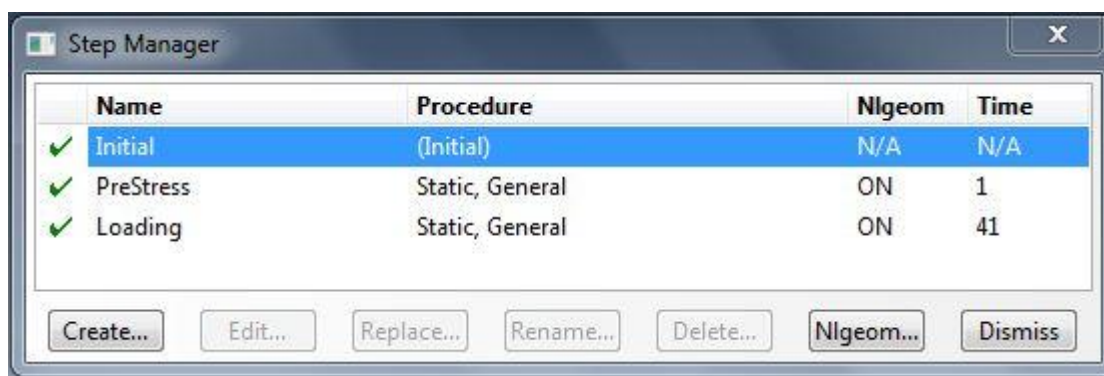
نمونه‌ای از مدل مونتاژ شده دارای تیر با مقطع IPB450، ستون قوطی شکل با ابعاد 400×400 میلیمتر، کایزر سری پیچی با نام B2.1 (سایر قطعات : ۲۴ عدد پیچ، ۴ عدد واشر بال تیر، ۴ عدد واشر بال ستون، ورق برش‌گیر، ورق‌های پیوستگی، و صفحات صلب انتهایی) را در شکل مشاهده می‌کنید.



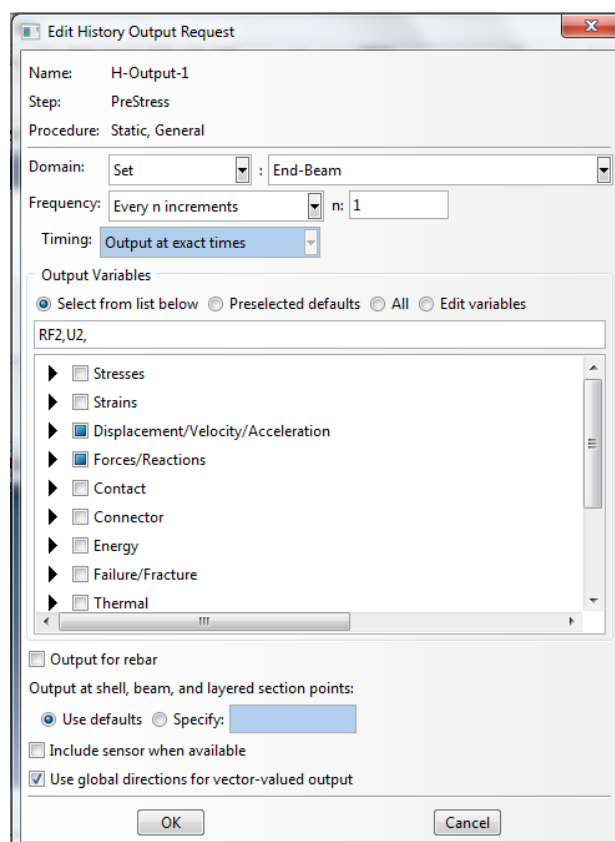
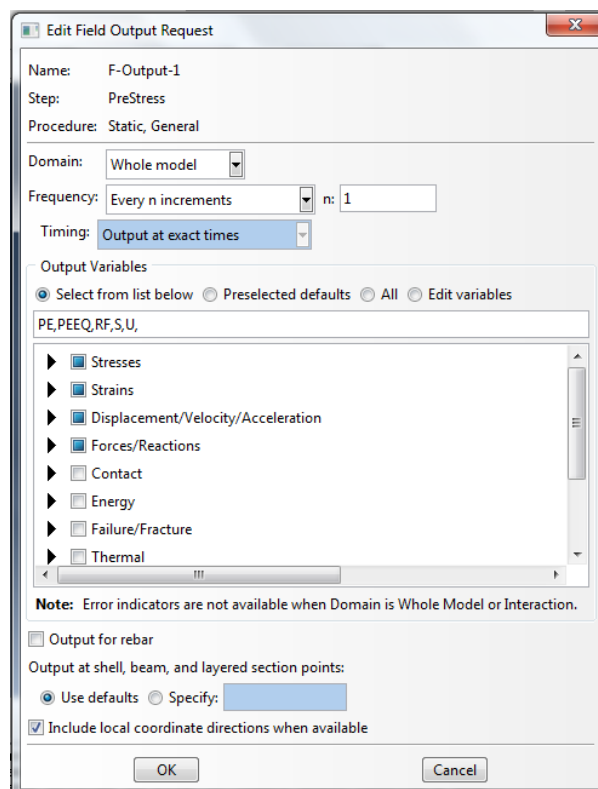
شکل ۵-۱۲: نمونه‌ای از مدل‌های مونتاژ شده در ماژول Assembly

۵-۸-۴- مرحله چهارم : ماژول Step

از این بخش برای تعیین نوع تحلیل به همراه خروجی‌های مورد نظر استفاده می‌شود. در این تحقیق با توجه به نوع بارگذاری، دو گام معرفی می‌کنیم. در گام اول پیش‌تنیدگی پیچ‌ها و در گام دوم بارگذاری چرخه‌ای تعریف خواهد شد. در هر دو گام، تحلیل را از نوع استاتیکی در نظر گرفته و گزینه Static-General را انتخاب می‌کنیم. توجه شود که همیشه گامی بنام Initial بصورت پیش‌فرض توسط نرم‌افزار در نظر گرفته می‌شود و ما باید به جز این گام، دو گام اصلی بارگذاری را تعریف کنیم (شکل ۵-۱۳). در این بخش علاوه بر تعیین گام‌های بارگذاری می‌توان تنظیمات مربوط به انواع خروجی‌های مورد نظر از آنالیز را انجام داد، برای تعیین نوع خروجی‌ها از کلیدهای Create Field Output و  می‌توان استفاده نمود. شکل ۵-۱۴ نمونه‌ای از تنظیمات صورت گرفته در این دو قسمت را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۳: گام‌های تعریف شده برای اعمال بارگذاری به مدل



شکل ۵-۱۴ : تنظیمات اطلاعات مورد نیاز از آنالیز مدل توسط نرم افزار

۵-۸-۵- مرحله پنجم : ماژول Interaction

این بخش بی شک مهمترین و حساس ترین ماژول آباکوس بشمار می رود، چرا که منشأ اکثر خطاهای ایجاد شده در حین آنالیز که منجر به توقف تحلیل می شوند به نحوه تعریف رفتار سطوح مختلف در هنگام برخورد با یکدیگر در این بخش برمی گردد. لذا ضروریست دقت فراوانی در تعریف این رفتارها شود. بطور کلی هر دو سطح یا لبه ای از قطعات مختلف که پس از مدل سازی و مونتاژ، بنحوی با یکدیگر تماس دارند، باید بین آنها یک Interaction مناسب تعریف گردد. این Interaction می تواند 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^۱ بین دو سطح هم قابل مدل سازی است.

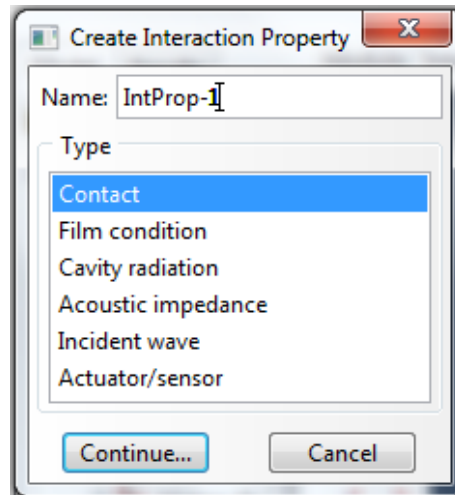
بدلیل گستردگی مفاهیم این بخش و نقش اساسی تجربه ی کاربر در تعریف خصوصیات تعاملی بین قطعات مختلف، در اینجا تنها مثالی ساده از تنظیمات صورت گرفته برای تعریف رفتار اصطکاکی بین پاشنه ی کایزر و بال تیر را توضیح خواهیم داد.

با استفاده از کلید  Create Interaction Property و نیز استفاده از نوع تعامل سطوح به صورت Contact (شکل ۵-۱۵)، وارد صفحه تنظیمات Edit Contact Property شده و پارامترهای مربوط به نحوه برخورد سطوح به یکدیگر، که شامل رفتار مماسی^۲ (شکل ۵-۱۶) و رفتار عمود بر سطح^۳ (شکل ۵-۱۷) آنها می شود را تعریف می کنیم.

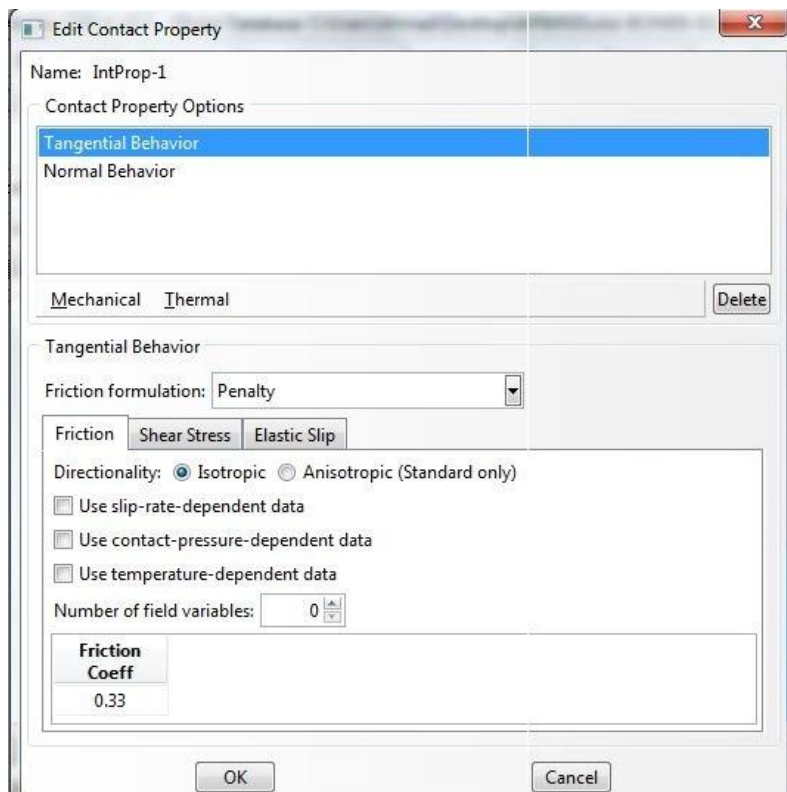
۱ . Frictionless

۲ . Tangential Behavior

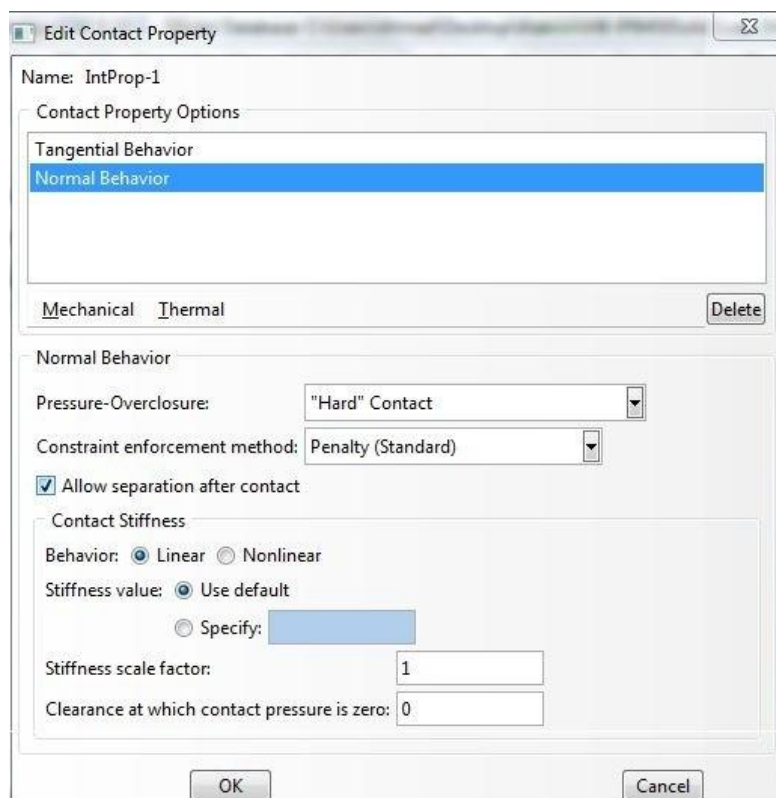
۳ . Normal Behavior



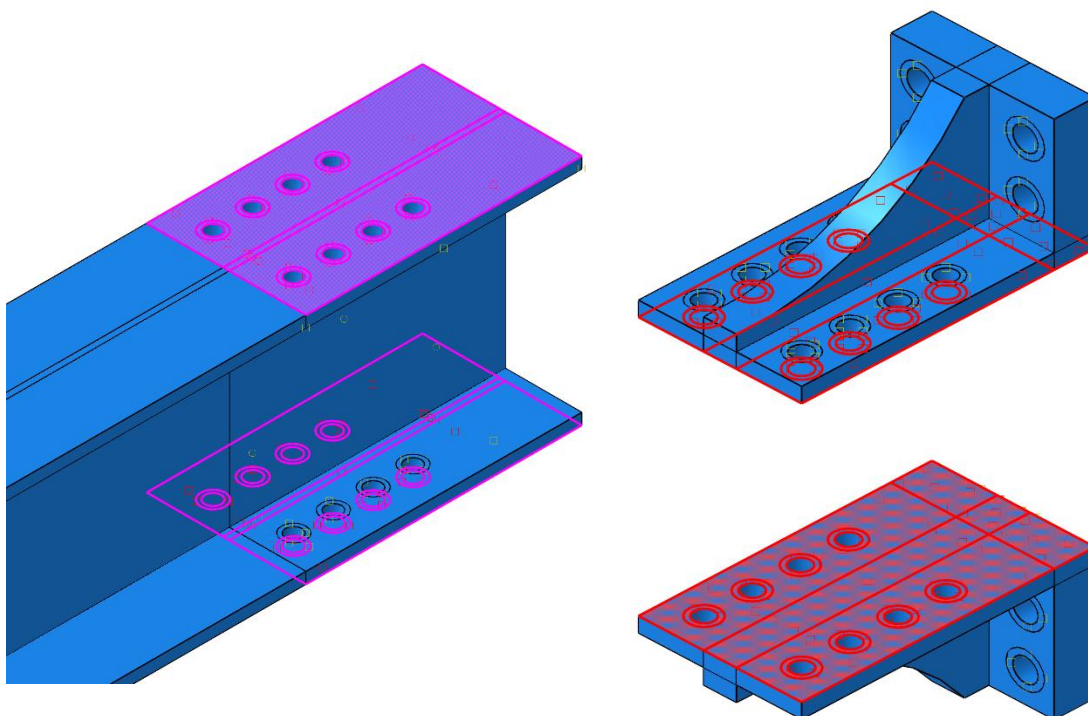
شکل ۵-۱۵: تعیین نوع تعامل بین سطوح



شکل ۵-۱۶: تعیین خصوصیات رفتار مماسی بین دو سطح



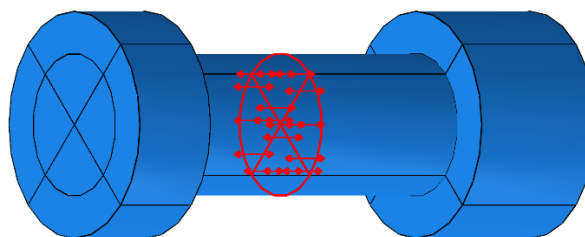
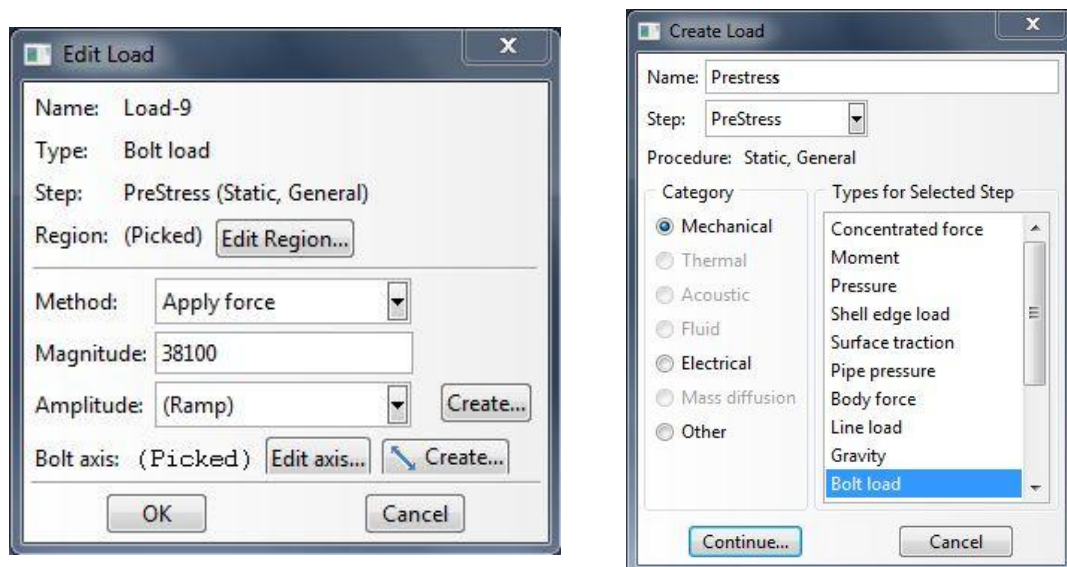
شکل ۵-۱۷: تعیین خصوصیات رفتار عمود بر سطح بین دو سطح



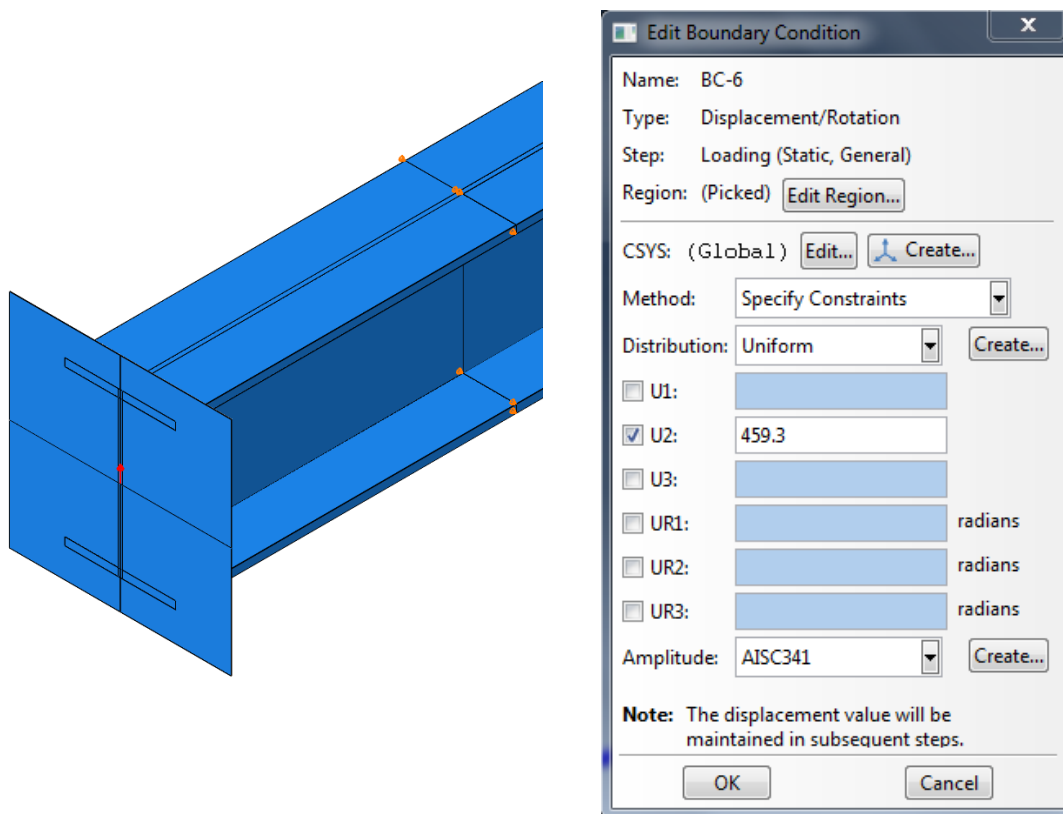
شکل ۵-۱۸: رفتار اصطکاکی تعریف شده بین بال تیر و پاشنه‌ی کایزر

۵-۸-۶- مرحله ششم : ماژول Load

این بخش شامل اختصاص دادن قیدهای لازم به تکیه‌گاه‌های مدل مورد نظر و همچنین اعمال انواع بارهای مورد نیاز بر روی نمونه می‌باشد. در مطالعه حاضر کلیه نمونه‌ها دارای تکیه‌گاه مفصلی در دو انتهای ستون می‌باشند. همچنین کلیه تیرها در راستای جانبی و در فاصله‌های مشخص دارای مهاربندی هستند. بارگذاری مربوط به گام پیش‌تنیدگی بطور مستقیم و از جنس نیرو، از طریق قابلیت Bolt Load در نرم‌افزار (شکل ۵-۱۹)، و بارگذاری گام دوم که بصورت چرخه‌ای است، به صورت اعمال تغییر مکان رفت و برگشتی به انتهای تیر تعریف می‌شود (شکل ۵-۲۰).



شکل ۵-۱۹: اعمال بار پیش‌تنیدگی بر پیچ‌ها



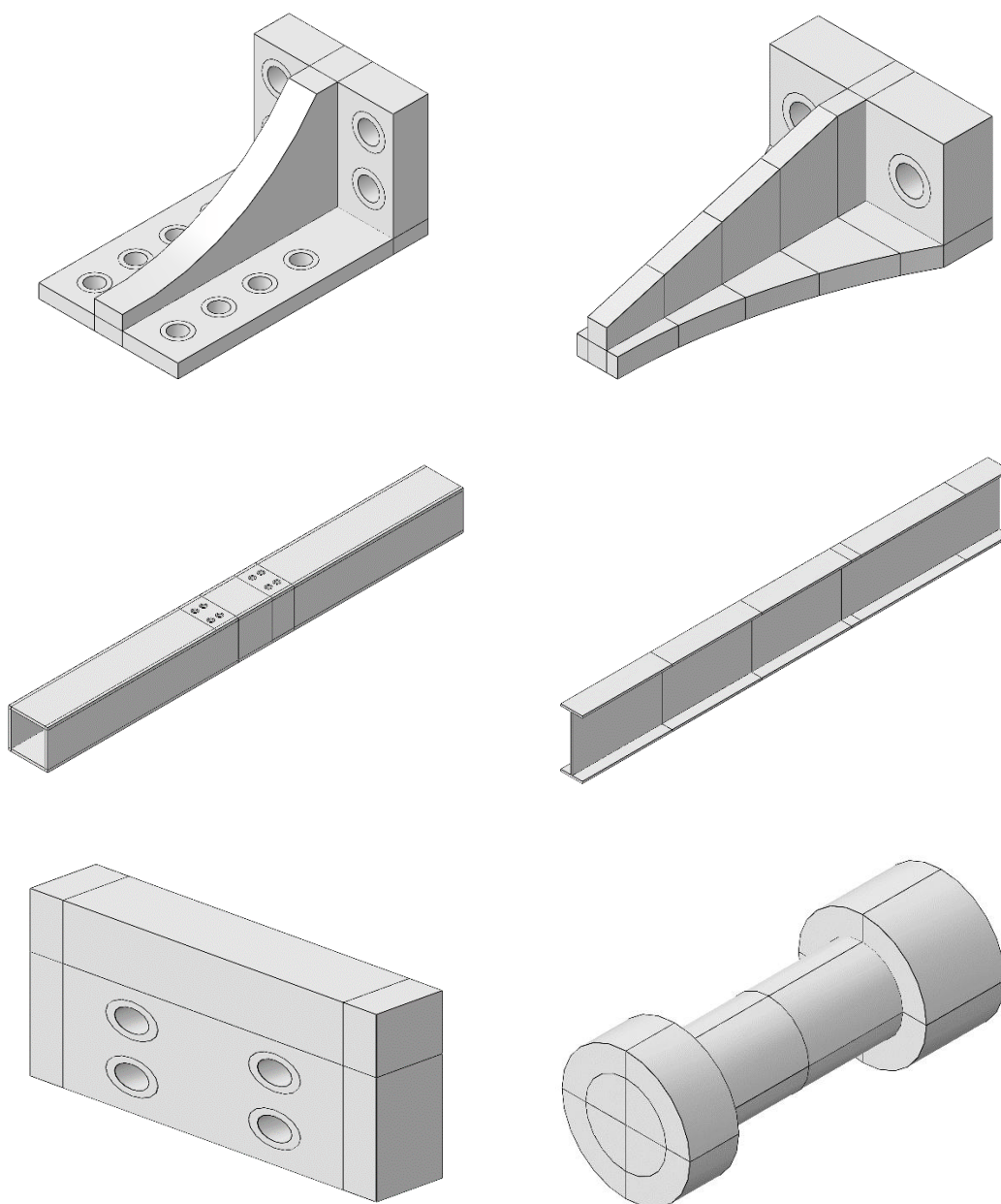
شکل ۵-۲۰: اعمال جابجایی به انتهای تیر

در شکل ۵-۲۰ عددی که در مقابل پارامتر U2 نوشته شده است برابر با فاصله انتهای تیر تا خط گذرنده از آکس ستون است، با تعریف یک برنامه‌ی نوسانی^۱ مناسب، که در اینجا نام آن از آیین‌نامه‌ی مربوط به بارگذاری چرخه‌ای استاندارد AISC-341 گرفته شده است، در هر چرخه درصدی از عدد U2 بعنوان جابجایی به انتهای تیر اعمال می‌شود.

۱ . Amplitude

۵-۸-۷- 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، مانند آنچه در شکل ۵-۲۱ نشان داده شده است، هر قطعه را به قسمت‌های کوچک‌تر که هندسه‌ی منظم‌تری دارند تبدیل می‌کنیم.

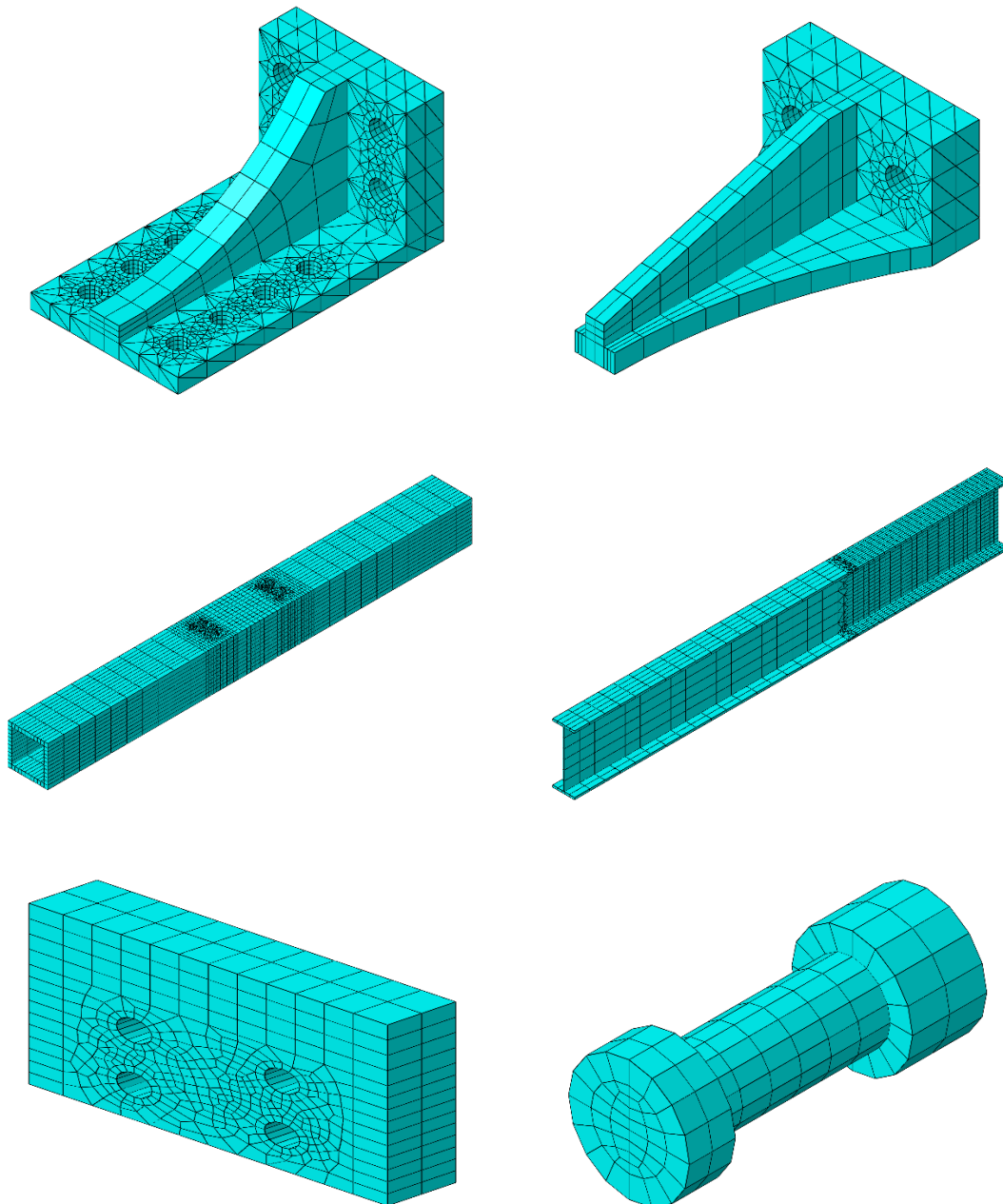


شکل ۵-۲۱: پارتیشن‌بندی قطعات برای سهولت در مش‌بندی

Seed Edges  حال باید قطعات پارتیشن‌بندی شده را قبل از مش‌بندی با استفاده از کلید

به زیربخش‌های مناسب تقسیم کرده و سپس با استفاده از کلید  Mesh Part آنها را مش‌بندی

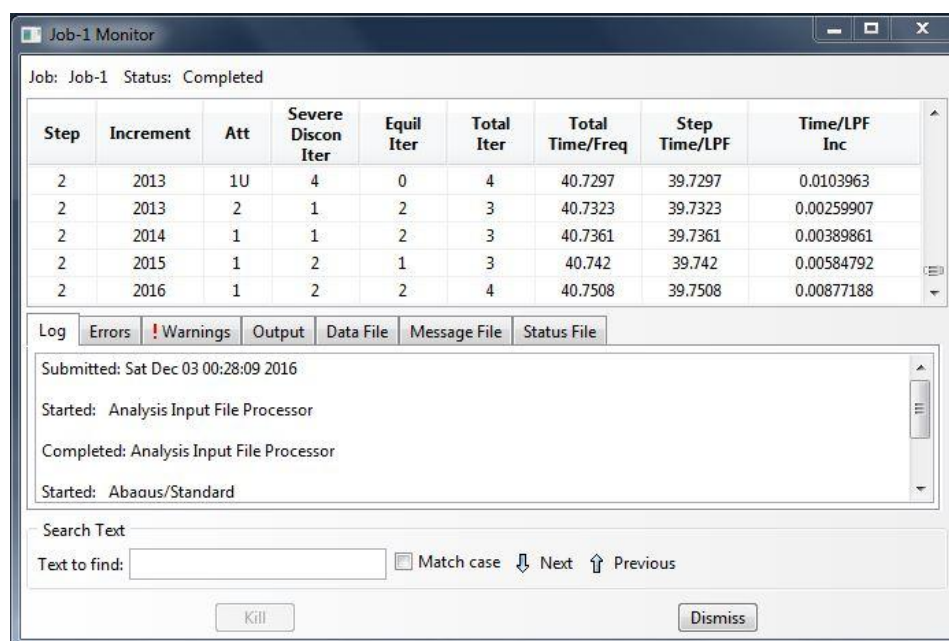
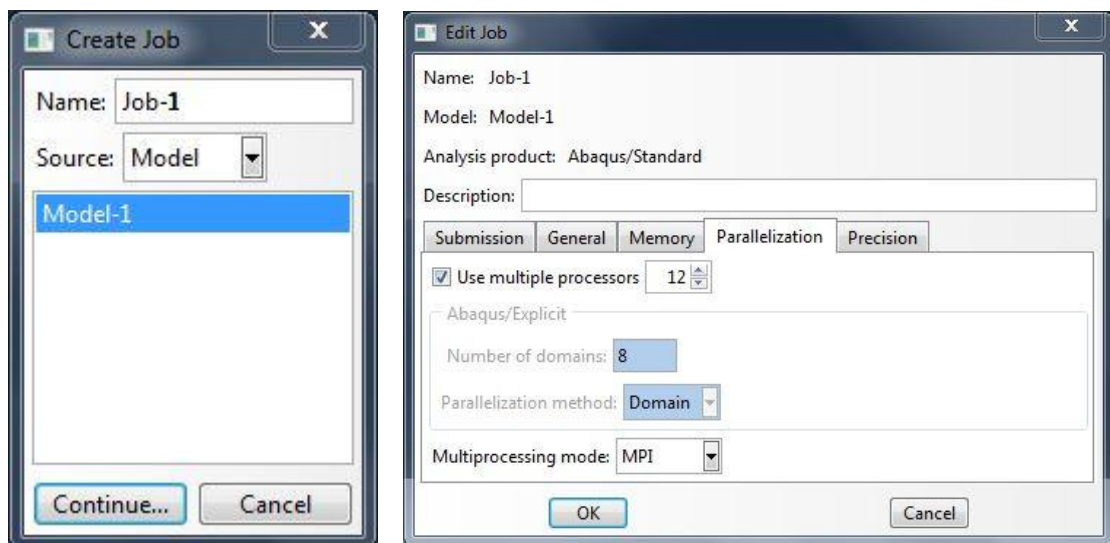
نمود. شکل ۵-۲۲ قطعات مش‌بندی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۲: مش‌بندی قطعات پس از پارتیشن‌بندی و ایجاد Seed

۵-۸-۸- مرحله هشتم : ماژول Job

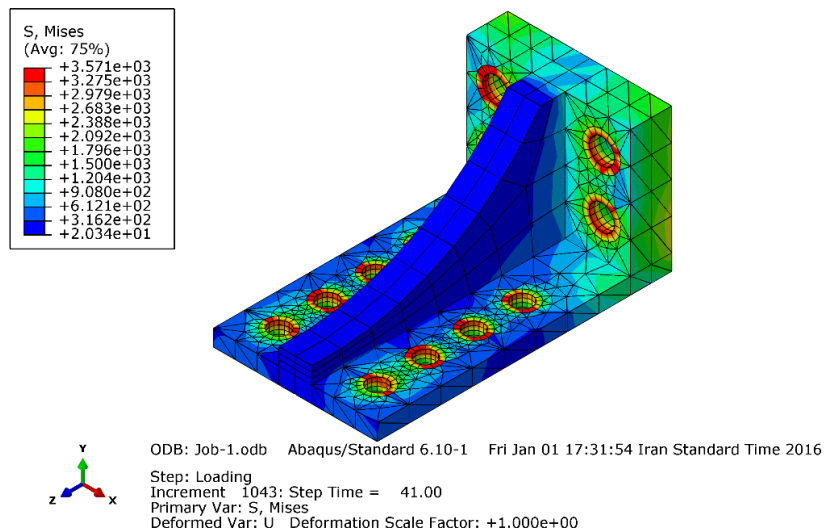
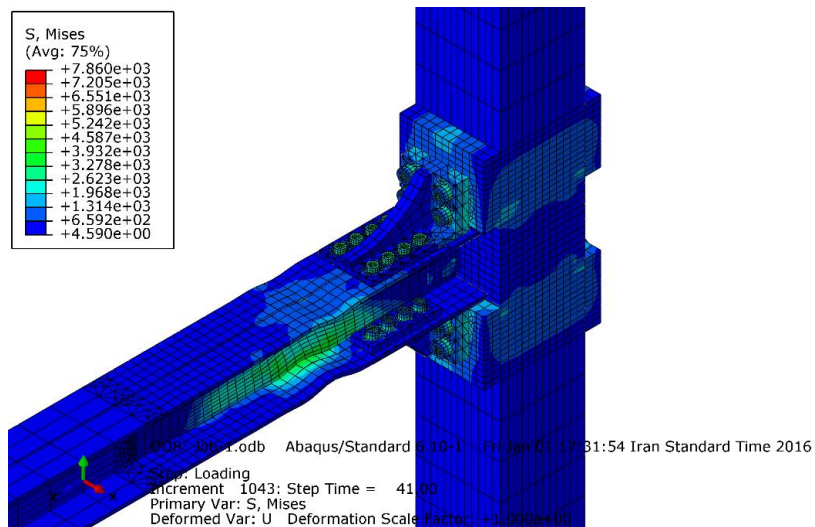
در این مرحله تحلیل نمونه انجام می‌شود. برای این کار باید برای نمونه مورد نظر یک Job تعریف کرده و مشخصات تحلیل را برای آن تعیین کنیم، سپس روی گزینه Submit کلیک کرده و تحلیل نمونه آغاز می‌شود. می‌توان با استفاده از گزینه Monitor روند تحلیل و گزارش‌های تحلیل را مشاهده کرد.



شکل ۵-۲۳: نحوه تعریف Job برای انجام تحلیل، و استفاده از کلید Monitor

۵-۸-۹- 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 ۵-۲۴: نمایش تنش فون میسز برای یکی از نمونه‌ها در ماژول Visualization

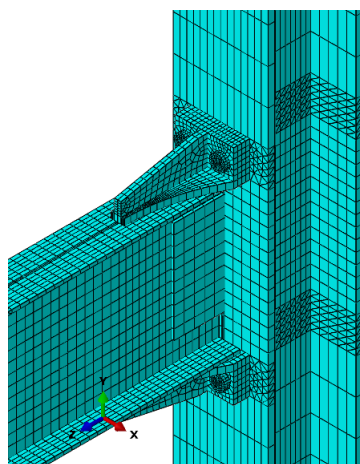
۵-۹- صحت‌سنجی و مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی

به منظور حصول اطمینان از نتایج مطالعات عددی انجام شده، دو نمونه آزمایشگاهی از اتصالات تیر به ستون همراه با براکت‌های کایزر که توسط Scott M. Adan و William Gibb در سال ۲۰۰۹ مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار گرفتند [۱۷]، انتخاب شده است. یکی از نمونه‌ها دارای کایزر سری W و نمونه‌ی دیگر دارای کایزر سری B می‌باشد. مدل‌سازی‌ها با ابعاد واقعی، همراه با مشخصات مصالح معرفی شده در گزارش‌های ارائه شده توسط Scott M. Adan و William Gibb انجام شده است. بارگذاری استاندارد روی نمونه‌ها نیز مطابق نمونه‌های مرجع، از بارگذاری استاندارد ارائه شده در آیین‌نامه ATC-24 تبعیت می‌کند. مشخصات این دو نمونه در جدول ۵-۲ آورده شده است.

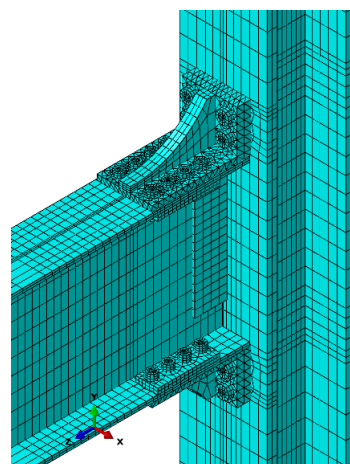
جدول ۵-۲: مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی انتخاب شده برای صحت‌سنجی

ردیف	نام نمونه	مقطع تیر	مقطع ستون	نوع کایزر	بارگذاری استاندارد
۱	HH-6	W30×108	W14×233	B2.1	ATC-24
۲	HH-9	W24×55	W14×132	W3.1	ATC-24

نمونه‌های عددی مدل‌سازی شده در شکل ۵-۲۵ نشان داده شده‌اند.



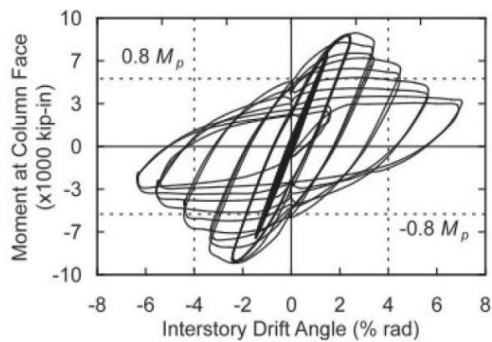
(ب)



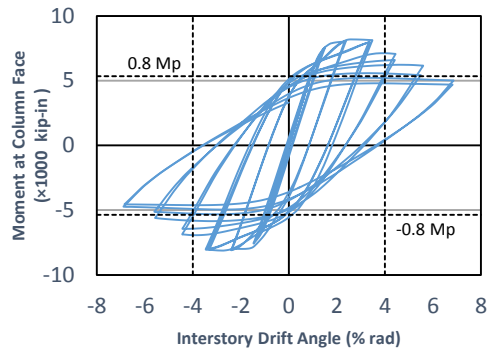
(الف)

شکل ۵-۲۵: مدل‌سازی عددی نمونه‌های آزمایشگاهی، (الف) HH-6 (ب) HH-9

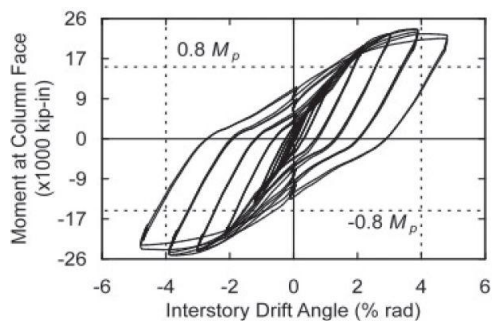
منحنی‌های هیستریزیس نمونه‌های عددی و آزمایشگاهی در شکل ۵-۲۶ آورده شده است.



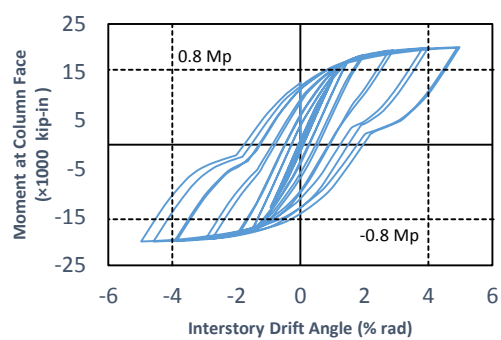
HH-9 (Experimental)



HH-9 (Numerical)



HH-6 (Experimental)



HH-6 (Numerical)

شکل ۵-۲۶: منحنی هیستریزیس نمونه‌های عددی و آزمایشگاهی

همانطور که مشخص است نتایج آنالیزهای عددی تطابق خوبی با گزارش‌های آزمایشگاهی

Scott M. Adan و همکاران دارد و نشان می‌دهد که مدل‌های عددی می‌توانند رفتار زیرسازه‌های

مورد نظر را با دقت مناسبی شبیه‌سازی کند.

ع- فصل ششم

ارائه مثال های عددی و ارزیابی نتایج

۶-۱- کلیات

با توجه به مطالب بیان شده در فصول گذشته، در این فصل به معرفی مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار آباکوس می‌پردازیم. بررسی عددی نمونه‌ها در دو مرحله‌ی کلی صورت گرفته است. در مرحله اول به بررسی عملکرد پروفیل‌های فولادی رایج در ایران به منظور تأیید یا رد کاربرد آنها همراه با اتصال خمشی کایزر پرداخته شده است. از آنجا که آیین‌نامه AISC-358 در توضیحات خود برای مقاطع مجاز برای کاربرد با اتصال کایزر تنها مقاطع بال پهن نورد شده^۱ و مقاطع I شکل ساخته شده از ورق^۲ را مجاز دانسته، بنابراین در حالتی که مقاطع مورد نظر غیر از این دو نوع باشند (همانند مقطعی که در ایران رایج هستند) باید مطالعات آزمایشگاهی و یا عددی برای اطمینان از عملکرد مناسب این مقاطع همراه با اتصالات کایزر صورت پذیرد. برای این منظور ابتدا با توجه به خصوصیات و محدودیت‌های مطرح شده در آیین‌نامه AISC-358، مقطعی که از لحاظ هندسی در محدوده مجاز آیین‌نامه‌ای قرار داشتند شناسایی شد، به دلیل حجم بسیار بالای آنالیزهای عددی صورت گرفته برای هر نمونه، چه از نظر حجم اطلاعات خروجی نرم‌افزار و چه از نظر مدت زمان آنالیز، و نیز بدلیل تعدد بسیار زیاد نمونه‌های مورد بررسی، در این پایان‌نامه تمرکز مطالعه بر روی مقاطع تیرآهن‌های نیم‌پهن IPE و تیرآهن‌های عریض IPB نوع سبک خواهد بود.

در مرحله دوم، جهت بهبود عملکرد مجموعه‌ی اتصال صلب تیر به ستون همراه با براکت کایزر، سه راهکار مورد ارزیابی عددی قرار گرفته است. با توجه به این که هندسه‌ی طراحی شده برای اتصال کایزر در انحصار مؤسسه "ICF Kaiser Engineering" است، راهکارهای پیشنهادی برای بهبود عملکرد اتصال، فارغ از هندسه اتصال می‌باشند. این سه راهکار عبارتند از تغییر در نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، افزودن ورق‌های پیوستگی در محل‌های مناسب به منظور بهره‌گیری حداکثری از چشمه اتصال

۱ . Rolled Wide Flange

۲ . Built-up I-shaped member

بزرگ فراهم شده توسط براکت کایزر، و نیز بررسی اثر ضریب اصطکاک سطوح فولادی بر عملکرد اتصال. در بخش‌های بعد توضیحات کامل‌تری در مورد هر یک از موارد ذکر شده ارائه خواهد شد.

۲-۶- بررسی عملکرد پروفیل‌های فولادی رایج در ایران به منظور تأیید یا رد کاربرد آنها با اتصال خمشی کایزر

همان گونه که در بخش ۶-۱ گفته شد با توجه به محدودیت‌های هندسی آیین‌نامه AISC-358 مقاطع مجاز برای استفاده بعنوان تیر مشخص شدند. نتایج این بررسی‌ها بدین شرح است :

مقاطع تیرآهن نیم‌پهن IPE مجاز برای کاربرد همراه با اتصالات کایزر سری W :

IPE600, IPE550, IPE500, IPE450, IPE400, IPE360, IPE330

مقاطع تیرآهن عریض IPB نوع سبک مجاز برای کاربرد همراه با اتصالات کایزر سری W :

IPB160, IPB180, IPB200, IPB220, IPB240, IPB260, IPB280, IPB300, IPB320,

IPB340, IPB360, IPB400, IPB450

مقاطع تیرآهن نیم‌پهن IPE مجاز برای کاربرد همراه با اتصالات کایزر سری B :

هیچکدام از مقاطع تیرآهن نیم‌پهن IPE برای کاربرد با این نوع از اتصال کایزر مجاز نیستند.

مقاطع تیرآهن عریض IPB نوع سبک مجاز برای کاربرد همراه با اتصالات کایزر سری B :

IPB260, IPB280, IPB300, IPB320, IPB340, IPB360, IPB400, IPB450

روند طراحی ارائه شده در فصل چهارم برای تمامی تیرهای فوق طی شده (طراحی بر اساس حداکثر ظرفیت خمشی تیرها صورت گرفته است) و بدین ترتیب برای هر یک، مقطع ستون و براکت کایزر بنحوی که حداقل ملزومات آیین‌نامه را ا قناع کنند انتخاب شده است. تیرها I شکل بوده و مشخصات هندسی براکت‌ها از AISC-358 گرفته شده است [۲۰] ، مشخصات هندسی پیچ‌ها و

پیش‌تنیدگی آنها طبق ضوابط RCSC [۲۴] است. مطابق ضوابط آیین‌نامه AISC-358 در تمامی نمونه‌ها نیاز به ورق پیوستگی و ورق برشگیر بوده است. بارگذاری چرخه‌ای استاندارد استفاده شده مطابق AISC-341 است [۲۳]. توضیحات بیشتر درباره نمونه‌های هر دسته در بخش‌های بعد ارائه خواهد شد.

۶-۲-۱- بررسی مقاطع تیرآهن نیم‌پهن IPE و تیرآهن عریض IPB سبک همراه با اتصال کایزر سری W

در جدول ۶-۱ مشخصات نمونه‌های این گروه، شامل مقاطع تیر و ستون، نوع براکت کایزر، نیروهای پیش‌تنیدگی و ضریب اصطکاک بین سطوح آورده شده است. به منظور ارزیابی عملکرد ستون‌های قوطی شکل در ترکیب با اتصال کایزر، زمانی که پهنای بال تیرها به حداکثر پهنای بال تیرآهن‌های عریض رایج در ایران رسیده (یعنی ۳۰۰ میلیمتر) از ستون قوطی شکل با ابعاد ۴۰×۴۰ سانتیمتر استفاده شده است.

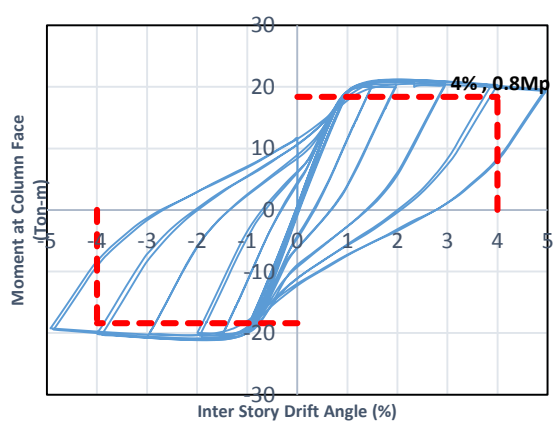
جدول ۶-۱: مشخصات نمونه‌های دارای کایزر سری W

نام نمونه	تیر	ستون	نوع کایزر	نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال ستون (Kg)	ضریب اصطکاک
HH-IPE330-IPB500-W3.0	IPE330	IPB500	W3.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳
HH-IPE360-IPB500-W3.0	IPE360	IPB500	W3.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳
HH-IPE400-IPB500-W3.1	IPE400	IPB500	W3.1	۷۰۳۰۷	۰/۳۳
HH-IPE450-IPB500-W2.0	IPE450	IPB500	W2.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳
HH-IPE500-IPB500-W2.0	IPE500	IPB500	W2.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳
HH-IPE550-IPB600-W2.1	IPE550	IPB600	W2.1	۷۰۳۰۷	۰/۳۳
HH-IPE600-IPB600-W2.1	IPE600	IPB600	W2.1	۷۰۳۰۷	۰/۳۳
HH-IPB160-IPB500-W3.0	IPB160	IPB500	W3.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳

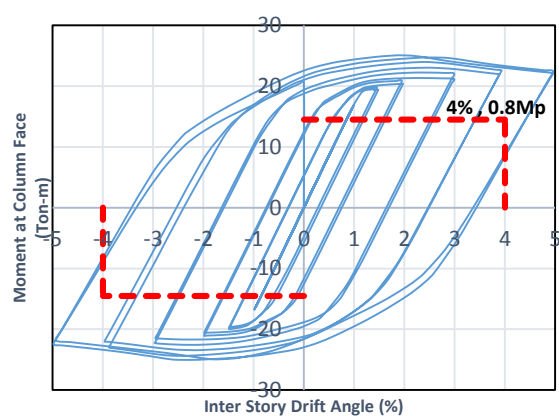
HH-IPB180-IPB500-W3.0	IPB180	IPB500	W3.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳
HH-IPB200-IPB500-W3.0	IPB200	IPB500	W3.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳
HH-IPB220-IPB500-W3.1	IPB220	IPB500	W3.1	۷۰۳۰۷	۰/۳۳
HH-IPB240-IPB500-W2.0	IPB240	IPB500	W2.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳
HH-IPB260-IPB500-W2.0	IPB260	IPB500	W2.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳
HH-IPB280-IPB500-W2.0	IPB280	IPB500	W2.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳
HB-IPB300-BOX400-W2.0	IPB300	BOX40×40×2.54	W2.0	۵۷۶۰۰	۰/۳۳
HB-IPB320-BOX400-W2.1	IPB320	BOX40×40×2.54	W2.1	۷۰۳۰۷	۰/۳۳
HB-IPB340-BOX400-W2.1	IPB340	BOX40×40×2.54	W2.1	۷۰۳۰۷	۰/۳۳
HB-IPB360-BOX400-W2.1	IPB360	BOX40×40×2.54	W2.1	۷۰۳۰۷	۰/۳۳
HB-IPB400-BOX400-W1.0	IPB400	BOX40×40×3.8	W1.0	۷۰۳۰۷	۰/۳۳
HB-IPB450-BOX400-W1.0	IPB450	BOX40×40×3.8	W1.0	۷۰۳۰۷	۰/۳۳

منحنی هیستریزیس این نمونه‌های عددی پس از اعمال بارگذاری چرخه‌ای استاندارد و انجام

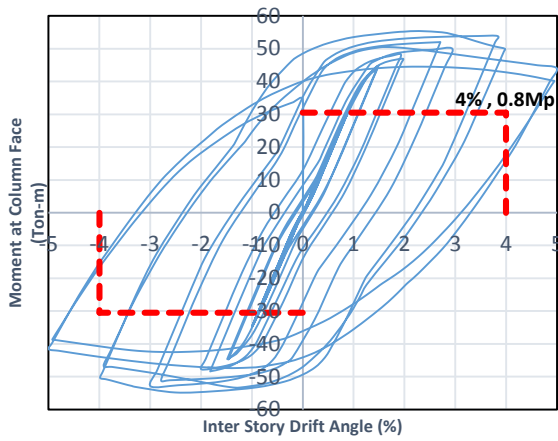
تحلیل، در شکل ۶-۱ آورده شده است.



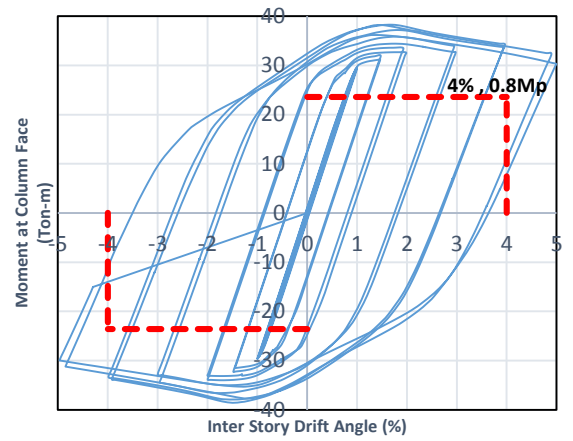
HH-IPE360-IPB500-W3.0



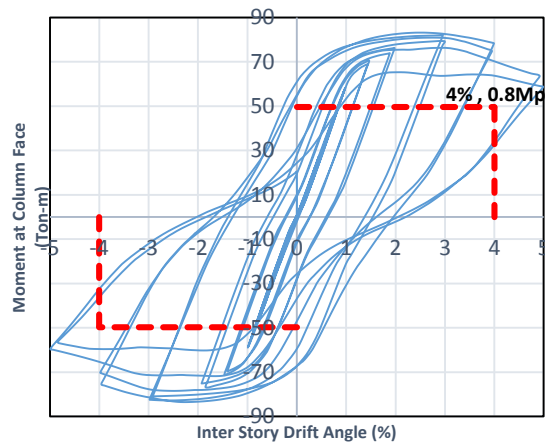
HH-IPE330-IPB500-W3.0



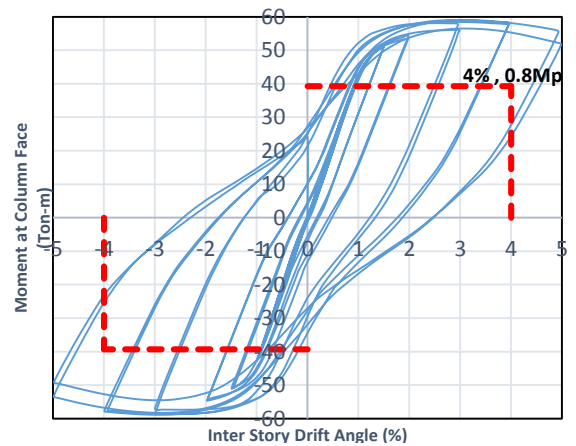
HH-IPE450-IPB500-W2.0



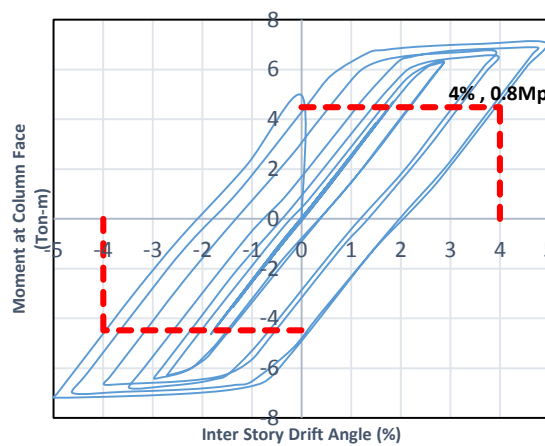
HH-IPE400-IPB500-W3.1



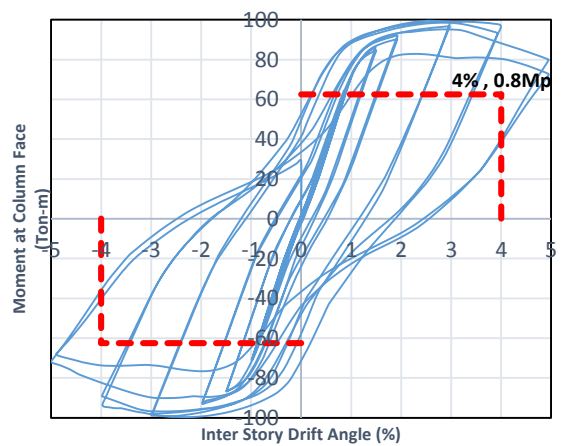
HH-IPE550-IPB600-W2.1



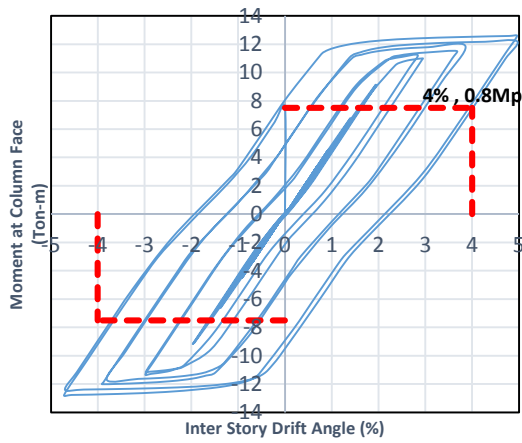
HH-IPE500-IPB500-W2.0



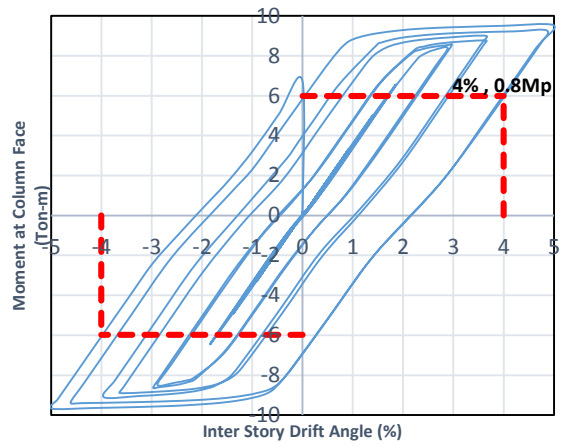
HH-IPB160-IPB500-W3.0



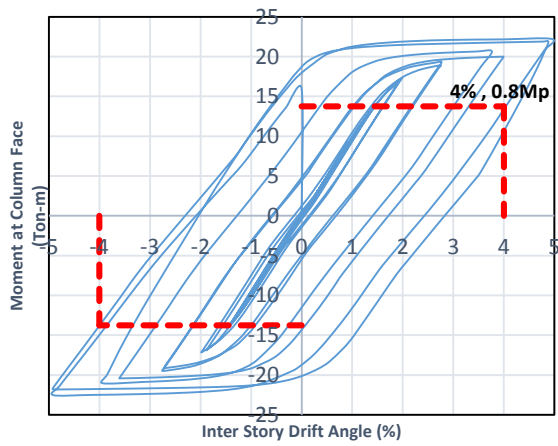
HH-IPE600-IPB600-W2.1



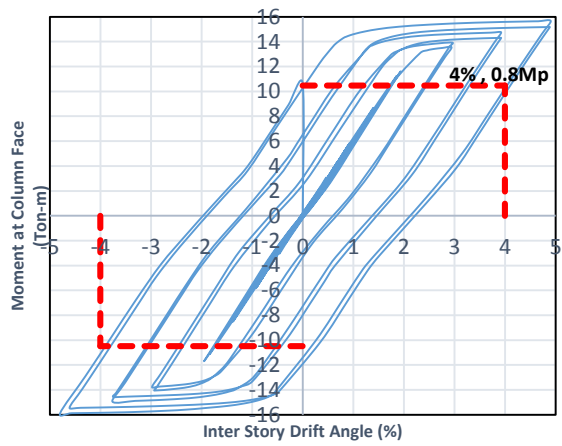
HH-IPB200-IPB500-W3.0



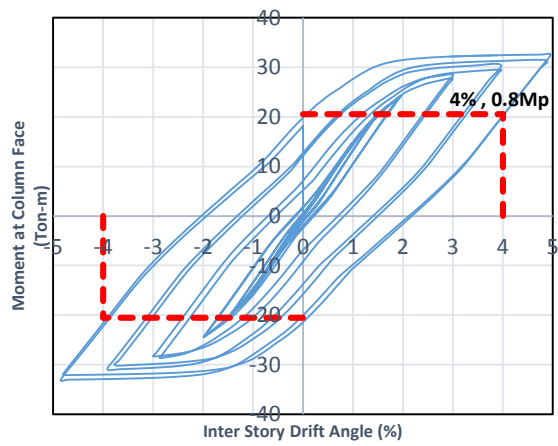
HH-IPB180-IPB500-W3.0



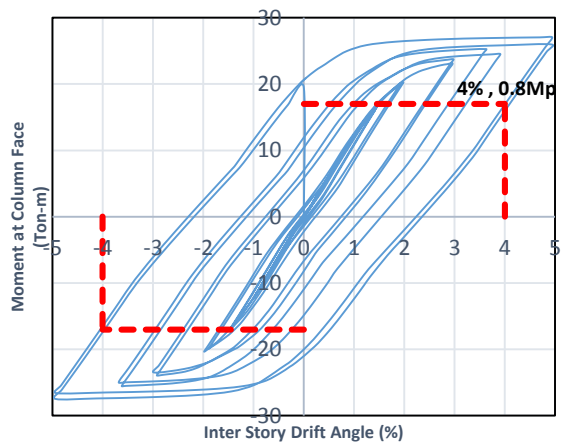
HH-IPB240-IPB500-W2.0



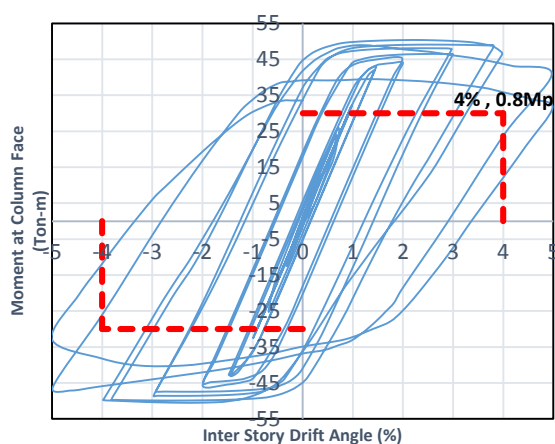
HH-IPB220-IPB500-W3.1



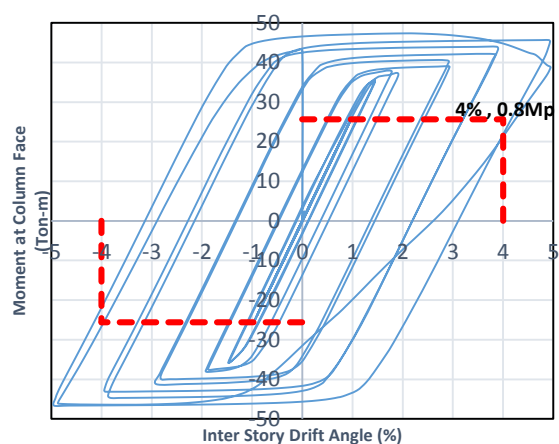
HH-IPB280-IPB500-W2.0



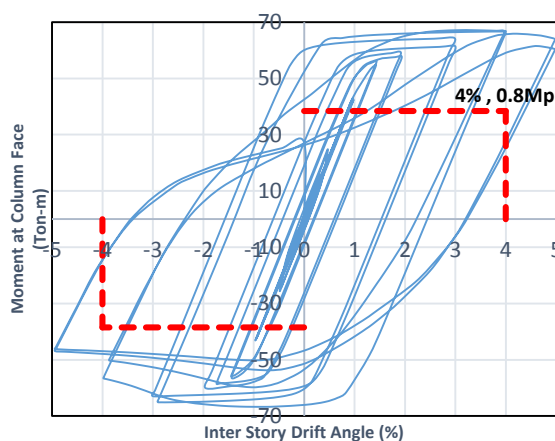
HH-IPB260-IPB500-W2.0



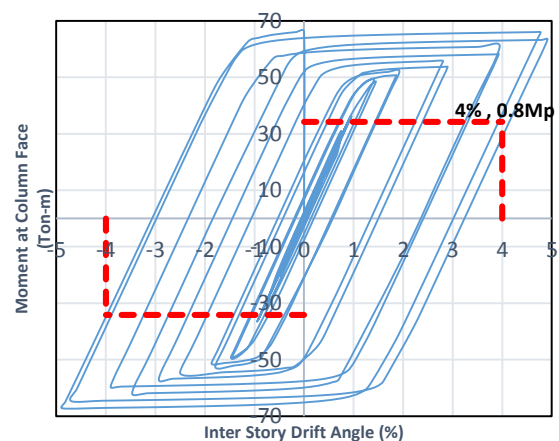
HB-IPB320-BOX400-W2.1



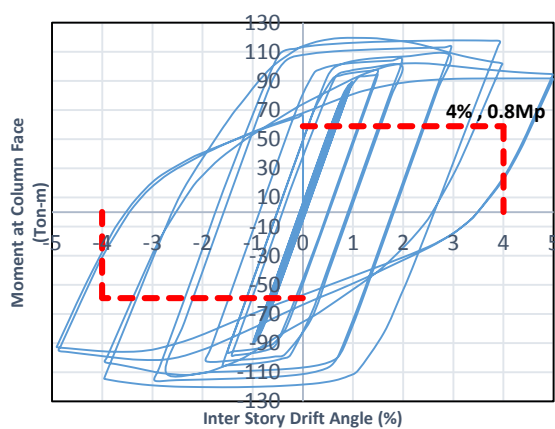
HB-IPB300-BOX400-W2.0



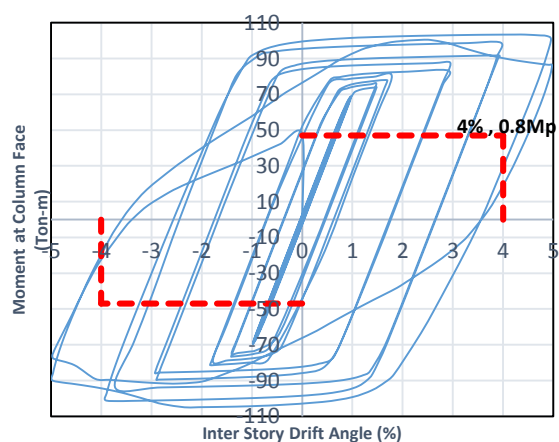
HB-IPB360-BOX400-W2.1



HB-IPB340-BOX400-W2.1



HB-IPB450-BOX400-W1.0



HB-IPB400-BOX400-W1.0

شکل ۶-۱: منحنی هیستریزیس نمونه‌های عددی دارای کایزر سری W

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 فرارترجایی 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 تغییر مکان جانبی نسبی طبقه حداقل به 0.02 رادیان برسد که حدود 0.01 رادیان آن در ناحیه فرارترجایی باشد [۲۵]. به بیانی دیگر، قاب‌های خمشی متوسط در دوران 0.02 رادیان، باید حداقل مقاومت خمشی $0.8M_p$ را تأمین نمایند ($M_p = F_y Z_x$: لنگر پلاستیک مقطع) [۲۳].

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 فرارترجایی 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 0.04 رادیان برسد که حدود 0.03 رادیان آن در ناحیه فرارترجایی باشد [۲۵]. به بیانی دیگر، قاب‌های خمشی ویژه در دوران 0.04 رادیان، باید حداقل مقاومت خمشی $0.8M_p$ را تأمین نمایند ($M_p = F_y Z_x$: لنگر پلاستیک مقطع) [۲۳].

میزان اتلاف انرژی کل و سختی اولیه نمونه‌های دارای کایزر سری W در جدول ۶-۲ آمده است.

جدول ۶-۲: میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه‌های دارای کایزر سری W

نام نمونه	اتلاف انرژی کل (ژول)	سختی اولیه ($\frac{\text{نیوتن}}{\text{متر}}$)
HH-IPE330-IPB500-W3.0	۱۵۲۰۲۶	۸۵۰۳۲۹
HH-IPE360-IPB500-W3.0	۱۰۲۹۳۸	۱۱۱۸۳۰۶
HH-IPE400-IPB500-W3.1	۲۳۹۱۹۱	۱۵۳۵۶۸۸
HH-IPE450-IPB500-W2.0	۲۷۳۵۷۱	۱۷۷۲۸۲۱

HH-IPE500-IPB500-W2.0	۲۴۷۶۵۸	۲۱۹۸۶۵۲
HH-IPE550-IPB600-W2.1	۳۵۷۳۶۴	۲۹۸۴۳۰۳
HH-IPE600-IPB600-W2.1	۴۱۳۷۱۰	۳۶۵۴۳۳۳
HH-IPB160-IPB500-W3.0	۱۸۵۸۴	۱۲۵۲۰۴
HH-IPB180-IPB500-W3.0	۲۶۳۵۱	۱۷۶۳۵۴
HH-IPB200-IPB500-W3.0	۳۵۸۲۹	۲۴۰۴۶۲
HH-IPB220-IPB500-W3.1	۴۷۱۷۶	۳۰۸۲۷۸
HH-IPB240-IPB500-W2.0	۷۹۱۰۳	۴۸۷۰۶۶
HH-IPB260-IPB500-W2.0	۸۸۲۳۲	۶۰۶۰۸۲
HH-IPB280-IPB500-W2.0	۹۹۶۱۵	۷۳۷۹۶۶
HB-IPB300-BOX400-W2.0	۲۴۹۴۱۷	۱۳۰۲۵۸۶
HB-IPB320-BOX400-W2.1	۲۰۷۵۶۱	۱۸۳۷۹۱۱
HB-IPB340-BOX400-W2.1	۳۵۹۵۳۱	۲۰۷۹۳۴۳
HB-IPB360-BOX400-W2.1	۳۳۶۴۶۹	۲۶۱۱۲۸۷
HB-IPB400-BOX400-W1.0	۶۳۱۰۹۳	۳۶۲۵۴۲۵
HB-IPB450-BOX400-W1.0	۶۹۶۹۲۰	۴۸۲۵۹۹۷

نتایج بررسی منحنی‌های هیستریزیس ارائه شده در شکل ۶-۱ و اطلاعات استخراج شده از آنها در جدول ۶-۲ نشان می‌دهد که مقاطع IPE هنگام کاربرد با کایزرهای سری W همگی شرایط آیین‌نامه‌ای را برای قرار گرفتن در زمره اتصالات صلب اقناع می‌کنند و توانایی تحمل تغییر شکل‌های فراررتجاعی محدود در سیستم‌های قاب خمشی متوسط و نیز تحمل تغییر شکل‌های فراررتجاعی قابل ملاحظه در سیستم‌های قاب خمشی ویژه در هنگام وارد شدن نیروهای جانبی زلزله را دارند. در تمامی نمونه‌ها با افزایش شماره مقطع میزان سختی اولیه اتصال روند افزایشی داشته است، اما میزان اتلاف

انرژی کل اتصال در مواردی با افزایش شماره مقطع دچار کاهش شده است که در وهله اول کمی غیر منطقی به نظر می‌رسد، علت این امر را می‌توان اینگونه مطرح کرد که، در انتخاب براکتهای کایزر برای هر مقطع، سعی بر این بوده که کوچکترین و ضعیفترین براکتی که می‌تواند اتصال صلب را برای آن تیر تأمین کند انتخاب شده است، بعنوان مثال در نمونه‌های دارای تیر با مقطع IPE450 و IPE500 علی‌رغم افزایش شماره مقطع و افزایش سختی اولیه اتصال، شاهد کاهش ۱۰ درصدی میزان اتلاف انرژی هستیم که با انتخاب براکتی بزرگتر برای این اتصال این موضوع قابل حل است.

مقاطع تیرآهن‌های عریض IPB سبک در ترکیب با اتصالات کایزر رفتار چرخه‌ای متفاوتی با مقاطع تیرآهن نیم پهن IPE داشته‌اند، این موضوع با مشاهده منحنی‌های هیستریزیس این دسته مشخص می‌شود. با توجه به شکل ۶-۱ مقاطع با شماره‌های IPB160 تا IPB220 در تأمین شرایط اتصالات صلب برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه دچار ضعف بوده‌اند، این مقاطع با اینکه مقاومت خمشی مورد انتظار آیین‌نامه را اقلان کرده‌اند، اما شکل‌پذیری آنها در محدوده مجاز تعیین شده توسط آیین‌نامه قرار ندارد. مقاطع تیرآهن عریض سبک با شماره‌های IPB240 تا IPB450 هم شرایط قاب‌های خمشی متوسط و هم قاب‌های خمشی ویژه را اقلان کرده‌اند و برای استفاده در این قاب‌ها مجاز هستند. استفاده از ستون‌های قوطی شکل در ترکیب با مقاطع عریض IPB سبک باعث شده اتصال در چرخه‌های نخست بارگذاری سختی اولیه بالایی را تجربه کند، که این پدیده می‌تواند علت عملکرد ضعیف در برخی از نمونه‌ها در دررفت‌های بالاتر از ۰/۰۴ رادیان باشد، بسیاری از مقاطع IPB بکار رفته همراه با ستون‌های قوطی شکل، تا دررفت ۰/۰۴ رادیان دارای سختی اولیه بالا و عملکردی یکنواخت در چرخه‌های متوالی هستند، اما با رسیدن زاویه تغییر شکل درون طبقه‌ای به ۰/۰۵ رادیان به یکباره دچار کاهش سختی و لنگر در بر ستون شده‌اند، این افت مقاومت‌ها همواره در محدوده مجاز بوده و سبب بروز خرابی‌های خارج از محدوده مجاز نشده است.

۲-۲-۶- بررسی مقاطع تیر آهن عریض IPB سبک همراه با اتصال کایزر سری B

در جدول ۳-۶ مشخصات نمونه‌های این گروه، شامل مقاطع تیر و ستون، نوع براکت کایزر،

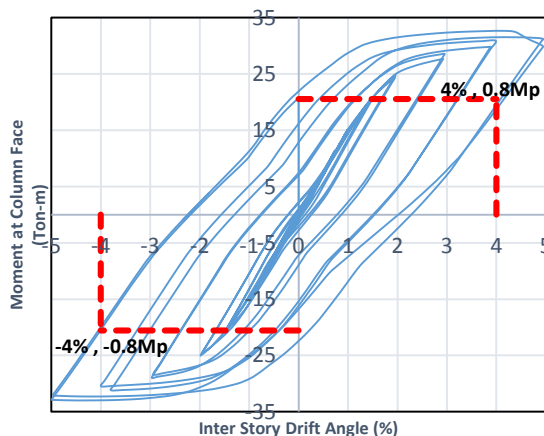
نیروهای پیش‌تنیدگی، و ضریب اصطکاک بین سطوح آورده شده است.

جدول ۳-۶: مشخصات نمونه‌های دارای کایزر سری B

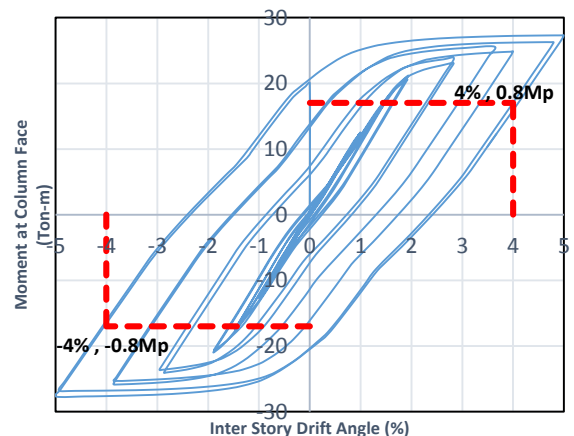
نام نمونه	تیر	ستون	نوع کایزر	نیروی پیش‌تنیدگی پیچ بال ستون (Kg)	نیروی پیش‌تنیدگی پیچ بال تیر (Kg)	ضریب اصطکاک
HH-IPB260-IPB500-B2.1	IPB260	IPB500	B2.1	۷۰۳۰۷	۳۸۱۰۰	۰/۳۳
HH-IPB280-IPB500-B2.1	IPB280	IPB500	B2.1	۷۰۳۰۷	۳۸۱۰۰	۰/۳۳
HH-IPB300-IPB500-B2.1	IPB300	IPB500	B2.1	۷۰۳۰۷	۳۸۱۰۰	۰/۳۳
HH-IPB320-IPB500-B2.1	IPB320	IPB500	B2.1	۷۰۳۰۷	۳۸۱۰۰	۰/۳۳
HH-IPB340-IPB500-B2.1	IPB340	IPB500	B2.1	۷۰۳۰۷	۳۸۱۰۰	۰/۳۳
HH-IPB360-IPB500-B2.1	IPB360	IPB500	B2.1	۷۰۳۰۷	۳۸۱۰۰	۰/۳۳
HH-IPB400-IPB500-B2.1	IPB400	IPB500	B2.1	۷۰۳۰۷	۳۸۱۰۰	۰/۳۳
HH-IPB450-IPB500-B2.1	IPB450	IPB500	B2.1	۷۰۳۰۷	۳۸۱۰۰	۰/۳۳

منحنی هیستریزیس این نمونه‌های عددی پس از اعمال بارگذاری چرخه‌ای استاندارد و انجام

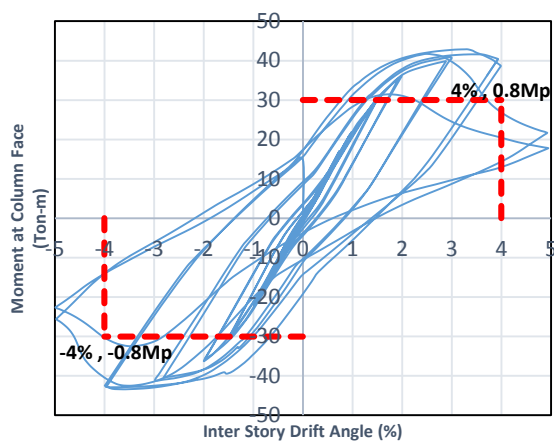
تحلیل، در شکل ۲-۶ آورده شده است.



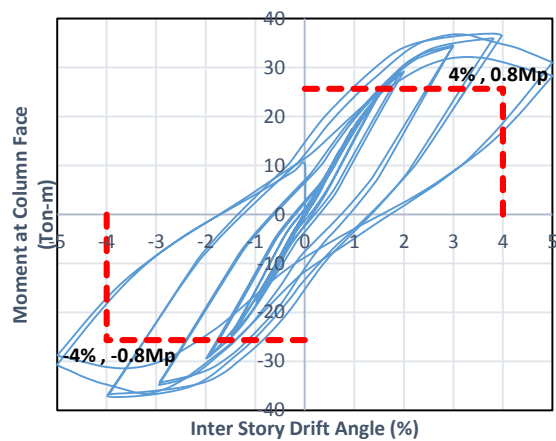
HH-IPB280-IPB500-B2.1



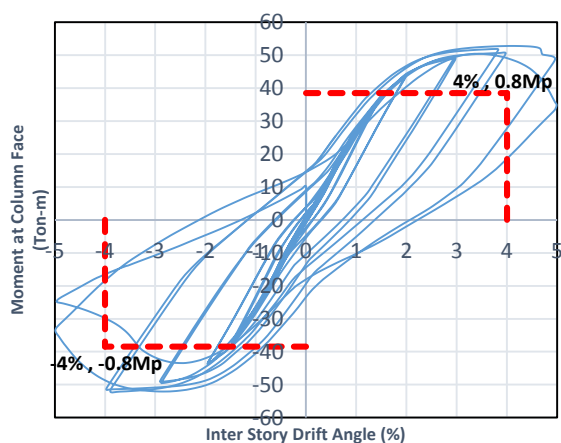
HH-IPB260-IPB500-B2.1



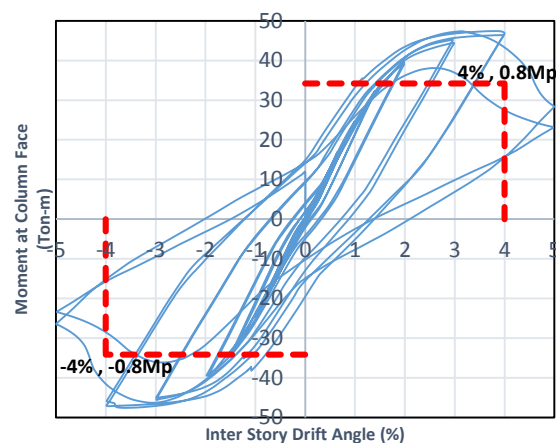
HH-IPB320-IPB500-B2.1



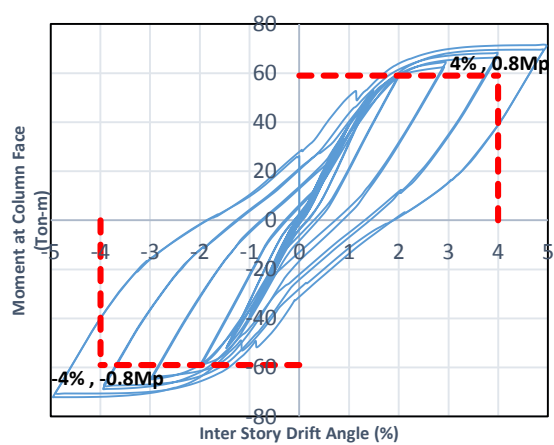
HH-IPB300-IPB500-B2.1



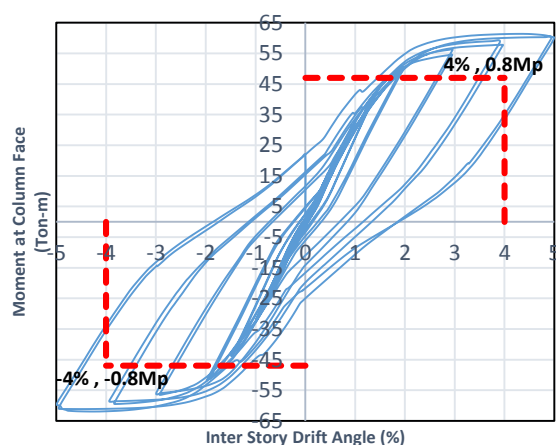
HH-IPB360-IPB500-B2.1



HH-IPB340-IPB500-B2.1



HH-IPB450-IPB500-B2.1



HH-IPB400-IPB500-B2.1

شکل ۶-۲: منحنی هیستریزیس نمونه‌های عددی دارای کایزر سری B

میزان اتلاف انرژی کل و سختی اولیه نمونه‌های دارای کایزر سری B در جدول ۴-۶ آمده است.

جدول ۴-۶: میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه‌های دارای کایزر سری B

نام نمونه	اتلاف انرژی کل (ژول)	سختی اولیه ($\frac{\text{نیوتن}}{\text{متر}}$)
HH-IPB260-IPB500-B2.1	۹۳۵۰۷	۶۳۰۹۶۲
HH-IPB280-IPB500-B2.1	۱۰۰۱۵۷	۷۵۶۰۴۲
HH-IPB300-IPB500-B2.1	۱۰۶۰۶۲	۹۱۷۳۲۷
HH-IPB320-IPB500-B2.1	۱۱۹۲۴۸	۱۱۵۱۱۲۹
HH-IPB340-IPB500-B2.1	۱۳۳۴۰۵	۱۲۷۹۶۶۴
HH-IPB360-IPB500-B2.1	۱۵۰۰۲۱	۱۴۲۹۶۸۹
HH-IPB400-IPB500-B2.1	۱۷۲۸۸۴	۱۷۱۴۳۶۵
HH-IPB450-IPB500-B2.1	۲۱۱۶۸۰	۲۰۱۴۹۹۱

بررسی نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های این بخش و منحنی‌های هیستریزس شکل ۲-۶ و نتایج استخراج شده در جدول ۴-۶ مشخص می‌شود که مقاطع تیرآهن‌های عریض سبک با شماره‌های IPB260 تا IPB450 الزامات قاب‌های خمشی متوسط و ویژه را اقماع کرده و توانایی تحمل تغییر شکل‌های فرارترجاعی محدود در سیستم‌های قاب خمشی متوسط و نیز تحمل تغییر شکل‌های فرارترجاعی قابل ملاحظه در سیستم‌های قاب خمشی ویژه در هنگام وارد شدن نیروهای جانبی زلزله را دارند و برای استفاده در این نوع قاب‌ها بلامانع هستند. در تمامی نمونه‌ها با افزایش شماره مقطع طی روندی منطقی سختی اولیه و میزان اتلاف انرژی کل اتصال افزایش پیدا کرده است.

۳-۶- بررسی اثر نیروی پیش‌تنیدگی بر عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر

برای بررسی اثر پیش‌تنیدگی بر عملکرد مجموعه‌ی اتصال کایزر و تیر و ستون‌ها، چهار نمونه از نمونه‌های مورد بررسی در بخش ۶-۲ انتخاب شدند، دو نمونه دارای کایزر سری W، و دو نمونه دارای کایزر سری B هستند. توضیحات مربوط به هر نمونه در بخش‌های بعد ارائه خواهد شد.

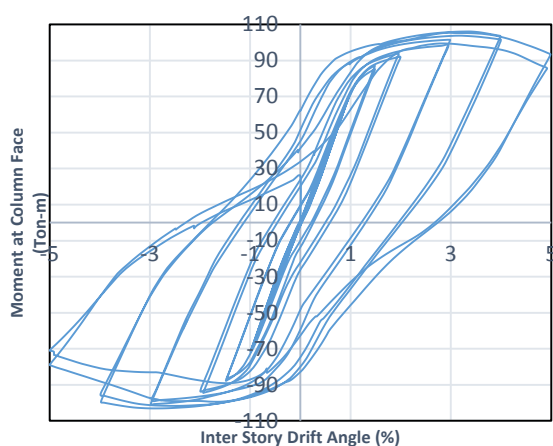
۳-۶-۱- بررسی اثر نیروی پیش‌تنیدگی بر روی نمونه‌های دارای کایزر سری W

مشخصات مدل‌های انتخاب شده از نمونه‌های دارای کایزر سری W در جدول ۵-۶ آورده شده است. به منظور بررسی دقیق‌تر اثر میزان نیروی پیش‌تنیدگی بر عملکرد اتصال، نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها در نمونه شماره ۱ طی چهار مرحله از حداقل نیروی پیش‌تنیدگی مجاز به حداکثر نیروی پیش‌تنیدگی اسمی مجاز رسانده شده است، در نمونه شماره ۲، نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها طی سه گام افزایش داده شده است.

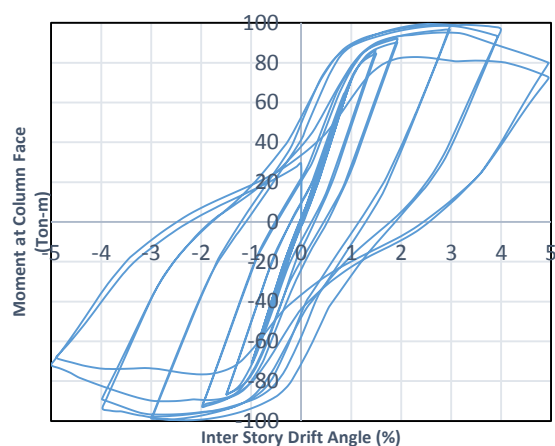
جدول ۵-۶: مشخصات نمونه‌های انتخابی دارای کایزر سری W برای تغییر نیروی پیش‌تنیدگی

ردیف	نام نمونه	تیر	ستون	نوع کایزر	قطر پیچ ستون (میلیمتر)	ضریب اصطکاک
۱	HH-IPE600-IPB600-W2.1	IPE600	IPB600	W2.1	۳۸	۰/۳۳
۲	HH-IPE500-IPB500-W2.0	IPE500	IPB500	W2.0	۳۵	۰/۳۳

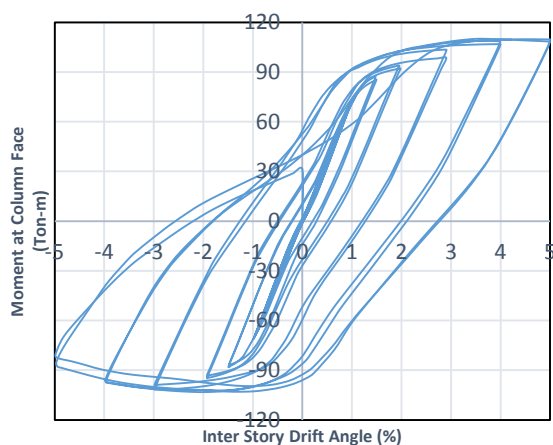
منحنی‌های هیستریزس حالت‌های مختلف پیش‌تنیدگی پیچ‌ها در نمونه شماره ۱ در شکل ۳-۶ آورده شده‌اند.



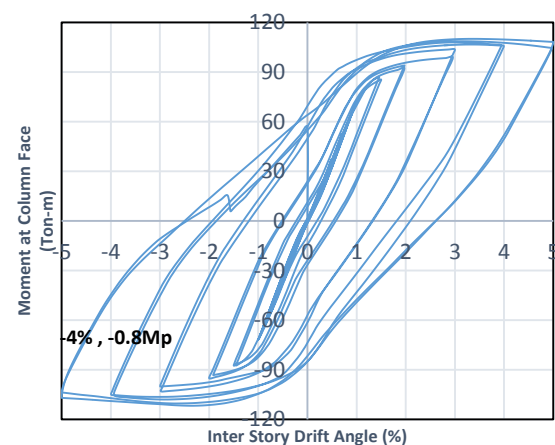
HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)



HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)



HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)

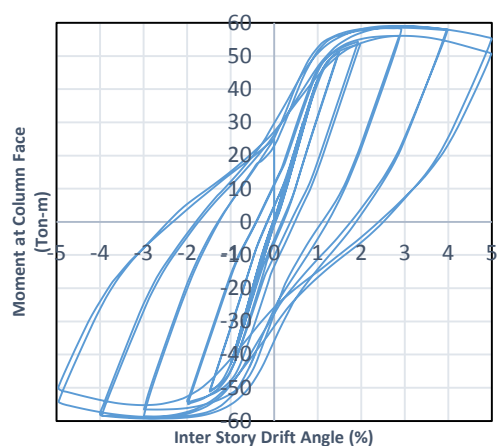


HH-IPE600-IPB600-W2.1(84.368 Ton PT)

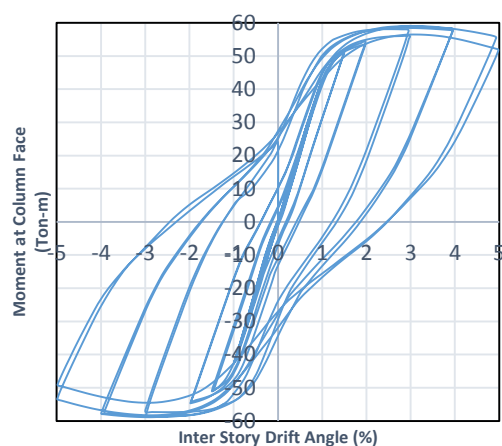
شکل ۳-۶: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، تحت نیروهای پیش‌تنیدگی مختلف

منحنی‌های هیستریزیس حالت‌های مختلف پیش‌تنیدگی پیچ‌ها در نمونه شماره ۲ در شکل ۴-۶

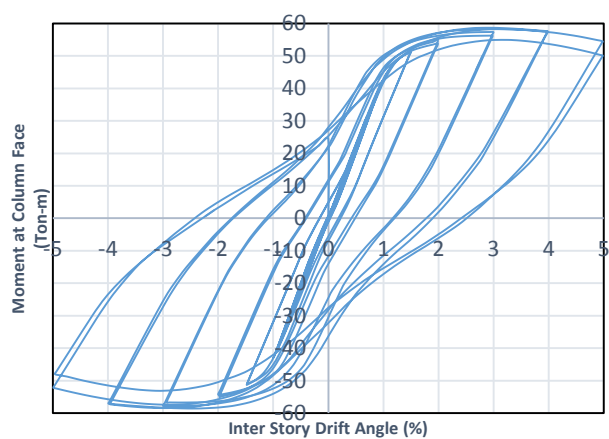
آورده شده‌اند.



HH-IPE500-IPB500-W2.0(66.2 Ton PT)



HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.6 Ton PT)



HH-IPE500-IPB500-W2.0(72.1 Ton PT)

شکل ۴-۶: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، تحت نیروهای پیش‌تنیدگی مختلف

میزان اتلاف انرژی کل و سختی اولیه نمونه‌های دارای کایزر سری W در جدول ۶-۶ آمده است.

جدول ۶-۶: میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه‌های با پیش‌تنیدگی متفاوت، و دارای کایزر سری W

نام نمونه	نیروی پیش‌تنیدگی (کیلوگرم)	اتلاف انرژی کل (ژول)	سختی اولیه ($\frac{\text{نیوتن}}{\text{متر}}$)
HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)	۷۰۳۰۷	۴۱۳۷۱۰	۳۶۵۴۳۳۳
HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)	۷۷۳۳۸	۴۶۰۲۸۱	۳۶۵۷۱۷۰
HH-IPE600-IPB600-W2.1(84.368 Ton PT)	۸۴۳۶۸	۵۱۱۹۷۱	۳۶۸۵۷۶۰
HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)	۸۵۰۵۸	۴۸۷۷۲۹	۳۶۸۲۵۳۶
HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.6 Ton PT)	۵۷۶۰۰	۲۴۷۶۵۹	۲۲۳۴۲۲۶
HH-IPE500-IPB500-W2.0(66.2 Ton PT)	۶۶۲۰۰	۲۵۰۰۲۳	۲۲۴۳۷۵۰
HH-IPE500-IPB500-W2.0(72.1 Ton PT)	۷۲۱۰۰	۲۴۴۸۳۷	۲۲۲۶۸۷۱

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها هم اتلاف انرژی کل اتصال و هم سختی اولیه‌ی آن روند افزایشی داشته و عملکرد اتصال بهبود یافته است، این افزایش‌ها در نمونه دارای ۸۴۳۶۸ کیلوگرم نیروی پیش‌تنیدگی، نسبت به نمونه مشابه خود که دارای نیروی پیش‌تنیدگی حداقل است به ترتیب ۲۳/۷۵٪ و ۰/۸٪ بوده است. در دو نمونه مورد بررسی تنها در یک مورد با افزایش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، سختی اولیه و اتلاف انرژی کل کاهش یافته، و این موضوع مربوط به زمانی است که نیروی پیش‌تنیدگی به حداکثر مقدار مجاز اسمی رسیده است (این مقدار برای پیچ‌های کایزر W2.0 با قطر اسمی ۳۵ میلیمتر برابر با ۷۲۱۰۰ کیلوگرم و برای پیچ‌های کایزر W2.1 با قطر اسمی ۳۸ میلیمتر مساوی ۸۵۰۵۸ کیلوگرم است) که این موضوع بیانگر این است که در هنگام افزایش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، باید از افزایش بیش از حد این نیرو و رساندن آن به حداکثر تنش مجاز اسمی خودداری نمود. توصیه می‌شود حداکثر مقدار نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، به میزان ۲۰٪ بیشتر از حداقل نیروی پیش‌تنیدگی مجاز محدود گردد.

۶-۳-۲- بررسی اثر نیروی پیش‌تنیدگی بر روی نمونه‌های دارای کایزر سری B

مشخصات مدل‌های انتخاب شده از نمونه‌های دارای کایزر سری B در جدول ۶-۷ آورده شده است. به منظور بررسی دقیق‌تر اثر میزان نیروی پیش‌تنیدگی بر عملکرد اتصال، نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های نمونه شماره ۱ مجموعاً طی هفت مرحله تغییر داده شده‌اند، بدین ترتیب که، در حالت اول هم پیچ‌های بال تیر و هم پیچ‌های بال ستون با حداقل نیروی پیش‌تنیدگی مجاز پیش‌تنیده شده‌اند، در حالت دوم نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال ستون در حالت حداقل مقدار مجاز بوده و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال تیر از مقدار حداقل طی سه گام به مقدار حداکثر رسیده‌اند، سپس برای بررسی اثر پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال ستون، نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال تیر در حالت حداقل مقدار مجاز قرار داده شده و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال ستون طی سه گام از حداقل نیروی پیش‌تنیدگی مجاز به حداکثر نیروی پیش‌تنیدگی اسمی مجاز رسانده شده است.

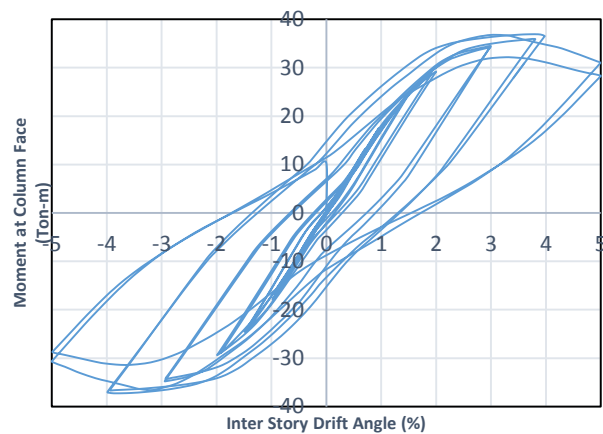
در نمونه شماره ۲، تحلیل بر روی سه حالت صورت گرفته است، در حالت اول هم پیچ‌های بال تیر و هم پیچ‌های بال ستون با حداقل نیروی پیش‌تنیدگی مجاز پیش‌تنیده شده‌اند، در حالت دوم نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال ستون حداقل بوده و نیروی پیچ‌های بال تیر حداکثر مقدار خود را دارند، و حالت سوم عکس حالت قبل است، یعنی پیچ‌های بال تیر حداقل بوده و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال ستون به حداکثر مقدار مجاز خود رسیده‌اند.

جدول ۶-۷: مشخصات نمونه‌های انتخابی دارای کایزر سری B برای تغییر نیروی پیش‌تنیدگی

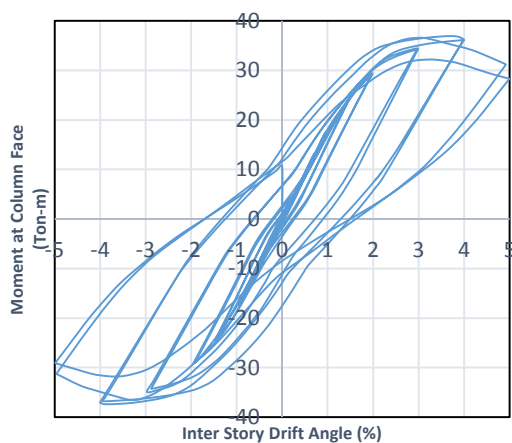
ردیف	نام نمونه	تیر	ستون	نوع کایزر	قطر پیچ تیر (میلی‌متر)	قطر پیچ ستون (میلی‌متر)	ضریب اصطکاک
۱	HH-IPB300-IPB500-B2.1	IPB300	IPB500	B2.1	۲۹	۳۸	۰/۳۳
۲	HH-IPB340-IPB500-B2.1	IPB340	IPB500	B2.1	۲۹	۳۸	۰/۳۳

منحنی‌های هیستریزیس حالت‌های مختلف پیش‌تنیدگی پیچ‌ها در نمونه شماره ۱ در شکل ۵-۶

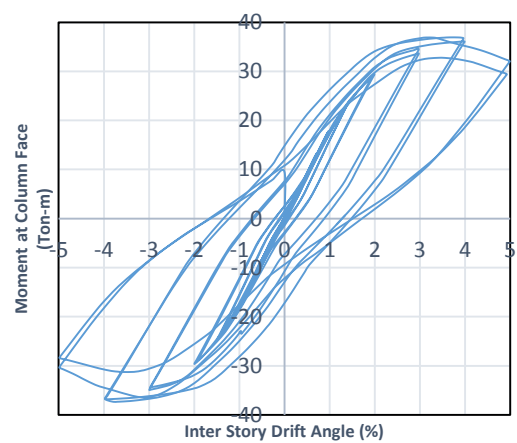
آورده شده‌اند.



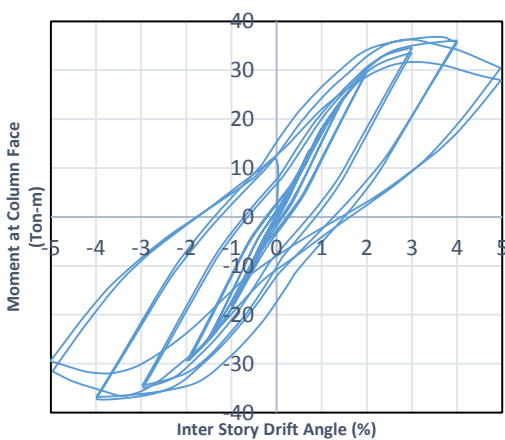
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)



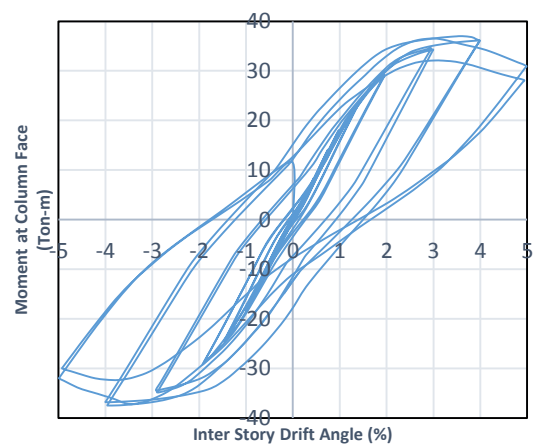
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(45.720 Ton PT)



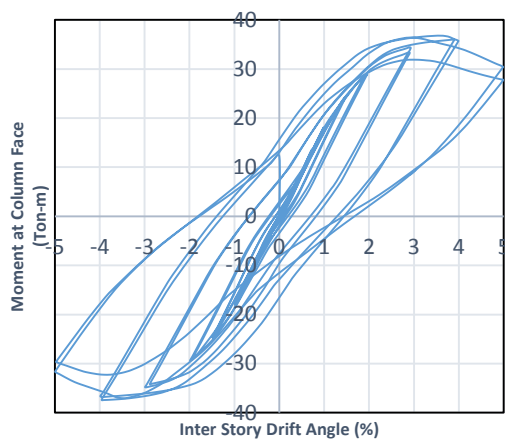
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(41.910 Ton PT)



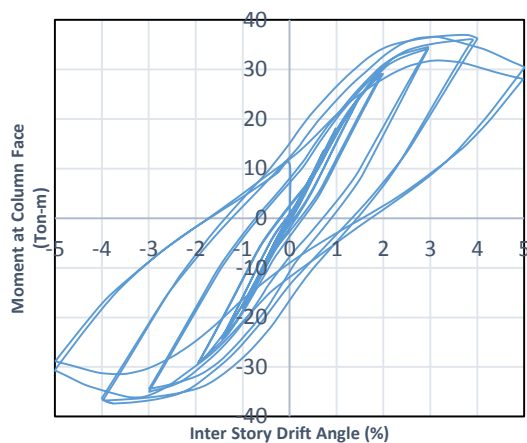
HH-IPB300-IPB500-B2.1(77.338 Ton PT)(38.100 Ton PT)



HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)



HH-IPB300-IPB500-B2.1(85.058 Ton PT)(38.100 Ton PT)

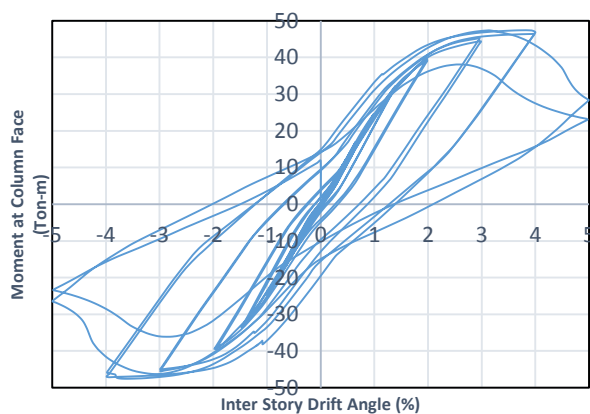


HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)

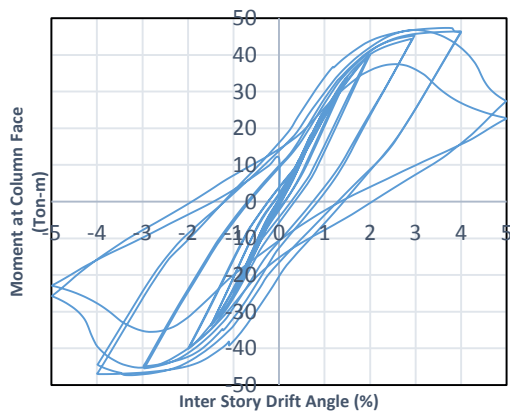
شکل ۵-۶: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، تحت نیروهای پیش‌تنیدگی مختلف

منحنی‌های هیستریزیس حالت‌های مختلف پیش‌تنیدگی پیچ‌ها در نمونه شماره ۲ در شکل ۶-۶

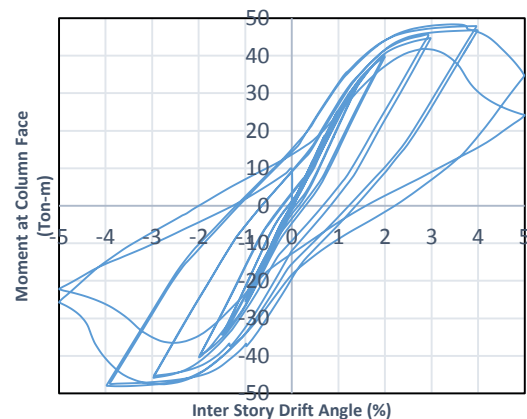
آورده شده‌اند.



HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)



HH-IPB340-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)



HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)

شکل ۶-۶: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، تحت نیروهای پیش‌تنیدگی مختلف

میزان اتلاف انرژی کل و سختی اولیه نمونه‌های دارای کایزر سری B در جدول ۸-۶ آمده است.

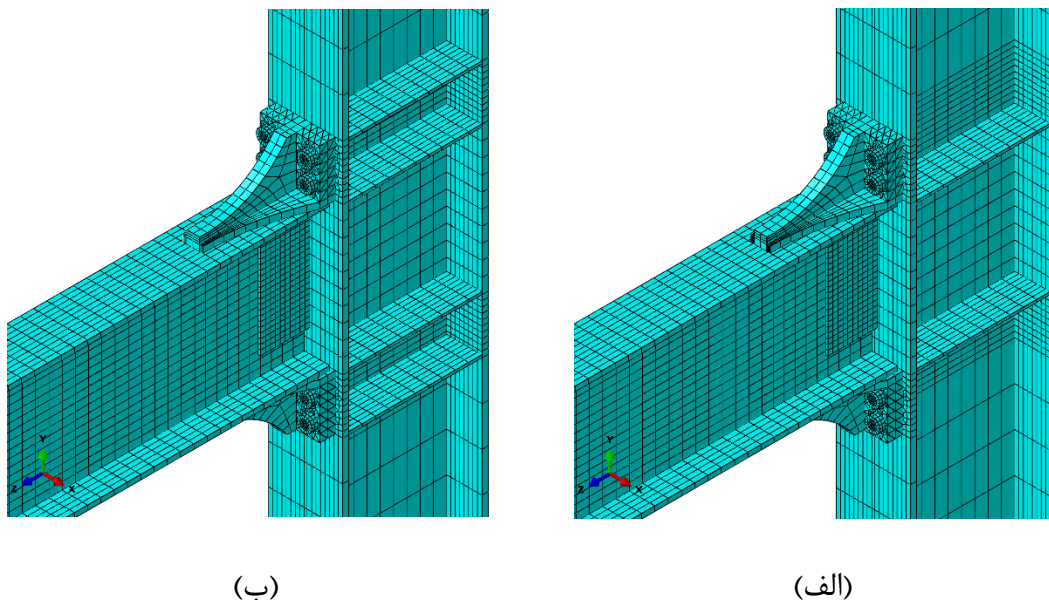
جدول ۸-۶: میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه‌های با پیش‌تنیدگی متفاوت، و دارای کایزر سری B

نام نمونه	نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال تیر (Kg)	نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال ستون (Kg)	اتلاف انرژی کل (ژول)	سختی اولیه (نیوتن/متر)
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)	۳۸۱۰۰	۷۰۳۰۷	۱۰۰۱۵۷	۹۱۷۳۲۶
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(41.910 Ton PT)	۴۱۹۱۰	۷۰۳۰۷	۱۰۱۱۴۶	۹۱۸۹۴۴
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(45.720 Ton PT)	۴۵۷۲۰	۷۰۳۰۷	۱۰۰۲۸۳	۹۱۹۶۷۳
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)	۴۹۵۳۹	۷۰۳۰۷	۱۰۰۴۵۸	۹۲۱۳۷۳
HH-IPB300-IPB500-B2.1(77.338 Ton PT)(38.100 Ton PT)	۳۸۱۰۰	۷۷۳۳۸	۱۰۰۶۸۷	۹۲۱۷۲۷
HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)	۳۸۱۰۰	۸۴۳۶۸	۱۰۱۹۰۱	۹۱۸۵۵۶
HH-IPB300-IPB500-B2.1(85.058 Ton PT)(38.100 Ton PT)	۳۸۱۰۰	۸۵۰۵۸	۱۰۰۹۲۸	۹۱۴۶۸۲
HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)	۳۸۱۰۰	۷۰۳۰۷	۱۳۳۴۰۵	۱۲۷۹۶۶۴
HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)	۴۹۵۳۹	۷۰۳۰۷	۱۳۴۸۲۶	۱۳۱۱۲۶۸
HH-IPB340-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)	۳۸۱۰۰	۸۴۳۶۸	۱۳۳۰۲۹	۱۲۸۸۰۳۱

با افزایش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال تیر میزان اتلاف انرژی کل اتصال تقریباً ثابت بوده و سختی اولیه اتصال به میزان اندکی افزایش پیدا کرده است. با افزایش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال ستون نیز افزایش ناچیزی در میزان اتلاف انرژی اتصال مشاهده می‌شود، سختی اولیه اتصال نیز افزایش اندکی داشته است. در مجموع نتایج بیانگر تأثیر کم میزان نیروی پیش‌تنیدگی بر روی عملکرد اتصالات دارای کایزر سری B است.

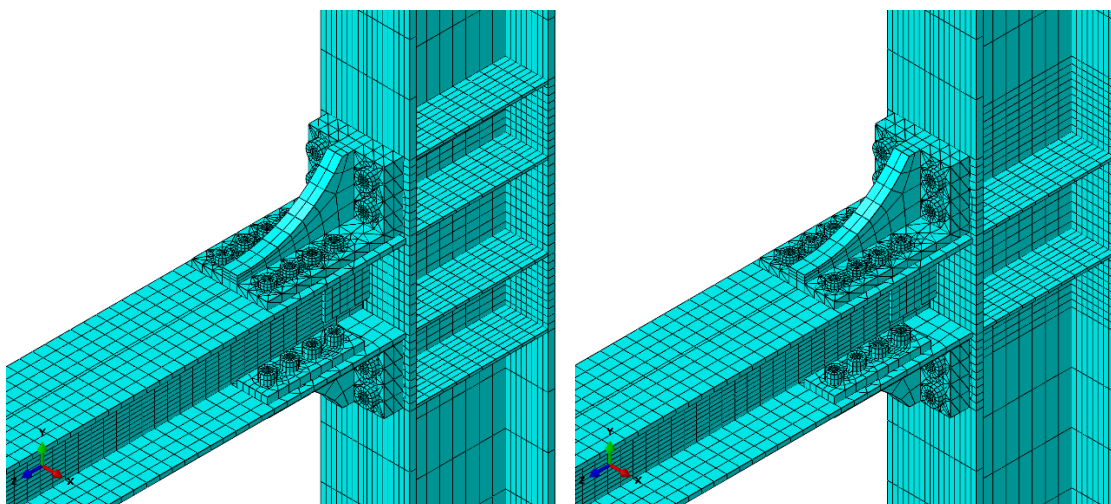
۴-۶- بررسی اثر افزودن ورق‌های پیوستگی اضافه در چشمه اتصال (بزرگ شدگی چشمه اتصال) بر عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر

هندسه اتصالات کایزر به گونه‌ای طراحی شده که محل تبادل نیروی بین تیر و ستون را از بال‌های تیر به مرکز هندسی مجموعه پیچ‌های براکت فوقانی و تحتانی منتقل می‌کند، این موضوع سبب گسترش چشمه اتصال و انتقال مرزهای بالا و پایین آن از روبروی بال‌های تیر به محل مرکز هندسی پیچ‌ها می‌شود. در حالتی که ورق‌های پیوستگی در مقابل بال‌های تیر (و در جان ستون) جوش داده شوند، استفاده بهینه‌ای از چشمه‌ی اتصال واقعی اتصال کایزر نمی‌شود و کارایی اصلی خود را نخواهد داشت. در این بخش با انتخاب چهار مدل از نمونه‌های بخش ۶-۲ و اضافه کردن چهار ورق پیوستگی در مقابل دورترین قسمت براکت بالا و پایین، سعی می‌کنیم حداکثر بهره را از چشمه اتصال براکت کایزر ببریم. تفاوت بین نمونه‌ها در حالات قبل و پس از افزودن این ورق‌ها در شکل ۶-۷ و شکل ۶-۸ نشان داده شده است.



شکل ۶-۷: تفاوت نمونه‌های عددی قبل و بعد از افزودن ورق پیوستگی در اتصالات دارای کایزر سری W

الف) نمونه با چشمه اتصال کوچک ب) نمونه با چشمه اتصال بزرگ



(ب)

(الف)

شکل ۸-۶: تفاوت نمونه‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ در اتصالات دارای کایزر سری B

الف) نمونه با چشمه اتصال کوچک (ب) نمونه با چشمه اتصال بزرگ

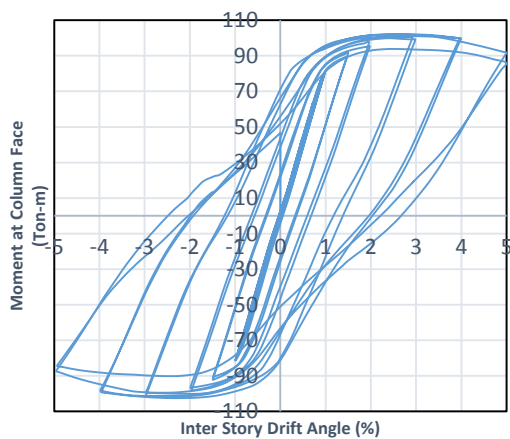
۶-۴-۱- بررسی اثر افزودن ورق‌های پیوستگی اضافه (بزرگ‌شدگی چشمه اتصال) بر عملکرد نمونه‌های دارای کایزر سری W

به منظور بررسی جامع‌تر اثر بزرگ‌شدگی چشمه اتصال و نیز مشخص شدن تأثیر این ایده در حالات پیش‌تنیدگی مختلف پیچ‌ها، نمونه شماره ۱ در سه حالت پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، همراه با چشمه اتصال‌های کوچک و بزرگ مورد تحلیل قرار گرفته است. نمونه شماره ۲ در حالت نیروی پیش‌تنیدگی حداقل، همراه با چشمه اتصال‌های کوچک و بزرگ تحلیل شده است. نتایج تحلیل نمونه‌های دارای چشمه اتصال کوچک در بخش‌های قبل ذکر شده است، با این حال مجدداً برای مقایسه با نمونه‌های متناظر دارای چشمه اتصال بزرگ، این نتایج تکرار خواهند شد. مشخصات نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۹-۶ آمده است.

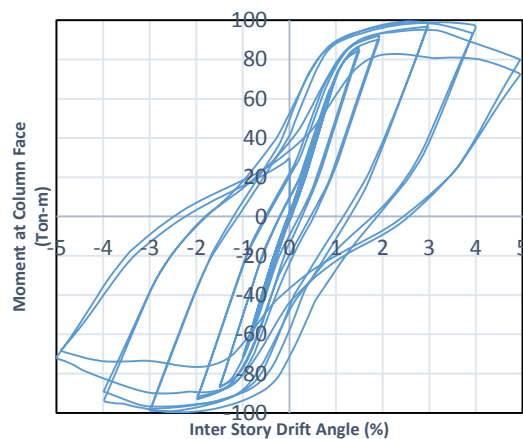
جدول ۹-۶ : مشخصات نمونه‌های انتخابی برای بررسی اثر بزرگ‌شدگی چشمه اتصال در نمونه‌های دارای کایزر سری W

ردیف	نام نمونه	تیر	ستون	نوع کایزر	قطر پیچ ستون (میلیمتر)	ضریب اصطکاک
۱	HH-IPE600-IPB600-W2.1	IPE600	IPB600	W2.1	۳۸	۰/۳۳
۲	HH-IPE500-IPB500-W2.0	IPE500	IPB500	W2.0	۳۵	۰/۳۳

منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ (همراه با نیروهای پیش‌تنیدگی مختلف) در شکل ۹-۶ آورده شده‌اند. منحنی‌های سمت راست مربوط به حالت‌های دارای چشمه اتصال کوچک، و منحنی‌های سمت چپ مربوط به نمونه‌های دارای چشمه اتصال بزرگ (اما از نظر میزان پیش‌تنیدگی مشابه با نمونه دارای چشمه اتصال کوچک) هستند.



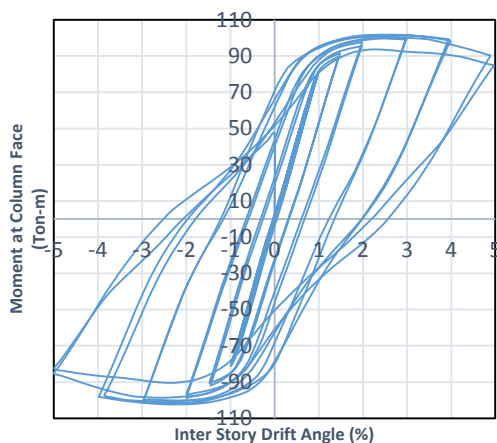
HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)(L PZ')



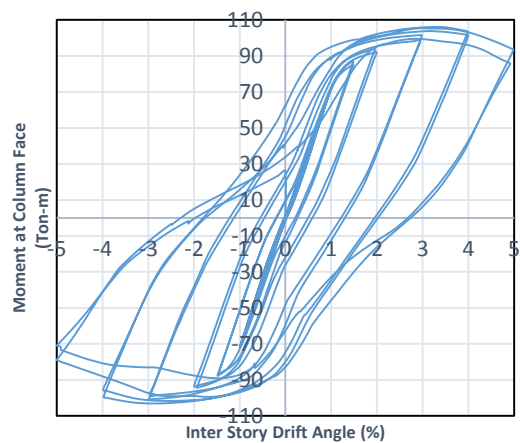
HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)(S PZ')

۱ . Small Panel Zone

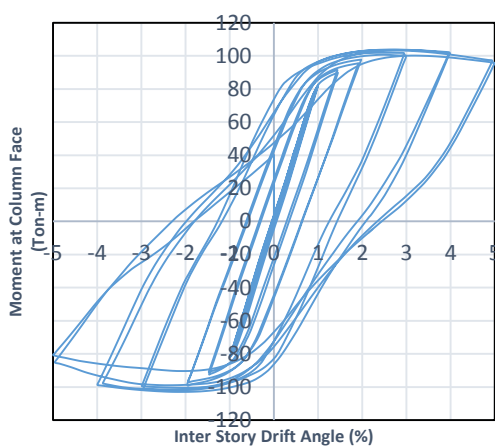
۲ . Large Panel Zone



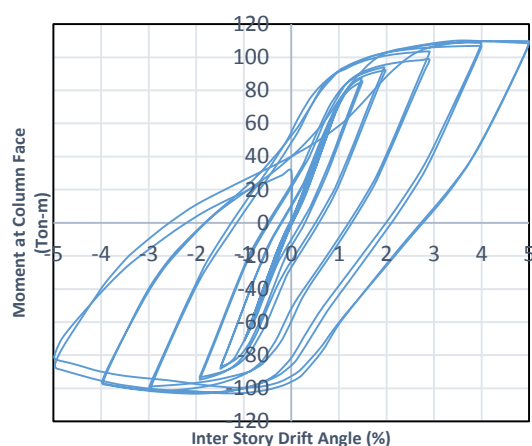
HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)(L PZ)



HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)(S PZ)



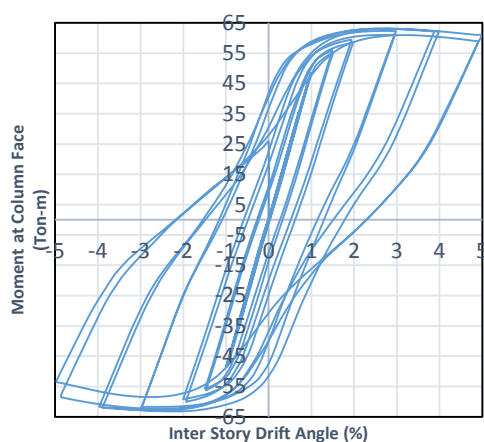
HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)(L PZ)



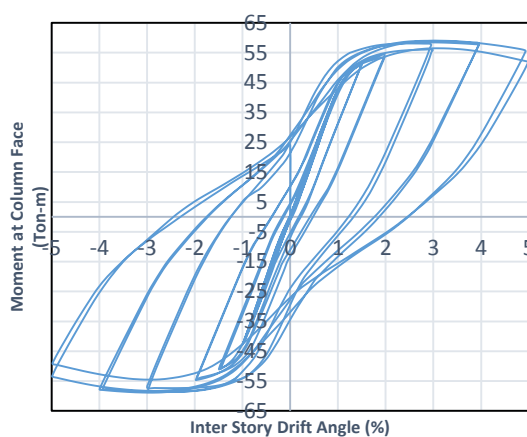
HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)(S PZ)

شکل ۹-۶: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ

منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ در شکل ۱۰-۶ آورده شده است. منحنی سمت راست مربوط به حالت دارای چشمه اتصال کوچک، و منحنی سمت چپ مربوط به نمونه دارای چشمه اتصال بزرگ (اما از نظر میزان پیش‌تنیدگی مشابه با نمونه دارای چشمه اتصال کوچک) است.



HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.600 Ton PT)(L PZ)



HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.600 Ton PT)(S PZ)

شکل ۶-۱۰: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ

میزان اتلاف انرژی کل و سختی اولیه نمونه‌های دارای چشمه اتصال کوچک و بزرگ همراه با میزان نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های هر نمونه در جدول ۶-۱۰ آمده است.

جدول ۶-۱۰: میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه‌های دارای کایزر سری W همراه با چشمه اتصال کوچک و بزرگ

نام نمونه	نیروی پیش-تنیدگی (کیلوگرم)	نوع چشمه اتصال	اتلاف انرژی کل (ژول)	سختی اولیه (نیوتن/متر)
HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)(S PZ)	۷۰۳۰۷	کوچک	۴۱۳۷۱۰	۳۶۵۴۳۳۳
HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)(L PZ)	۷۰۳۰۷	بزرگ	۴۹۷۹۷۲	۴۳۷۵۴۳۷
HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)(S PZ)	۷۷۳۳۸	کوچک	۴۶۰۲۸۱	۳۶۵۷۱۷۰
HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)(L PZ)	۷۷۳۳۸	بزرگ	۴۸۹۹۳۷	۴۳۳۷۴۸۲
HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)(S PZ)	۸۵۰۵۸	کوچک	۴۸۷۷۲۹	۳۶۸۲۵۳۶
HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)(L PZ)	۸۵۰۵۸	بزرگ	۵۰۷۸۷۳	۴۴۳۵۹۸۵
HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.600 Ton PT)(S PZ)	۵۷۶۰۰	کوچک	۲۴۷۶۵۹	۲۲۳۴۲۲۶
HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.600 Ton PT)(L PZ)	۵۷۶۰۰	بزرگ	۲۸۴۳۴۳	۲۵۱۰۵۶۷

نتایج نشان می‌دهد در تمامی نمونه‌ها و در همه حالات پیش‌تنیدگی، نمونه‌های دارای چشمه اتصال بزرگ هم از نظر میزان اتلاف انرژی کل و هم از نظر سختی اولیه اتصال نسبت به نمونه متناظر دارای چشمه اتصال کوچک، کاملاً برتری دارند. هر چه نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها کمتر باشد میزان تأثیر چشمه اتصال بزرگ محسوس‌تر است، چرا که با افزایش نیروی پیش‌تنیدگی بخشی از ضعف عملکرد اتصال توسط این افزایش نیرو جبران می‌شود. چشمه اتصال بزرگ باعث شده از ظرفیت خمشی تیر استفاده بهتری شود و حداکثر لنگر ایجاد شده در برستون نیز افزایش یافته است. جدول ۱۱-۶ تغییرات حاصل از بهره‌گیری از چشمه اتصال بزرگ در نمونه‌های دارای کایزر سری W را بهتر نشان می‌دهد.

جدول ۱۱-۶ : تأثیر چشمه اتصال بزرگ در نمونه‌های دارای کایزر سری W

نام نمونه	نوع چشمه اتصال	درصد افزایش اتلاف انرژی نسبت به نمونه با چشمه اتصال کوچک	درصد افزایش سختی اولیه نسبت به نمونه با چشمه اتصال کوچک
HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)(L PZ)	بزرگ	٪ ۲۰/۳	٪ ۱۹/۷
HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)(L PZ)	بزرگ	٪ ۶/۴	٪ ۱۸/۶
HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)(L PZ)	بزرگ	٪ ۴/۱	٪ ۲۰/۵
HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.6 Ton PT)(L PZ)	بزرگ	٪ ۱۴/۸	٪ ۱۲/۴

۶-۴-۲- بررسی اثر افزودن ورق‌های پیوستگی اضافه (بزرگ‌شدگی چشمه اتصال) بر عملکرد نمونه‌های دارای کایزر سری B

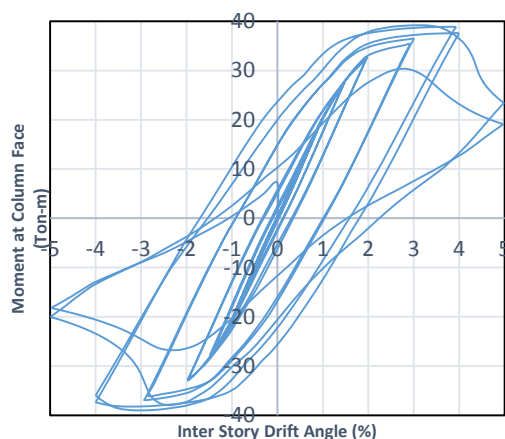
به منظور بررسی جامع‌تر اثر بزرگ‌شدگی چشمه اتصال و نیز مشخص شدن تأثیر این ایده در توزیع‌های پیش‌تنیدگی مختلف پیچ‌ها، نمونه شماره ۱ در سه توزیع پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، همراه با چشمه اتصال‌های کوچک و بزرگ مورد تحلیل قرار گرفته است. نمونه شماره ۲ در حالت نیروی

پیش‌تنیدگی حداقل، همراه با چشمه اتصال‌های کوچک و بزرگ تحلیل شده است. نتایج تحلیل نمونه‌های دارای چشمه اتصال کوچک در بخش‌های قبل ذکر شده است، با این حال مجدداً برای مقایسه با نمونه‌های متناظر دارای چشمه اتصال بزرگ، این نتایج تکرار خواهند شد. مشخصات نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۶-۱۲ آمده است.

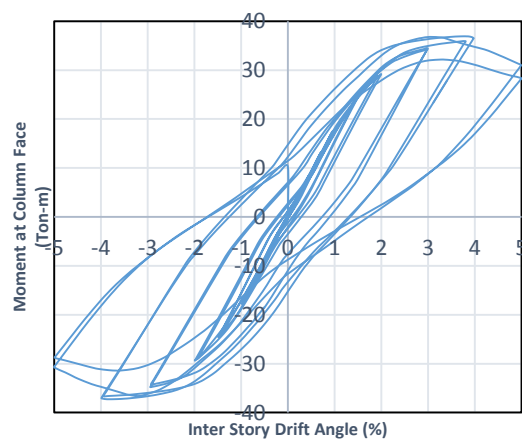
جدول ۶-۱۲ : مشخصات نمونه‌های انتخابی برای اثر بزرگ‌شدگی چشمه اتصال در نمونه‌های دارای کایزر سری B

ضریب اصطکاک	قطر پیچ ستون (میلی‌متر)	قطر پیچ تیر (میلی‌متر)	نوع کایزر	ستون	تیر	نام نمونه	ردیف
۰/۳۳	۳۸	۲۹	B2.1	IPB500	IPB300	HH-IPB300-IPB500-B2.1	۱
۰/۳۳	۳۸	۲۹	B2.1	IPB500	IPB340	HH-IPB340-IPB500-B2.1	۲

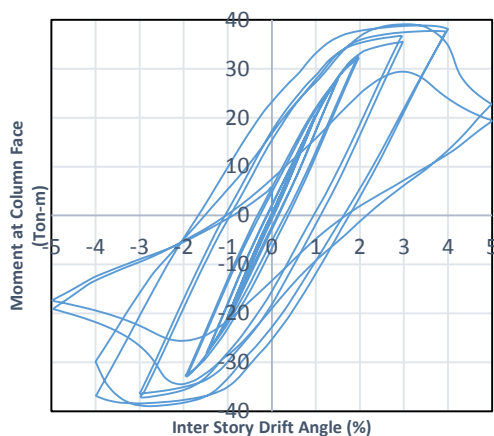
منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ (همراه با توزیع نیروهای پیش‌تنیدگی مختلف) در شکل ۶-۱۱ آورده شده‌اند. منحنی‌های سمت راست مربوط به حالت‌های دارای چشمه اتصال کوچک، و منحنی‌های سمت چپ مربوط به نمونه‌های دارای چشمه اتصال بزرگ (اما از نظر میزان پیش‌تنیدگی مشابه با نمونه دارای چشمه اتصال کوچک) هستند.



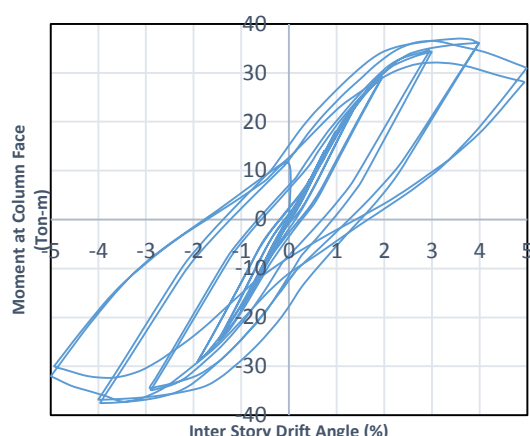
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)
(L PZ)



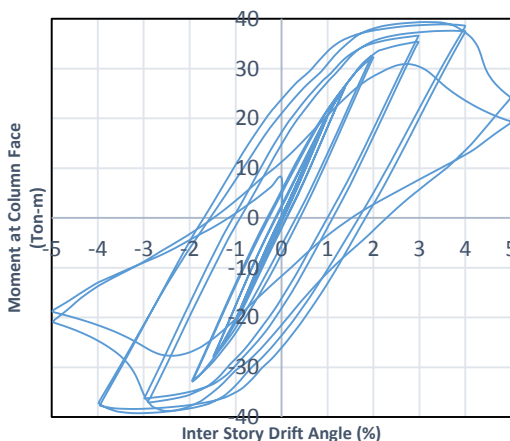
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)
(S PZ)



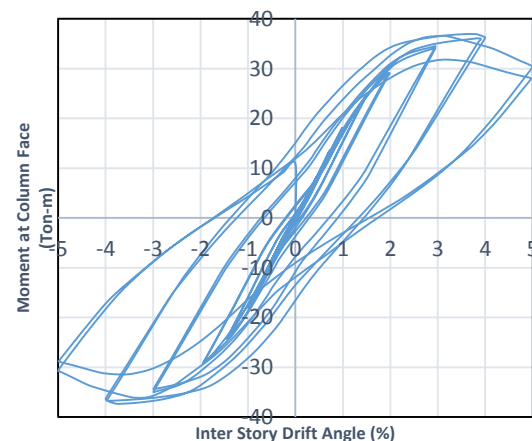
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307Ton PT)(49.539TonPT)
(L PZ)



HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)
(S PZ)



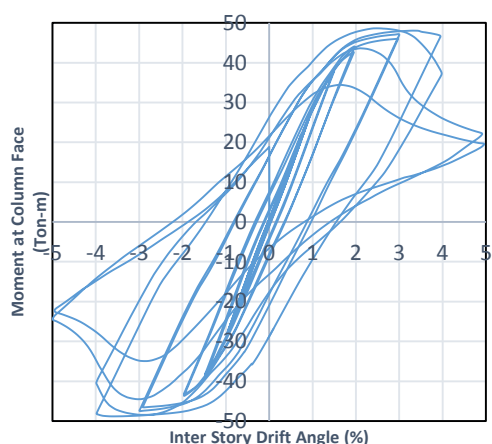
HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)
(L PZ)



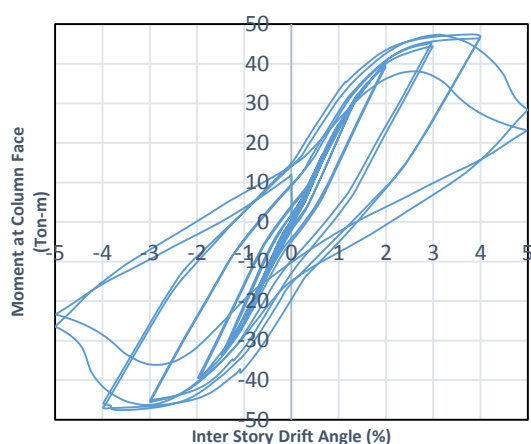
HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)
(S PZ)

شکل ۱۱-۶: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ

منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ در شکل ۱۲-۶ آورده شده است. منحنی سمت راست مربوط به حالت دارای چشمه اتصال کوچک، و منحنی سمت چپ مربوط به نمونه دارای چشمه اتصال بزرگ (اما از نظر میزان پیش‌تنیدگی مشابه با نمونه دارای چشمه اتصال کوچک) است.



HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307TonPT)(38.100TonPT)
(L PZ)



HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)
(S PZ)

شکل ۶-۱۲: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های با چشمه اتصال کوچک و بزرگ

میزان اتلاف انرژی کل و سختی اولیه نمونه‌های دارای چشمه اتصال کوچک و بزرگ همراه با

میزان نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها در هر نمونه در جدول ۶-۱۳ آمده است.

جدول ۶-۱۳: میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه‌های دارای کایزر سری B همراه با چشمه اتصال کوچک و بزرگ

نام نمونه	نیروی پیش-تنیدگی پیچ‌های بال تیر (کیلوگرم)	نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال ستون (کیلوگرم)	نوع چشمه اتصال	اتلاف انرژی کل (ژول)	سختی اولیه (نیوتن/متر)
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)(S PZ)	۳۸۱۰۰	۷۰۳۰۷	کوچک	۱۰۰۱۵۷	۹۱۷۳۲۶
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)(L PZ)	۳۸۱۰۰	۷۰۳۰۷	بزرگ	۱۲۸۰۴۹	۱۰۳۷۸۵۳
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)(S PZ)	۴۹۵۳۹	۷۰۳۰۷	کوچک	۱۰۰۴۵۸	۹۲۱۳۷۳
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)(L PZ)	۴۹۵۳۹	۷۰۳۰۷	بزرگ	۱۲۶۴۳۸	۱۰۳۸۲۹۴
HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)(S PZ)	۳۸۱۰۰	۸۴۳۶۸	کوچک	۱۰۱۹۰۱	۹۱۸۵۵۶
HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)(L PZ)	۳۸۱۰۰	۸۴۳۶۸	بزرگ	۱۳۲۳۹۰	۱۰۳۱۲۳۲
HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)(S PZ)	۳۸۱۰۰	۷۰۳۰۷	کوچک	۱۳۳۴۰۵	۱۲۷۹۶۶۴
HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)(L PZ)	۳۸۱۰۰	۷۰۳۰۷	بزرگ	۱۵۳۷۵۸	۱۴۷۰۵۵۲

نتایج نشان می‌دهد در تمامی نمونه‌ها و در همه حالات پیش‌تنیدگی، نمونه‌های دارای چشمه اتصال بزرگ هم از نظر میزان اتلاف انرژی کل و هم از نظر سختی اولیه اتصال نسبت به نمونه متناظر دارای چشمه اتصال کوچک کاملاً برتری دارند. به طور نسبی هر چه نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها کمتر باشد میزان تأثیر چشمه اتصال بزرگ محسوس‌تر است (البته این موضوع در نمونه‌های دارای کایزر سری W محسوس‌تر است)، چرا که با افزایش نیروی پیش‌تنیدگی بخشی از ضعف عملکرد اتصال توسط این افزایش نیرو جبران می‌شود. چشمه اتصال بزرگ باعث شده از ظرفیت خمشی تیر استفاده بهتری شود و حداکثر لنگر ایجاد شده در برستون نیز افزایش یافته است. جدول ۶-۱۴ تغییرات حاصل از بهره‌گیری از چشمه اتصال بزرگ در نمونه‌های دارای کایزر سری B را بهتر نشان می‌دهد.

جدول ۶-۱۴: تأثیر چشمه اتصال بزرگ در نمونه‌های دارای کایزر سری B

نام نمونه	نوع چشمه اتصال	درصد افزایش اتلاف انرژی نسبت به نمونه با چشمه اتصال کوچک	درصد افزایش سختی اولیه نسبت به نمونه با چشمه اتصال کوچک
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)(L PZ)	بزرگ	٪ ۲۷/۸	٪ ۱۳/۱۳
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)(L PZ)	بزرگ	٪ ۲۵/۹	٪ ۱۲/۷
HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)(L PZ)	بزرگ	٪ ۲۹/۹	٪ ۱۲/۳
HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)(L PZ)	بزرگ	٪ ۱۵/۳	٪ ۱۴/۹

۶-۵- بررسی اثر ضریب اصطکاک بر عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر

سطوح فولادی در اتصالات اصطکاکی به دو کلاس A و B تقسیم‌بندی می‌شوند [۲۵]، در سطوح کلاس A که شامل سطوح فلس‌دار تمیز و رنگ شده هستند، ضریب اصطکاک بین سطوح $\mu=0/33$ است (در برخی مراجع این ضریب $0/3$ معرفی شده است)، و در سطوح کلاس B که شامل سطوح تمیز شده با ماسه پاشی و رنگ نشده هستند، ضریب اصطکاک بین سطوح $\mu=0/5$ است. در این بخش

با استفاده از مفهوم سطوح کلاس A و B به بررسی اثر ضریب اصطکاک بر روی عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر خواهیم پرداخت.

برای بررسی اثر اصطکاک، چهار نمونه از نمونه‌های بخش ۶-۲ انتخاب شده است، دو نمونه دارای کایزر سری W، و دو نمونه دارای کایزر سری B هستند. توضیحات مربوط به هر نمونه در بخش‌های بعد ارائه خواهد شد.

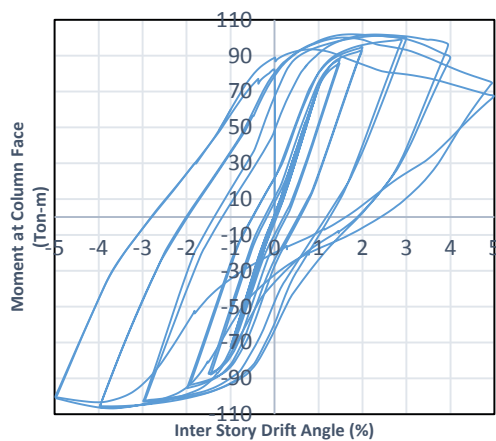
۶-۵-۱- بررسی اثر ضریب اصطکاک بر عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر در نمونه‌های دارای کایزر سری W

به منظور بررسی جامع‌تر اثر ضریب اصطکاک و نیز مشخص شدن تأثیر این پارامتر در حالات پیش‌تندگی مختلف پیچ‌ها، نمونه شماره ۱ در سه حالت پیش‌تندگی پیچ‌ها، و دو حالت کلاس سطوح اصطکاکی (کلاس A و کلاس B) مورد تحلیل قرار گرفته است. نمونه شماره ۲ در حالت نیروی پیش‌تندگی حداقل، و دو حالت کلاس سطوح اصطکاکی (کلاس A و کلاس B) تحلیل شده است. مشخصات نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۶-۱۵ آمده است.

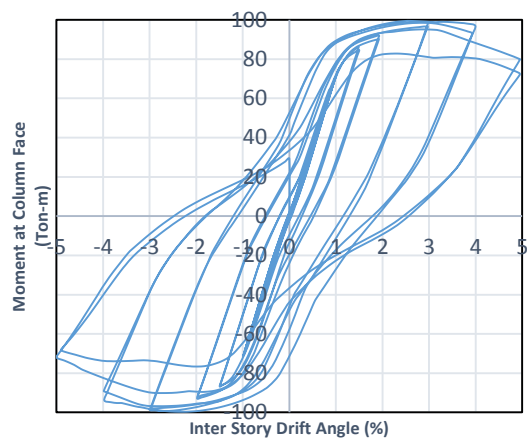
جدول ۶-۱۵: مشخصات نمونه‌های انتخابی برای بررسی اثر ضریب اصطکاک، در نمونه‌های دارای کایزر سری W

ردیف	نام نمونه	تیر	ستون	نوع کایزر	قطر پیچ ستون (میلی‌متر)	ضریب اصطکاک
۱	HH-IPE600-IPB600-W2.1	IPE600	IPB600	W2.1	۳۸	۰/۳۳
۲	HH-IPE500-IPB500-W2.0	IPE500	IPB500	W2.0	۳۵	۰/۳۳

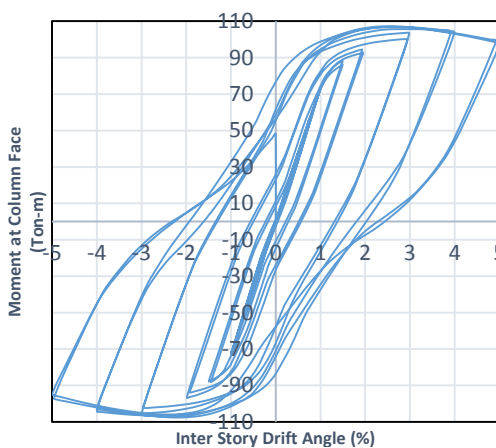
منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های اصطکاکی کلاس A و B در شکل ۶-۱۳ آورده شده‌اند. منحنی‌های سمت راست مربوط به نمونه‌های دارای کلاس اصطکاکی A ($\mu=0/33$) و منحنی‌های سمت چپ مربوط به نمونه‌های دارای کلاس اصطکاکی B ($\mu=0/5$) هستند.



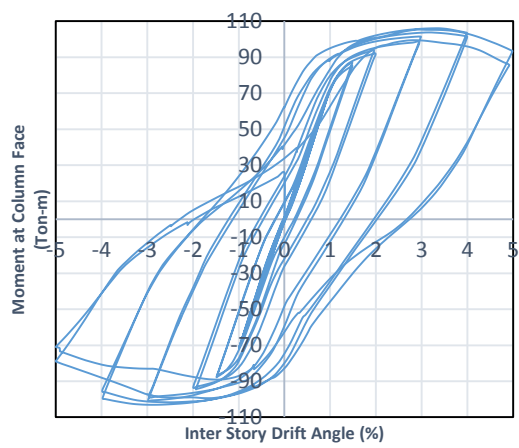
HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)(Class B)



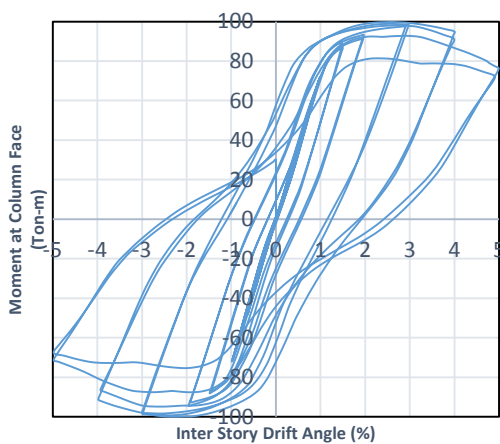
HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)(Class A)



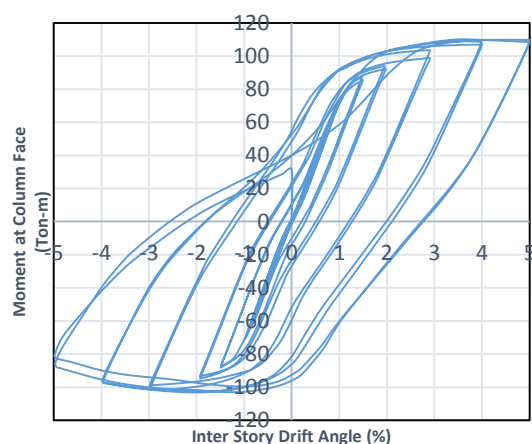
HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)(Class B)



HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)(Class A)



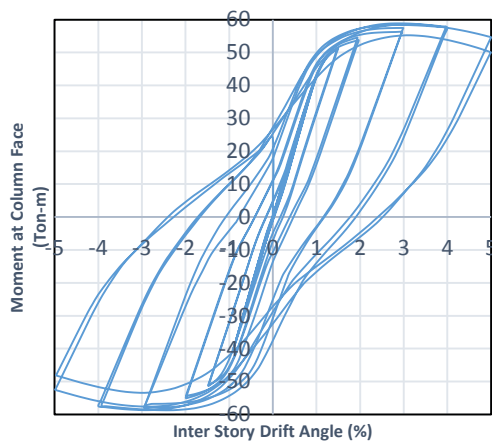
HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)(Class B)



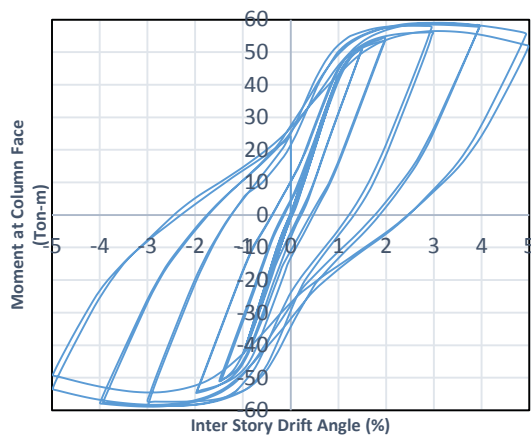
HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)(Class A)

شکل ۶-۱۳: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های کلاس اصطکاکی A و B

منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های اصطکاکی کلاس A و B در شکل ۱۴-۶ آورده شده‌اند. منحنی سمت راست مربوط به نمونه دارای کلاس اصطکاکی A ($\mu=0/33$) و منحنی سمت چپ مربوط به نمونه دارای کلاس اصطکاکی B ($\mu=0/5$) است.



HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.600 Ton PT)(Class B)



HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.600 Ton PT)(Class A)

شکل ۱۴-۶: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های اصطکاکی A و B

میزان اتلاف انرژی کل و سختی اولیه نمونه‌های دارای کلاس اصطکاکی A و B، همراه با میزان نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های هر نمونه در جدول ۱۶-۶ آمده است.

جدول ۱۶-۶: میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه‌های دارای کلاس اصطکاکی متفاوت

نام نمونه	نیروی پیش-تنیدگی (کیلوگرم)	کلاس اصطکاکی	اتلاف انرژی کل (ژول)	سختی اولیه (نیوتن/متر)
HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)(Class A)	۷۰۳۰۷	A	۴۱۳۷۱۰	۳۶۵۴۳۳۳
HH-IPE600-IPB600-W2.1(70.307 Ton PT)(Class B)	۷۰۳۰۷	B	۴۵۵۷۶۷	۳۷۰۴۳۶۵
HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)(Class A)	۷۷۳۳۸	A	۴۶۰۲۸۱	۳۶۵۷۱۷۰
HH-IPE600-IPB600-W2.1(77.338 Ton PT)(Class B)	۷۷۳۳۸	B	۴۹۹۳۹۰	۳۷۱۳۲۷۰
HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)(Class A)	۸۵۰۵۸	A	۴۸۷۷۲۹	۳۶۸۲۵۳۶

HH-IPE600-IPB600-W2.1(85.058 Ton PT)(Class B)	۸۵۰۵۸	B	۴۱۸۷۰۷	۳۷۳۸۴۲۶
HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.600 Ton PT)(Class A)	۵۷۶۰۰	A	۲۴۷۶۵۹	۲۲۳۴۲۲۶
HH-IPE500-IPB500-W2.0(57.600 Ton PT)(Class B)	۵۷۶۰۰	B	۲۴۶۸۳۸	۲۲۵۰۶۸۸

نتایج نشان می‌دهد که تغییر ضریب اصطکاک بین سطوح در نمونه‌های دارای کایزر سری W تأثیر زیادی در بهبود عملکرد اتصال نداشته و در حالت حداکثری باعث افزایش ۱۰ درصدی در میزان اتلاف انرژی و افزایش ۱/۵ درصدی در سختی اولیه اتصال شده است. علت این نتیجه را می‌توان بدین صورت بیان کرد که نیروهای پیش‌تنیدگی وارده در حالت کلاس اصطکاکی A، نیروی اصطکاکی لازم برای عدم لغزش بین سطوح فولادی را فراهم نموده‌اند، به گونه‌ای که اتصال دیگر نیازی به افزایش ضریب و نیروی اصطکاک برای بهبود عملکرد خود نداشته است.

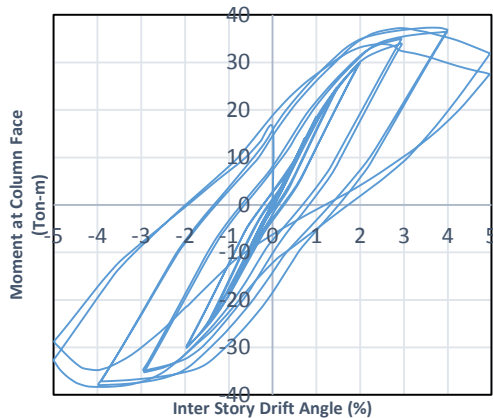
۶-۵-۲- بررسی اثر ضریب اصطکاک بر عملکرد اتصال صلب خمشی کایزر در نمونه‌های دارای کایزر سری B

به منظور بررسی جامع‌تر اثر ضریب اصطکاک و نیز مشخص شدن تأثیر این پارامتر در حالات پیش‌تنیدگی مختلف پیچ‌ها، نمونه شماره ۱ در سه حالت پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، و دو حالت کلاس سطوح اصطکاکی (کلاس A و کلاس B) مورد تحلیل قرار گرفته است. نمونه شماره ۲ در حالت نیروی پیش‌تنیدگی حداقل، و دو حالت کلاس سطوح اصطکاکی (کلاس A و کلاس B) تحلیل شده است. مشخصات نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۶-۱۷ آمده است.

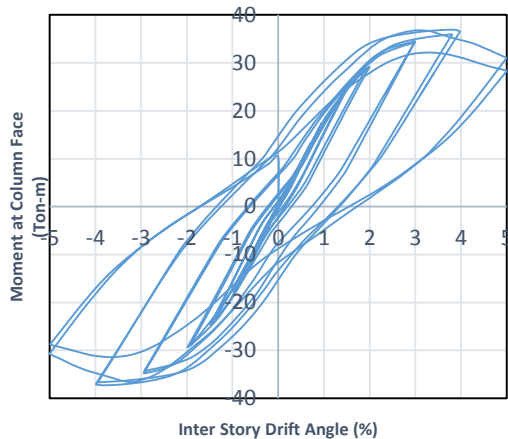
جدول ۶-۱۷: مشخصات نمونه‌های انتخابی برای بررسی اثر ضریب اصطکاک، در نمونه‌های دارای کایزر سری B

ردیف	نام نمونه	تیر	ستون	نوع کایزر	قطر پیچ تیر (میلی‌متر)	قطر پیچ ستون (میلی‌متر)	ضریب اصطکاک
۱	HH-IPB300-IPB500-B2.1	IPB300	IPB500	B2.1	۲۹	۳۸	۰/۳۳
۲	HH-IPB340-IPB500-B2.1	IPB340	IPB500	B2.1	۲۹	۳۸	۰/۳۳

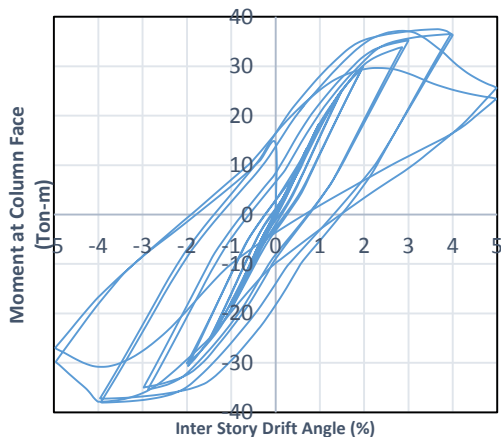
منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های اصطکاکی کلاس A و B در شکل ۱۵-۶ آورده شده‌اند. منحنی‌های سمت راست مربوط به نمونه‌های دارای کلاس اصطکاکی A ($\mu=0/33$) و منحنی‌های سمت چپ مربوط به نمونه‌های دارای کلاس اصطکاکی B ($\mu=0/5$) هستند.



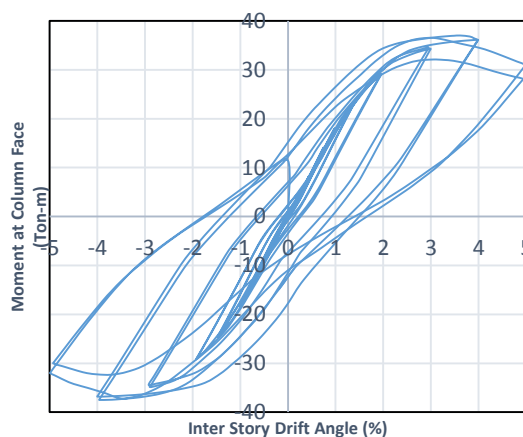
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)
(Class B)



HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)
(Class A)



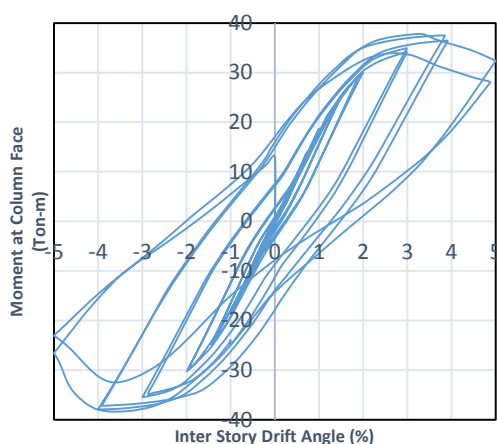
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)
(Class B)



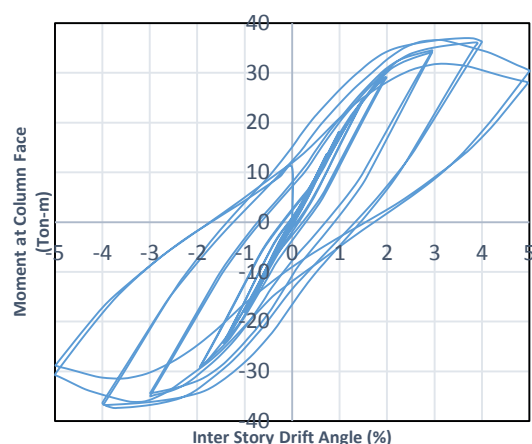
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)
(Class A)

شکل ۱۵-۶: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۱، در حالت‌های اصطکاکی A و B

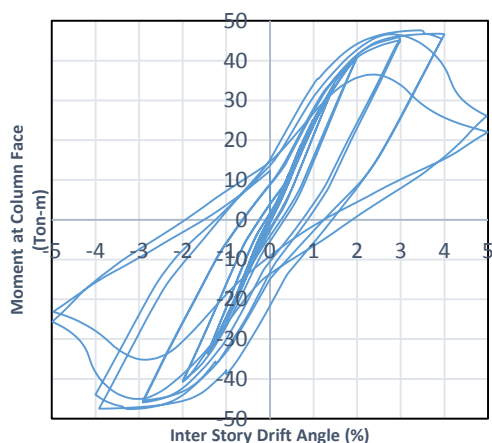
منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های اصطکاکی کلاس A و B در شکل ۱۶-۶ آورده شده‌اند. منحنی سمت راست مربوط به نمونه دارای کلاس اصطکاکی A ($\mu=0/33$) و منحنی سمت چپ مربوط به نمونه دارای کلاس اصطکاکی B ($\mu=0/5$) است.



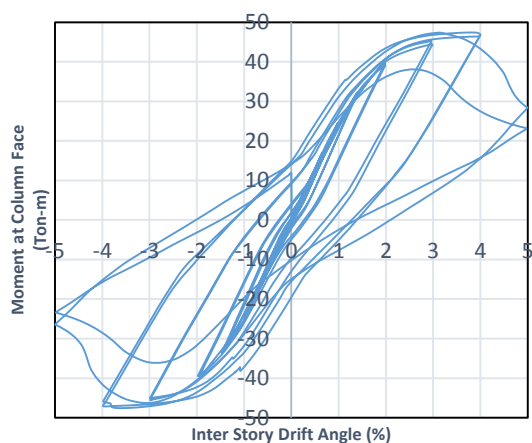
HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 TonPT)
(Class B)



HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)
(Class A)



HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100TonPT)
(Class B)



HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)
(Class A)

شکل ۱۶-۶: منحنی‌های هیستریزیس نمونه شماره ۲، در حالت‌های کلاس اصطکاکی A و B

میزان اتلاف انرژی کل و سختی اولیه نمونه‌های دارای کلاس اصطکاکی A و B، همراه با میزان

نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های هر نمونه در جدول ۱۸-۶ آمده است.

جدول ۱۸-۶: میزان اتلاف انرژی و سختی اولیه در نمونه‌های دارای کلاس اصطکاکی متفاوت

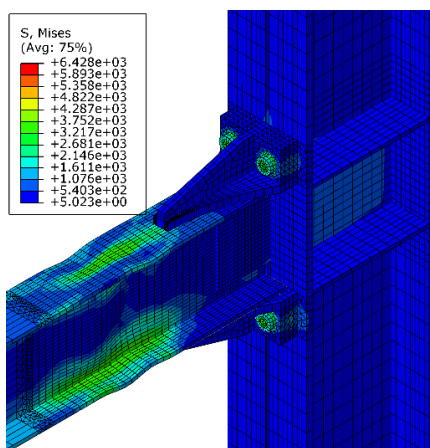
نام نمونه	نیروی پیش- تنیدگی پیچ‌های بال تیر (کیلوگرم)	نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌های بال ستون (کیلوگرم)	کلاس اصطکاکی	اتلاف انرژی کل (ژول)	سختی اولیه (نیوتن /متر)
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)(Class A)	۳۸۱۰۰	۷۰۳۰۷	A	۱۰۰۱۵۷	۹۱۷۳۲۶
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)(Class B)	۳۸۱۰۰	۷۰۳۰۷	B	۱۰۶۰۴۱	۹۲۶۲۴۹

HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)(Class A)	۴۹۵۳۹	۷۰۳۰۷	A	۱۰۰۴۵۸	۹۲۱۳۷۳
HH-IPB300-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(49.539 Ton PT)(Class B)	۴۹۵۳۹	۷۰۳۰۷	B	۱۰۰۳۱۹	۹۳۱۱۹۵
HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)(Class A)	۳۸۱۰۰	۸۴۳۶۸	A	۱۰۱۹۰۱	۹۱۸۵۵۶
HH-IPB300-IPB500-B2.1(84.368 Ton PT)(38.100 Ton PT)(Class B)	۳۸۱۰۰	۸۴۳۶۸	B	۱۰۸۱۰۲	۹۳۵۹۱۰
HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)(Class A)	۳۸۱۰۰	۷۰۳۰۷	A	۱۳۳۴۰۵	۱۲۷۹۶۶۴
HH-IPB340-IPB500-B2.1(70.307 Ton PT)(38.100 Ton PT)(Class B)	۳۸۱۰۰	۷۰۳۰۷	B	۱۳۱۰۲۲	۱۳۰۶۶۵۰

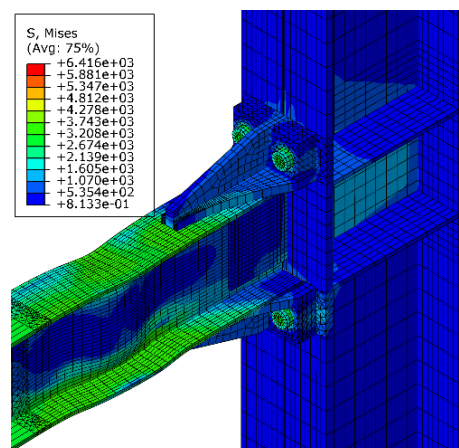
نتایج نشان می‌دهد که تغییر ضریب اصطکاک بین سطوح در نمونه‌های دارای کایزر سری B تأثیر زیادی در بهبود عملکرد اتصال نداشته و در حالت حداکثری باعث افزایش ۵/۸ درصدی در میزان اتلاف انرژی و افزایش ۱/۲ درصدی در سختی اولیه اتصال شده است. علت این نتیجه را می‌توان بدین صورت بیان کرد که نیروهای پیش‌تنیدگی وارده در حالت کلاس اصطکاکی A، نیروی اصطکاکی لازم برای عدم لغزش بین سطوح فولادی را فراهم نموده‌اند، به گونه‌ای که اتصال دیگر نیازی به افزایش ضریب و نیروی اصطکاک برای بهبود عملکرد خود نداشته است.

۶-۶- ارزیابی فیزیکی مدل‌های ساخته شده با مقاطع رایج در ایران

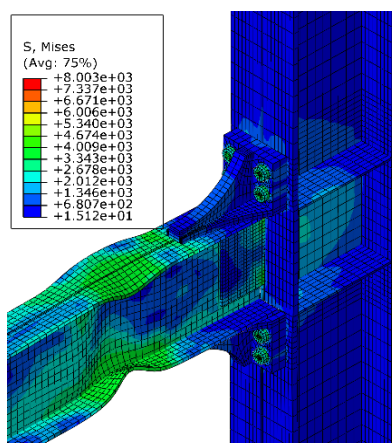
در این بخش تصاویری از ۲۸ مدل اصلی که در بخش ۶-۲ مورد بررسی قرار گرفتند ارائه خواهد شد که به ارزیابی فیزیکی این مدل‌ها با توجه به کانتورهای تنش کمک خواهد نمود. نحوه توزیع تنش Von-Mises در گام پایانی بارگذاری برای این نمونه‌ها در شکل ۶-۱۷ و شکل ۶-۱۸ آمده است.



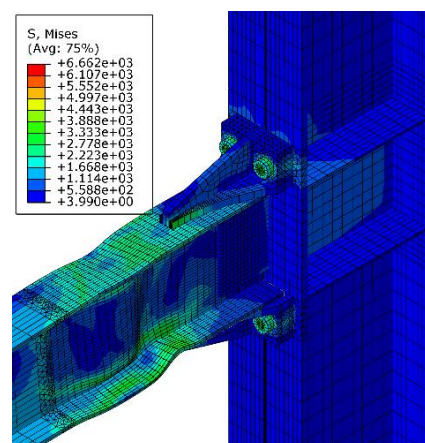
HH-IPE360-IPB500-W3.0



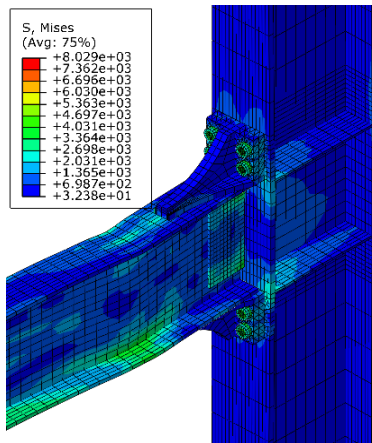
HH-IPE330-IPB500-W3.0



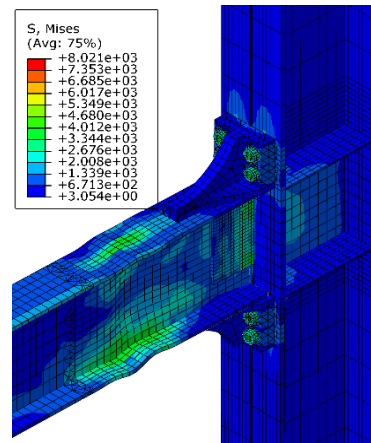
HH-IPE450-IPB500-W2.0



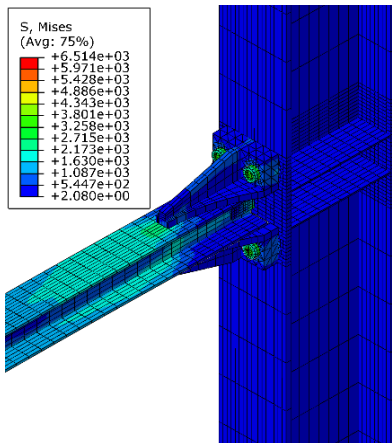
HH-IPE400-IPB500-W3.1



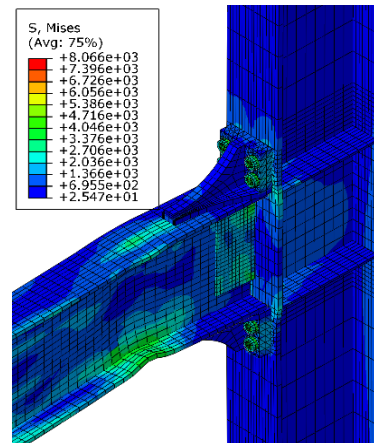
HH-IPE550-IPB600-W2.1



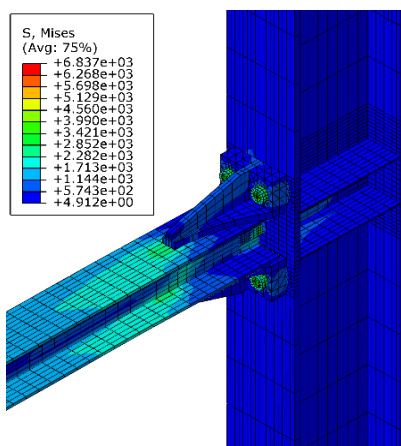
HH-IPE500-IPB500-W2.0



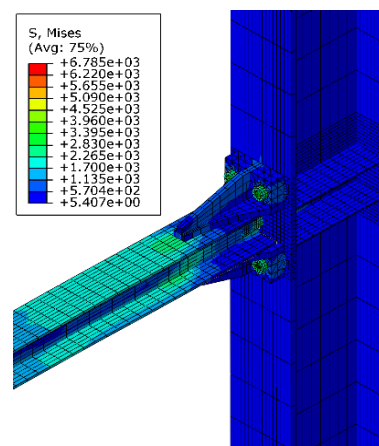
HH-IPB160-IPB500-W3.0



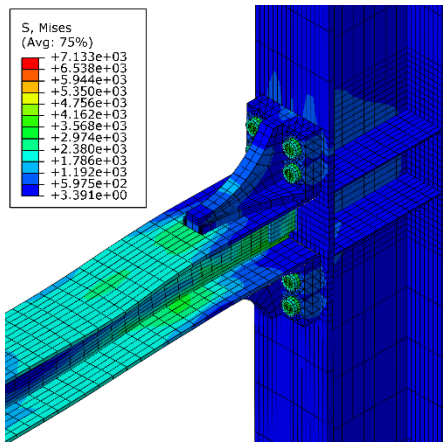
HH-IPE600-IPB600-W2.1



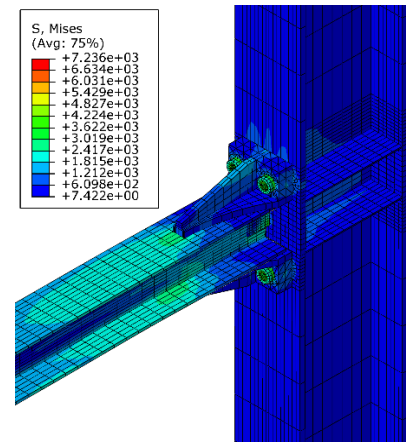
HH-IPB200-IPB500-W3.0



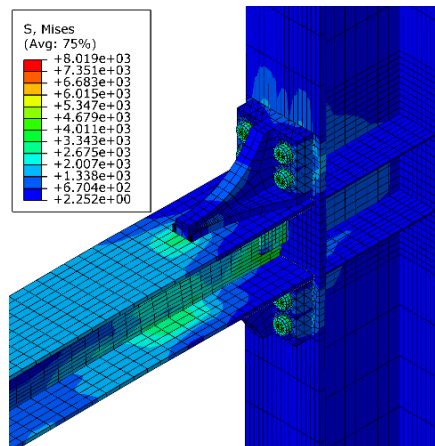
HH-IPB180-IPB500-W3.0



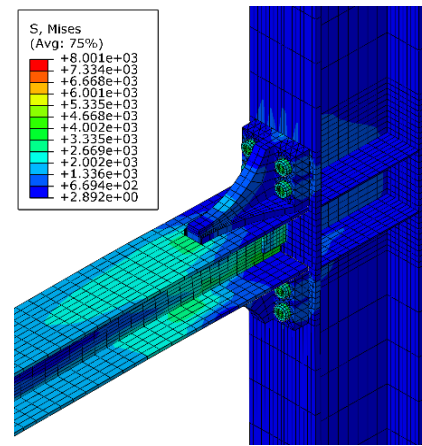
HH-IPB240-IPB500-W2.0



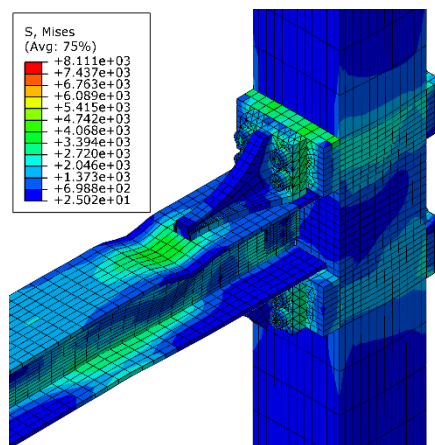
HH-IPB220-IPB500-W3.1



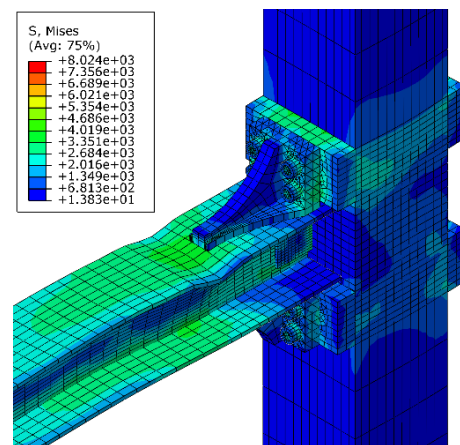
HH-IPB280-IPB500-W2.0



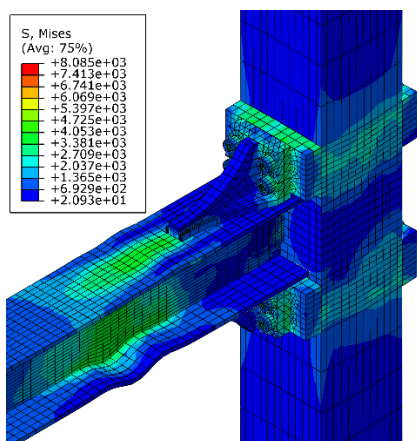
HH-IPB260-IPB500-W2.0



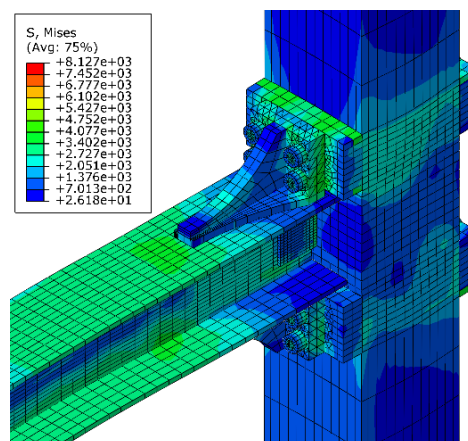
HB-IPB320-BOX400-W2.1



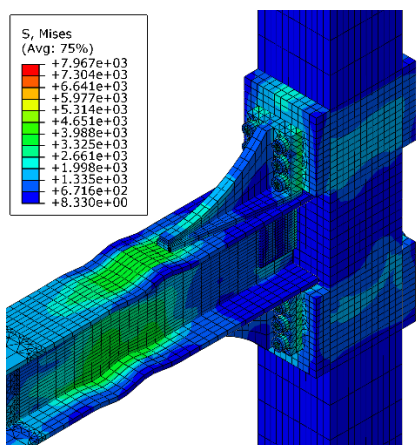
HB-IPB300-BOX400-W2.0



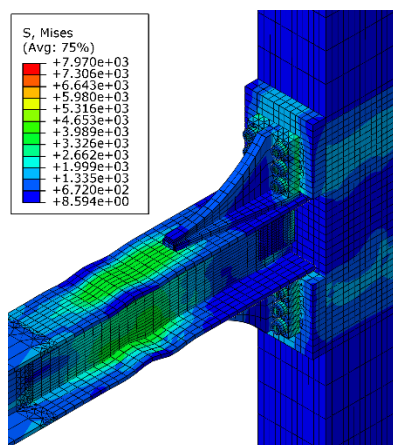
HB-IPB360-BOX400-W2.1



HB-IPB340-BOX400-W2.1

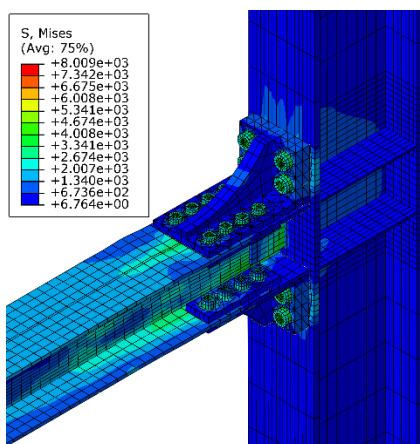


HB-IPB450-BOX400-W1.0

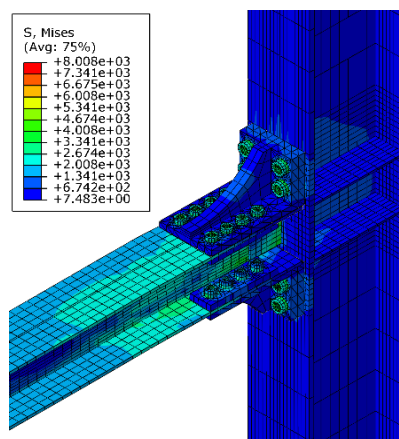


HB-IPB400-BOX400-W1.0

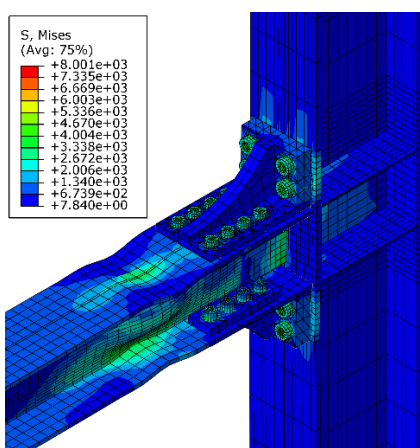
شکل ۶-۱۷: توزیع تنش Von-Mises در نمونه‌های عددی دارای کایزر سری W در گام پایانی بارگذاری



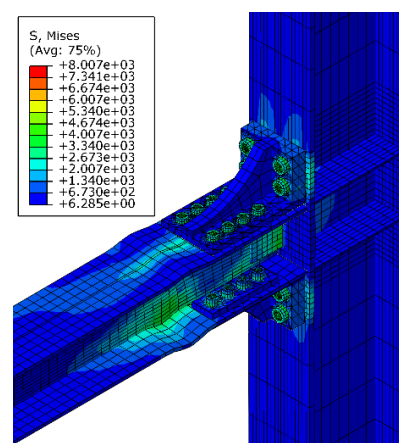
HH-IPB280-IPB500-B2.1



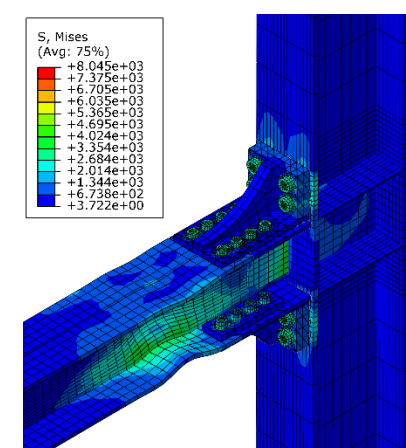
HH-IPB260-IPB500-B2.1



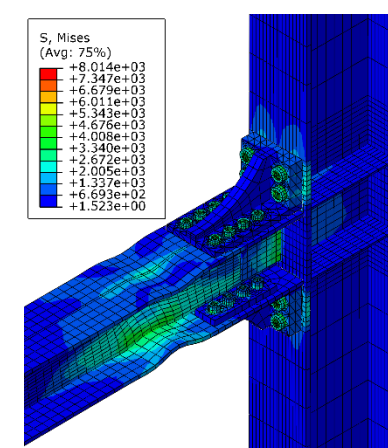
HH-IPB320-IPB500-B2.1



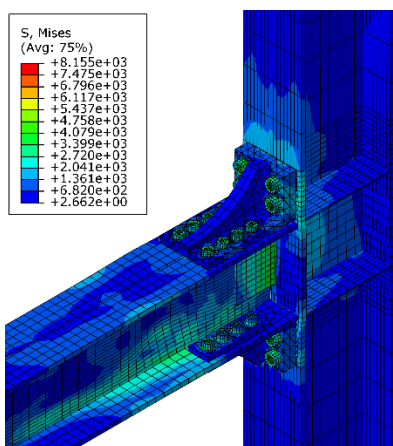
HH-IPB300-IPB500-B2.1



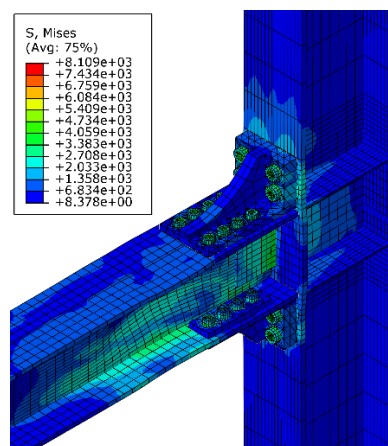
HH-IPB360-IPB500-B2.1



HH-IPB340-IPB500-B2.1



HH-IPB450-IPB500-B2.1



HH-IPB400-IPB500-B2.1

شکل ۶-۱۸ : توزیع تنش Von-Mises در نمونه‌های عددی دارای کایزر سری B در گام پایانی بارگذاری

۷- فصل، مقسم

نتائج وپیشہادہ

۷-۱- مقدمه

هدف از ارائه این پایان نامه انجام تحقیقاتی با هدف کمک به بومی سازی یکی از اتصالات رایج در آیین نامه های معتبر (AISC-358) با نام تجاری ^۱KBB، برای کاربرد در صنایع سازه های فولادی ایران بوده است. امید است نتایج این پژوهش نقشی در نسخه های آتی آیین نامه های فولاد رایج در ایران، علی الخصوص مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان های فولادی، داشته باشد و باعث غنی تر شدن بخش هایی از آن گردد.

۷-۲- نتایج

در مطالعه حاضر، هدف ارزیابی گروهی مشخص از مقاطع فولادی رایج در ایران که مشخصات آنها در جداول اشتال مورد استفاده توسط مهندسين ایرانی ذکر شده، بوده است. به دلیل حجم بسیار بالای آنالیزهای صورت گرفته برای هر نمونه، چه از نظر حجم اطلاعات خروجی نرم افزار و چه از نظر مدت زمان آنالیز، و نیز بدلیل تعدد بسیار زیاد نمونه های مورد بررسی، در این پایان نامه تمرکز مطالعه بر روی مقاطع تیر آهن های نیم پهن IPE و تیر آهن های عریض IPB نوع سبک بوده است.

پس از مدل سازی نمونه های عددی و صحت سنجی نتایج با نمونه های آزمایش شده توسط Scott M. Adan و William Gibb (۲ نمونه برای صحت سنجی ساخته شد) و اطمینان از میزان دقت مدلسازی های عددی، به مدلسازی نمونه های عددی با مقاطع فولادی رایج در ایران، و نیز همراه با مصالح فولادی رایج در صنایع فولادی ایران پرداخته شد. تعداد ۲۰ نمونه برای ارزیابی مقاطع مجاز برای کاربرد با اتصالات کایزر سری W، ۸ نمونه برای ارزیابی مقاطع مجاز برای کاربرد با اتصالات کایزر سری B، و تعداد ۲۹ نمونه برای بررسی راهکارهایی با هدف بهبود عملکرد لرزه ای اتصال صلب خمشی کایزر ساخته شد (در مجموع ۵۹ نمونه).

از آنجا که هندسه اتصال کایزر در انحصار شرکت "ICF Kaiser Engineering" است، برای بهبود

^۱ . Kaiser Bolted Bracket

عملکرد اتصال از ایده‌هایی همچون تغییر در میزان نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها، بهره‌گیری از چشمه اتصال بزرگ تأمین شده توسط براکت کایزر، و نیز تغییر کلاس سطوح فولادی از نظر ضریب اصطکاک بهره گرفته شده است.

نمونه‌ها پس از مدلسازی در دو مرحله تحت بارگذاری قرار گرفتند، مرحله نخست شامل اعمال بار پیش‌تنیدگی بر پیچ‌ها مطابق با ضوابط مطرح شده در مبحث دهم مقررات ملی و آیین‌نامه RCSC، و مرحله دوم شامل اعمال بارگذاری چرخه‌ای استاندارد ارائه شده توسط کمیته‌ی تخصصی مؤسسه سازه‌های فولادی آمریکا که در آیین‌نامه AISC-341 آمده، بوده است.

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

■ مقاطع تیرآهن نیم‌پهن IPE330 تا IPE600 در ترکیب با اتصالات کایزر سری W، برای استفاده در قاب‌های خمشی متوسط و قاب‌های خمشی ویژه مجازاند.

■ مقاطع تیرآهن عریض سبک IPB240 تا IPB450 در ترکیب با اتصالات کایزر سری W، برای استفاده در قاب‌های خمشی متوسط و قاب‌های خمشی ویژه مجازاند.

■ هیچ یک از مقاطع تیرآهن نیم‌پهن IPE در ترکیب با اتصالات کایزر سری B برای استفاده در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه مجاز نیستند.

■ مقاطع تیرآهن عریض سبک IPB260 تا IPB450 در ترکیب با اتصالات کایزر سری B، برای استفاده در قاب‌های خمشی متوسط و قاب‌های خمشی ویژه مجازاند.

🔍 نتایج فوق در قالب جداولی کاربردی در بخش ۷-۲-۱ ارائه شده است.

■ در اتصالات دارای کایزر سری W افزایش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها باعث افزایش میزان اتلاف انرژی و افزایش سختی اولیه اتصال شده و سبب بهبود عملکرد مجموعه‌ی اتصال می‌گردد. این

افزایش نیروی پیش‌تنیدگی باید حداکثر به میزان ۲۰٪ بیشتر از حداقل نیروی پیش‌تنیدگی تعیین شده توسط آیین‌نامه محدود گردد، چرا که نزدیک کردن بیش از حد این نیرو به حداکثر نیروی پیش‌تنیدگی اسمی مجاز پیچ، سبب ضعف در عملکرد پیچ‌ها شده و بازده اتصال را کاهش می‌دهد. در نمونه‌های با این میزان افزایش در نیروی پیش‌تنیدگی، افزایش اتلاف انرژی اتصال تا ۲۳/۷۵٪ نیز گزارش شده است.

■ در اتصالات دارای کایزر سری B افزایش نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها تأثیری در عملکرد اتصال نداشته و توصیه می‌شود از مقادیر حداقل نیروی پیش‌تنیدگی برای این نوع از اتصالات استفاده شود.

■ شیوه ارائه شده برای بهره‌گیری بهتر از عملکرد چشمه اتصال (بزرگ‌شدگی چشمه اتصال) هم در اتصالات دارای کایزر سری W و هم در اتصالات دارای کایزر سری B کاملاً مؤثر بوده و توصیه می‌شود که بکار گرفته شود. این روش در حالات حداکثری، در نمونه‌های دارای کایزر سری W به میزان ۲۰/۳٪ و در نمونه‌های دارای کایزر سری B به میزان ۲۹/۹٪ باعث افزایش اتلاف انرژی مجموعه اتصال شده است. سختی اولیه نیز در این حالت‌ها به ترتیب ۱۹/۷٪ و ۱۲/۳٪ افزایش داشته‌اند (در سایر نمونه‌ها افزایش سختی اولیه اتصال تا ۲۰/۵٪ نیز گزارش شده است).

■ بهره‌گیری از ایده‌ی چشمه اتصال بزرگ سبب استفاده بهتر از ظرفیت خمشی تیر شده و باعث افزایش ماکزیمم لنگر خمشی تحمل شده در بر ستون می‌گردد.

■ چشمه اتصال بزرگ باعث حذف پینچ در منحنی‌های هیستریزیس، و در نتیجه افزایش استهلاک انرژی اتصال می‌شود.

■ افزایش ضریب اصطکاک (تغییر کلاس اصطکاکی از A به B)، در اتصالات دارای کایزر سری W در حالت حداکثری باعث افزایش ۱۰ درصدی در اتلاف انرژی و افزایش ۱/۵ درصدی در سختی اولیه اتصال شده است، این ارقام در نمونه‌های دارای کایزر سری B به ترتیب ۷/۹٪ و ۲٪ گزارش

شده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که در محدوده‌ی مقاطع ایرانی مطالعه شده، افزایش ضریب اصطکاک در هنگام استفاده از اتصالات کایزر اقتصادی نیست، چرا که فراهم نمودن سطوح دارای کلاس اصطکاکی B ($\mu=0.5$) که طبق تعریف سطوح تمیز شده با ماسه پاشی و رنگ نشده هستند، می‌تواند برای مجریان طرح بار مالی داشته باشد.

۷-۲-۱- جداول کاربردی

در این بخش برخی از نتایج ارائه شده در بخش ۷-۲ در قالب جداولی کاربردی آورده شده تا به راحتی قابل استفاده باشند. در این جداول با توجه به مقاطع ایرانی آزمایش شده در این تحقیق می‌توان براکت کایزر مناسب برای آن مقطع، و نیز مشخصات هندسی آن کایزر را پیدا کرد.

جدول ۷-۱: براکت کایزر مناسب سری W برای تیرهای IPE و IPB

سیستم‌های مجاز	مصالح کایزر	براکت کایزر	مصالح تیروستون	ستون مورد آزمایش	مقطع تیر
IMF & SMF	St-52	W3.0	St-37	IPB500	IPE330
IMF & SMF	St-52	W3.0	St-37	IPB500	IPE360
IMF & SMF	St-52	W3.1	St-37	IPB500	IPE400
IMF & SMF	St-52	W2.0	St-37	IPB500	IPE450
IMF & SMF	St-52	W2.0	St-37	IPB500	IPE500
IMF & SMF	St-52	W2.1	St-37	IPB600	IPE550
IMF & SMF	St-52	W2.1	St-37	IPB600	IPE600
IMF & SMF	St-52	W2.0	St-37	IPB500	IPB240
IMF & SMF	St-52	W2.0	St-37	IPB500	IPB260
IMF & SMF	St-52	W2.0	St-37	IPB500	IPB280
IMF & SMF	St-52	W2.0	St-37	BOX40×40×2.54	IPB300

IPB320	BOX40×40×2.54	St-37	W2.1	St-52	IMF & SMF
IPB340	BOX40×40×2.54	St-37	W2.1	St-52	IMF & SMF
IPB360	BOX40×40×2.54	St-37	W2.1	St-52	IMF & SMF
IPB400	BOX40×40×3.8	St-37	W1.0	St-52	IMF & SMF
IPB450	BOX40×40×3.8	St-37	W1.0	St-52	IMF & SMF

جدول ۷-۲: براکت کایزر مناسب سری B برای تیرهای IPB

سیستم‌های مجاز	مصالح کایزر	براکت کایزر	مصالح تیروستون	ستون مورد آزمایش	مقطع تیر
IMF & SMF	St-52	B2.1	St-37	IPB500	IPB260
IMF & SMF	St-52	B2.1	St-37	IPB500	IPB280
IMF & SMF	St-52	B2.1	St-37	IPB500	IPB300
IMF & SMF	St-52	B2.1	St-37	IPB500	IPB320
IMF & SMF	St-52	B2.1	St-37	IPB500	IPB340
IMF & SMF	St-52	B2.1	St-37	IPB500	IPB360
IMF & SMF	St-52	B2.1	St-37	IPB500	IPB400
IMF & SMF	St-52	B2.1	St-37	IPB500	IPB450

جدول ۳-۷: مشخصات کلی براکت‌های سری W و B

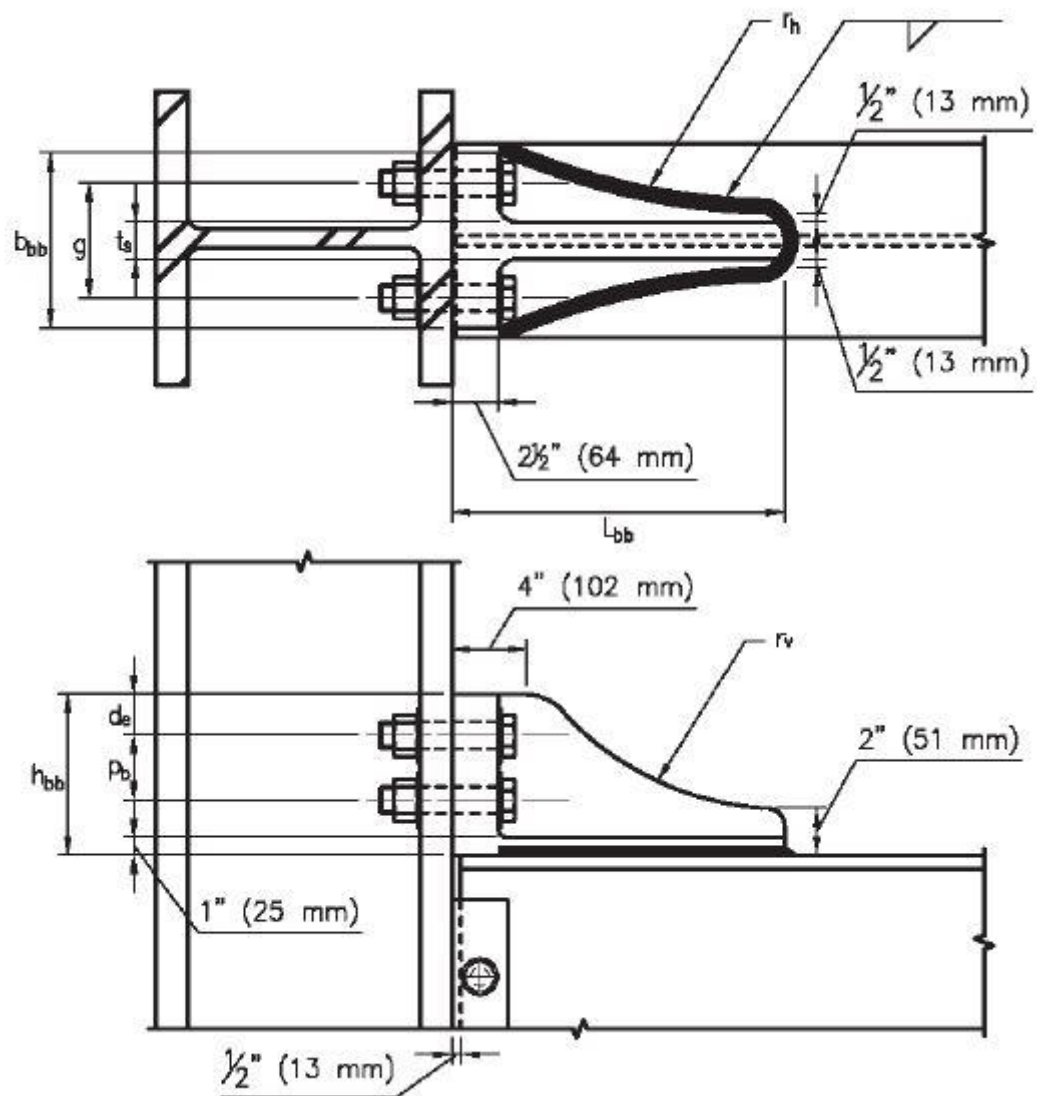
نام براکت کایزر	طول براکت L_{bb} (mm)	ارتفاع براکت H_{bb} (mm)	پهنای براکت b_{bb} (mm)	تعداد پیچ- های ستون n_{cb}	فاصله افقی پیچ‌های ستون g (mm)	قطر پیچ‌های ستون (mm)
W3.0	۴۰۶	۱۴۰	۲۲۹	۲	۱۴۰	۳۵
W3.1	۴۰۶	۱۴۰	۲۲۹	۲	۱۴۰	۳۸
W2.0	۴۰۶	۲۲۲	۲۴۱	۴	۱۵۲	۳۵
W2.1	۴۵۷	۲۲۲	۲۴۱	۴	۱۶۵	۳۸
W1.0	۶۴۸	۳۰۵	۲۴۱	۶	۱۶۵	۳۸
B2.1	۴۵۷	۲۲۲	۲۵۴	۴	۱۶۵	۳۸
B1.0	۶۴۸	۳۰۵	۲۵۴	۶	۱۶۵	۳۸

جدول ۴-۷: مشخصات براکت‌های سری W

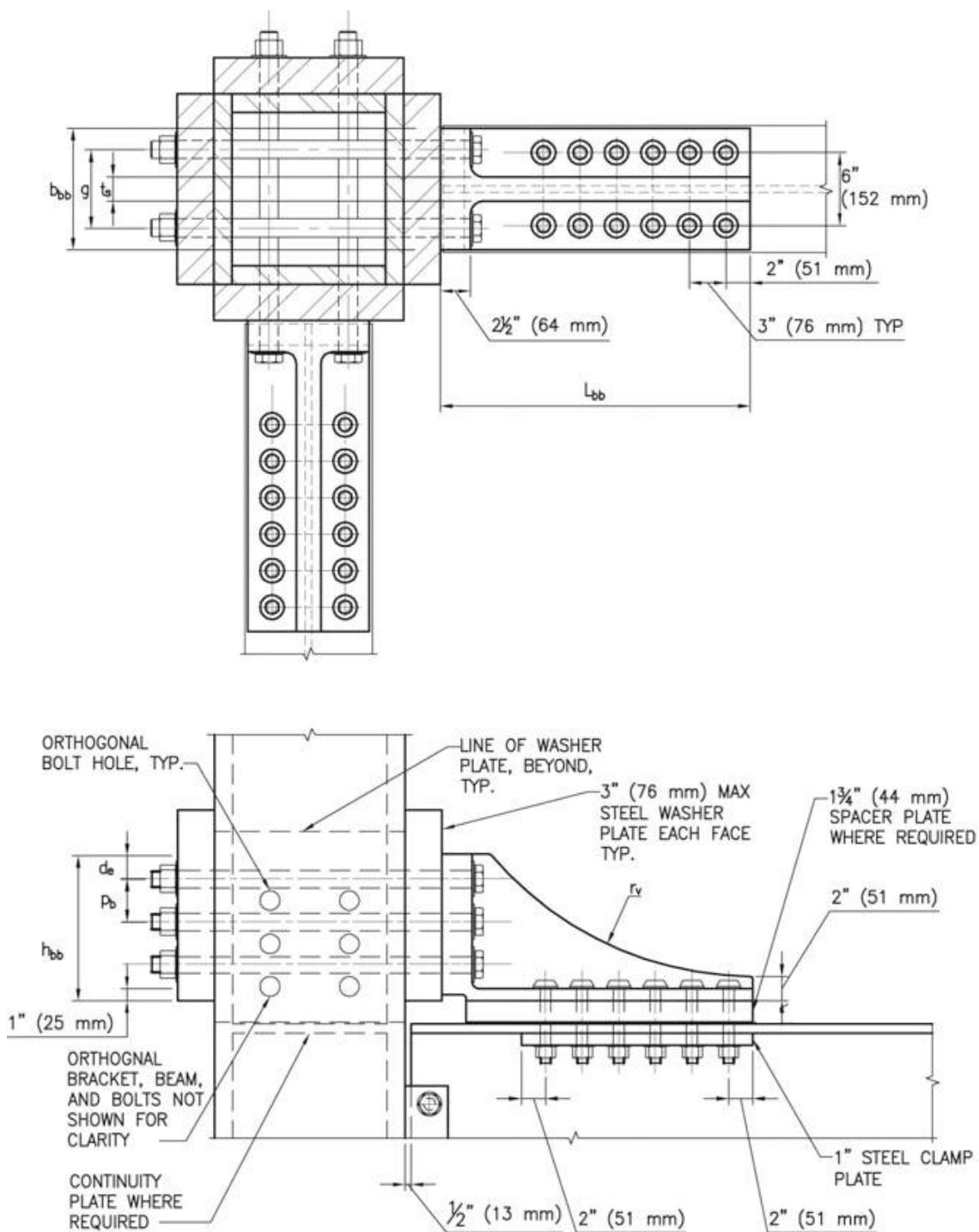
نام براکت کایزر	فاصله پیچ‌ها از لبه فوقانی d_e (mm)	فاصله قائم پیچ- ها از یکدیگر P_b (mm)	ضخامت سخت- کننده براکت کایزر t_s (mm)	شعاع کمان سخت‌کننده R_v (mm)	شعاع کمان افقی پاشنه R_h (mm)	حداقل بُعد جوش گوشه W (mm)
W3.0	۶۴	—	۲۵	—	۷۱۱	۱۳
W3.1	۶۴	—	۲۵	—	۷۱۱	۱۶
W2.0	۵۷	۸۹	۵۱	۳۰۵	۷۱۱	۱۹
W2.1	۵۷	۸۹	۵۱	۳۰۵	۹۶۵	۲۲
W1.0	۵۱	۸۹	۵۱	۷۱۱	—	۲۲

جدول ۷-۵: مشخصات براکت‌های سری B

نام براکت کایزر	فاصله پیچ‌ها از لبه فوقانی de (mm)	فاصله قائم پیچ- ها از یکدیگر Pb (mm)	ضخامت سخت- کننده براکت کایزر ts (mm)	شعاع کمان سخت‌کننده Rv (mm)	تعداد پیچ- های تیر nbb	حداقل بُعد جوش گوشه W (mm)
B2.1	۵۱	۸۹	۵۱	۴۰۶	۸	۲۹
B1.0	۵۱	۸۹	۵۱	۷۱۱	۱۲	۲۹



شکل ۷-۱: نمای شماتیک براکت‌های کایزر سری W



شکل ۳-۷: نحوه استفاده از اتصالات کایزر در ترکیب با ستون‌های قوطی شکل

۷-۳- پیشنهادها

✍ در این تحقیق بررسی‌ها بر روی مقاطع تیرآهن نیم‌پهن IPE و تیرآهن عریض IPB سبک صورت گرفته است، پیشنهاد می‌شود تحقیقاتی در راستای پوشش سایر مقاطع فولادی ارائه شده در جداول اشتال رایج در ایران توسعه یابد.

✍ در مدلسازی‌ها از مصالح فولادی رایج در ایران با نام‌های St-37 و St-52 استفاده شده است، در صورت نیاز در بخش‌های خاص صنعتی می‌توان تحقیق روی اتصالات کایزر را با مصالح دیگری نیز انجام داد.

✍ اتصال کایزر تنها یکی از اتصالاتی است که در آیین‌نامه‌های فولادی ایران جای خالی آن دیده می‌شود، اتصالات دیگری نیز وجود دارند که تحقیقات در زمینه بومی‌سازی آنها می‌تواند به غنی‌تر شدن آیین‌نامه‌های فولادی ایران کمک کند. از جمله این اتصالات می‌توان به اتصال Pin-Fuse اشاره کرد.

✍ با وجود بررسی محدود صورت گرفته بر روی عملکرد اتصالات کایزر بر روی ستون‌های قوطی شکل در این پایان‌نامه، تحقیق در این زمینه و ورود پیدا کردن به آن می‌تواند به کاربرد بهتر این اتصال همراه با ستون‌های قوطی کمک کند، چرا که تحقیقات آزمایشگاهی کمی بر روی این ستون‌ها در ترکیب با اتصالات کایزر صورت گرفته است.

✍ می‌توان با تغییر در هندسه اتصالات کایزر ایده‌هایی را برای بهبود عملکرد آنها مورد بررسی قرار داد. یکی از این ایده‌ها می‌تواند تغییر در ضخامت دماغه‌ی براکت‌ها، و یا تغییر در قوسِ کمانِ این دماغه باشد.

✍ به دلیل توانایی اتصال کایزر در بکار رفتن برای اتصالات سازه‌های بلندمرتبه و خاص، می‌توان عملکرد آن را در این گونه سازه‌های خاص و تحت بارهای انفجاری بررسی کرد.



- [1] Blodgett, O. W., (2001), "*Notes on Beam to Column Connections*" Steel Moment Frame Connection Advisory No. 3, SAC 95-01 SAC Joint Venture, Sacramento CA
- [2] ANSI/AISC-358, (2010), "*Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*", ANSI/AISC, Chicago, Chapter 9.
- [3] ANSI/AISC-358, (2010), "*Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*", ANSI/AISC, Chicago, Chapter 5.
- [4] 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
- [5] 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.
- [6] FEMA 350, (2000), "*Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings*", Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- [7] Tsai KC, Popov EP, (1990), "*Cyclic Behavior of End-Plate Moment Connections*". Journal of Structural Engineering, ASCE, 2917-2930.
- [8] Seradj, H., (1997), "*Ductile End Plate Connections Utilizing Plate Yielding*", School of Civil Engineering and Environmental Science. University of Oklahoma. Norman. Oklahoma.
- [9] Adey, B, Grondin, G. and Cheng, J. J. R, (2000), "*Cyclic Loading of End Plate Moment Connections*", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 27, No. 4, 683-701.
- [10] Shi Y, Shi G, Wang Y, Bradford MA., (2008), "*Numerical Simulation of Steel Pre-*

Tensioned Bolted End-Plate Connections of Different Types and Details", Journal of Engineering Structures Elsevier, Vol. 30(10), 2677-2686.

[11] Yiyi C, Sufang W., (2009), "*Research on End-Plate Connection with Non-Completely Penetrated Welds*", Journal of Constructional Steel Research, elsevier, Vol. 65, 228-236.

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

[13] Shen J, Astanteh-Asl A., (1999), "*Hysteretic Behavior of Bolted Angle Connections*", Journal of Constructional Steel Research, Elsevier, Vol. 51, 201-218.

[14] Kishi N, Ahmed A, Yabuki N., (2001), "*Nonlinear Analyses of Top and Seat-Angle with Double Web-Angle Connections*", Journal of Structural Engineering & Mechanics, Vol. 12, 201-214.

[15] 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.

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

[17] Scott M. Adan, William Gibb., (2009), "*Experimental Evaluation of Kaiser Bolted Bracket Steel Moment-Resisting Connections*", Engineering Journal, third quarter, 181-196.

[18] Scott M. Adan, William Gibb., (1998), "*Test Report 98-05: Specimen HH-8 for LAX United Airlines Terminal Expansion*", ICF Kaiser Engineers.

[19] Chia-Ming Uang, Dong-Won Kim, Hyoungh-Bo Sim, La Jolla, Scott M. Adan., (2010) "*Cyclic Testing and Analyses of Retrofitted Pre-Northridge Steel Moment Connections Using Bolted Brackets*", Journal of SEAOC Proceedings.

[20] ANSI/AISC-358, (2010), "*Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*", ANSI/AISC, Chicago.

۲۱- شهیدی امام جمعه ف، ناطق الهی ف، سید رزاقی م، ۱۳۹۱، "بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال براکت پیچی کایزر تحت بار لرزه‌ای عادی و نزدیک گسل"، سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی، ایران، تهران

[22] Hibbit, Carlson & Sorensen Inc, (2010), "*ABAQUS version 6.10-1 User's Manual*", Michigan.

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

[24] RCSC, (2009) "*Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*", Research Council on Structural Connections, Chicago.

۲۵- 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

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 Kaiser Bolted Bracket (KBB) moment connection. In a Kaiser bolted bracket moment connection, a cast high strength steel bracket is fastened to each beam flange and bolted to the column flange. In this study the seismic behavior of Kaiser bolted bracket moment connections with Iranian steel sections has been investigated. Also three strategies has been examined for improve the seismic performance of KBB connections. The results show that some of the Iranian steel sections were not admissible to use with KBB connections. Between the examined strategies for improving the performance of KBB connections, the strategy of adding additional continuity plates is more useful.

Keywords: Northridge earthquake, Kaiser Moment Connection, Seismic Performance, Iranian Steel Sections, Continuity Plate.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

**Investigation and Improvement of Seismic Performance of Kaiser
Bolted Bracket Moment Connection for Iranian Steel Section's**

Ahmad Gerivani

Supervisor :

Dr. Vahid Reza Kalatjari

February 2016