

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شاهرود

دانشکده: مهندسی عمران و معماری

گروه: عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی رفتار لرزه ای اتصالات گیردار فلنجی (ستون درختی) و

شیوه های تقویت آن

جواد نصراله زاده کپری

استاد راهنما:

دکتر وحیدرضا کلات جاری

بهمن ماه ۱۳۹۳



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

.....

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای جواد نصراله زاده کپری، رشته عمران گرایش سازه تحت عنوان بررسی رفتار لرزه ای اتصالات گیر دار فلنجی (ستون درختی) و شیوه های تقویت آن که در تاریخ ۹۳/۱۱/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول ( با درجه : ..... امتیاز : ..... )  دفاع مجدد  مردود

- ۱- عالی (۲۰ - ۱۹)
۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)
۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)
۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

Table with 4 columns: امضاء, مرتبه علمی, نام و نام خانوادگی, عضو هیأت داوران. Rows include: ۱- استاد راهنما, ۲- استاد مشاور, ۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی, ۴- استاد ممتحن, ۵- استاد ممتحن.

رئیس دانشکده :

# سپاس

از زحمات و الطاف استاد بزرگوار آقای دکتر کلات جاری که در زمان انجام این تحقیق دلسوزانه و بردبارانه مرایاری و پشتیبانی فرمودند.



# تقدیر و شکر

از زحمات و لگهای بی دریغ خانواده عزیزم که دلسوزانه و بردبارانه با صبرم رایاری و  
پشتبانی فرمودند.

## تعهد نامه

اینجانب جواد نصراله زاده کپری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران-سازه دانشکده عمران دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تحت عنوان بررسی رفتار لرزه ای اتصالات گیر دار فلجی (ستون درختی) و شیوه های تقویت آن تحت راهنمایی آقای دکتر وحیدرضا کلاتجاری به عنوان استاد راهنمای اول متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده 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 / رساله تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام <<دانشگاه شاهرود>> و یا <<shahrood university>> به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، 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 / رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

### تاریخ:

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق و نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

\*متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیرشده پایان نامه / رساله وجود داشته باشد.

## چکیده

سیستم قاب خمشی با اتصال ستون درختی است که بنا به دلایل بسیاری از قبیل راحتی و سرعت در نصب، کیفیت بهتر جوش اتصال تیر به ستون به علت اجرا در کارخانه و پایین آوردن درصد بالایی از خطای جوشکاری نسبت به دیگر سیستم ها مورد استفاده قرار می گیرد. از دیگر مزایای این سیستم می توان به کنترل سختی یا نرمی اتصال برای دور کردن مفصل پلاستیک از محل اتصال تیر به ستون و وجه ستون اشاره کرد. بررسی لرزه ای این سیستم قاب خمشی در درجه اول اهمیت قرار دارد و ضرورت دارد عیوب و نقص های محتمل در جوش، ورق های فلنج و پیچ اتصالات ستون درختی با اتصال عریض شده مورد مطالعه قرار گیرد. که خرابی و شکست های سازه در زلزله نورتریج نیز مصداق این موضوع است و اغلب خرابی ها به دلیل شکستگی و گسیختگی ترد و شکننده در اتصالات به علت نقص در اصول محاسباتی و عیوب ساخت ایجاد شده است.

در این پایان نامه به بررسی نقص های اجرایی از قبیل ناکاملی هندسه جوش کیفیت جوشکاری و نقصان در فلنج اتصال تیر به دستک و راه کارهای رفع آن در اتصال ستون درختی پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: اتصال ستون درختی فلنجی، نقص اولیه، اتصال افزایش یافته

## لیست مقالات مستخرج

- ۱- جواد نصراله زاده کپری، وحیدرضا کلات جاری، مهدی امیری " بررسی رفتار لرزه ای نقص اولیه ورق انتهایی در اتصال ستون-درختی فلنچی " همایش ملی عمران و توسعه پایدار نهمین سمپوزیوم پیشرفتهای علوم و تکنولوژی ۱۳۹۳

۲	مقدمه
۵	۱-۱-طبقه بندی انواع اتصالات
۶	۱-۱-۱-طبقه بندی انواع اتصالات بر مبنای صلبیت
۶	۱-۱-۱-۱- اتصالات ساده
۶	۱-۱-۱-۲- اتصالات نیمه صلب
۷	۱-۱-۱-۳- اتصالات صلب
۸	۲-۱-۱- طبقه بندی انواع اتصالات بر مبنای سختی
۱۰	۲-۱-۲- اتصالات فولادی قبل از زلزله نورتریج
۱۲	۳-۱- عوامل موثر در آسیب اتصالات زلزله نورتریج
۱۲	۱-۳-۱- اثرات مخرب باقی ماندن تسمه پشتبند بعد از جوشکاری شیار
۱۳	۲-۳-۱- تمرکز تنش در ناحیه مجاور جوش اتصال
۱۳	۳-۳-۱- ایجاد تنش‌های کششی سه محوره در اتصال
۱۴	۴-۳-۱- عدم توجه کافی به ظرفیت خمشی جان تیر
۱۴	۵-۳-۱- رعایت نکردن رابطه تیر ضعیف- ستون قوی
۱۵	۴-۱- اصلاح رفتار اتصالات صلب خمشی
۱۶	۱-۶-۱- سخت کردن اتصالات
۱۸	۲-۶-۱- نرم کردن اتصالات

## فصل دوم

۲۲	مقدمه
۲۲	۱-۲- تعیین صلبیت اتصال
۲۵	۲-۲- انواع قابهای خمشی فولادی با سیستم ستون درختی
۲۶	۳-۲- قابهای خمشی فولادی با سیستم ستون درختی بر اساس صلبیت

- ۲۷-۴-۲ اصول طراحی اتصالات صلب قابهای خمشی فولادی..... ۲۷
- ۲۷-۴-۲-۱ تعیین نیروهای تقاضا در اتصال..... ۲۷
- ۲۸-۴-۲-۱ تعیین محل مفصل پلاستیک..... ۲۸
- ۲۸-۴-۲-۲ تعیین لنگر پلاستیک مورد انتظار..... ۲۸
- ۲۸-۴-۲-۳ تعیین برش در محل مفصل پلاستیک..... ۲۸
- ۲۹-۴-۲-۴ تعیین تقاضای نیرویی در محل اتصال..... ۲۹
- ۳۱-۴-۲-۲ ضوابط و روابط طراحی اتصال فلنجی..... ۳۱
- ۳۲-۴-۲-۱ روش طراحی فلنج..... ۳۲
- ۳۴-۴-۲-۲ تعیین پارامترهای فلنج..... ۳۴
- ۳۵-۴-۲-۳ ضوابط عمومی برای تیرهای قاب صلب خمشی..... ۳۵
- ۳۶-۵-۲ تأیید اتصالات صلب قابهای خمشی فولادی..... ۳۶
- ۳۶-۵-۲-۱ مقدمه..... ۳۶
- ۳۶-۵-۲-۲ تأیید اتصال..... ۳۶
- ۳۷-۵-۲-۱ طراحی جزئیات اتصال..... ۳۷
- ۳۷-۵-۲-۲ زیرسازه..... ۳۷
- ۳۹-۵-۲-۳ اندازه‌گیری‌ها..... ۳۹
- ۴۰-۵-۲-۳ تاریخچه بارگذاری..... ۴۰
- ۴۲-۵-۲-۱ ضوابط پذیرش اتصال..... ۴۲

### فصل سوم

- ۴۶-۱-۱-۳ بررسی مطالعات انجام شده روی اتصالات صلب در اتصال تیر به ستون..... ۴۶
- ۴۶-۱-۱-۳-۱ مطالعاتی که در آنها اتصال تیر به ستون فاقد تقویت است..... ۴۶
- ۴۶-۱-۱-۳-۱-۱ بررسی اتصال فاقد تقویت..... ۴۶
- ۵۴-۱-۱-۲-۲ تقویت اتصال با سخت کننده T-شکل..... ۵۴

- ۳-۱-۱-۳- تقویت اتصال در وجه ستون ..... ۵۷
- ۳-۲- بررسی مصالحات پیشین اتصالات فلنجی و ستون درختی صلب ..... ۶۷
- ۳-۲-۱- مروری بر تحقیقات پیشین در اتصالات ستون درختی فلنجی ..... ۶۷
- ۳-۳- مروری بر تحقیقات پیشین در اتصالات فلنجی با نقص اولیه ..... ۷۰

#### فصل چهارم

- مدل سازی نمونه ها ..... ۷۲
- ۴-۱- طراحی نمونه ها ..... ۷۳
- ۴-۲- مدل سازی و تحلیل اجزاء محدود ..... ۷۴
- ۴-۳- المان مورد استفاده در مدل سازی ..... ۷۶
- ۴-۴- مش بندی مدل ها ..... ۸۰
- ۴-۵- تعریف سطح تماس ..... ۸۳
- ۴-۶- تعریف بارگذاری ..... ۸۳
- ۴-۶-۱- شرایط مرزی مدل ها ..... ۸۳
- ۴-۶-۲- بارگذاری روی مدل ..... ۸۵
- ۴-۶- روش های تحلیل ..... ۸۸
- فصل پنجم: نتایج حاصل از مدل های عددی ..... ۸۹
- مقدمه ..... ۹۰
- ۵-۱- معرفی مدل پیشنهادی ..... ۹۰
- ۵-۲- بررسی صحت سنجی اتصال تیر به ستون ..... ۹۱
- ۵-۳- بررسی نقص اولیه در اتصال بال تیر به ستون ..... ۱۰۰
- ۵-۳-۱- بررسی نقص هندسی در جوش نفوذی اتصال تیر به ستون ..... ۱۰۱
- ۵-۳-۲- رفع نقص در اتصال تیر به ستون ..... ۱۱۳
- ۵-۴- بررسی نقص اولیه اتصال فلنجی ..... ۱۲۵
- ۵-۴-۱- بررسی نقص اولیه بر فلنج c- شکل ..... ۱۲۸

۱۳۴ ..... ۲-۴-۵ بررسی نقص اولیه بر فلنج C- شکل دو طرفه

۱۳۷ ..... ۳-۴-۵ رفع نقص در اتصال فلنجی با جوش دور تا دور

۱۳۸ ..... ۱-۳-۴-۵ - رفع نقص با جوش دور تا دور در اتصال C- شکل دو طرفه

۱۳۹ ..... ۲-۳-۴-۵ - رفع نقص با جوش دور تا دور در اتصال

۱۴۴ ..... مقدمه

۱۴۴ ..... نتیجه گیری

۱۴۷ ..... مراجع



## فهرست جداول

جدول ۱-۱- طبقه‌بندی اتصالات ..... ۵

## فهرست شکلها

شکل ۱-۱- اسکلت فولادی ستون درختی با سیستم قاب خمشی ..... ۲

شکل ۲-۱- اجزا تشکیل دهنده اتصال قاب خمشی با سیستم ستون درختی ..... ۳

شکل ۳-۱- انواع اتصال تیر ریشه به تیر اصلی با وصله جان وبال ..... ۳

شکل ۴-۱- اتصال تیر ریشه به تیر اصلی با اتصال فلنجی ..... ۴

شکل ۵-۱- منحنی لنگر-دوران اتصالات ساده، نیمه صلب و صلب ..... ۷

شکل ۶-۱- نمونه اتصالات در منحنی لنگر-دوران ..... ۸

شکل ۷-۱- اتصال گیردر قبل از زلزله نورتریج ..... ۱۰

شکل ۸-۱- سطح ناپیوسته تسمه پشت بند که یک ترک لبه‌ای مصنوعی را تشکیل می‌دهد ..... ۱۱

شکل ۹-۱- روش‌های افزایش سختی اتصال خمشی ..... ۱۵

شکل ۱۰-۱- روش‌های افزایش سختی اتصال خمشی با ورق کناری ..... ۱۶

شکل ۱۱-۱- روش‌های افزایش سختی اتصال خمشی با منشوری کردن جان ..... ۱۶

شکل ۱۲-۱- روش‌های افزایش سختی اتصال خمشی با عریض کرده ورق بال و منشوری کردن ورق بال ..... ۱۷

شکل ۱۳-۱- روش‌های افزایش نرمی اتصال خمشی ..... ۱۷

شکل ۱-۲- معرفی سختی اولیه و سختی وتری در سطح سرویس ..... ۲۳

شکل ۲-۲- تعیین سختی اتصال بر اساس نمودار چرخش و لنگر اتصال ..... ۲۴

شکل ۳-۲- دیاگرام آزاد برای محاسبه برش در محل مفصل پلاستیک ..... ۲۹

شکل ۴-۲- دیاگرام آزاد برای محاسبه لنگر در وجه ستون ..... ۳۰

شکل ۵-۲- دیاگرام توزیع نیرو در فلنج ..... ۳۱

شکل ۶-۲- مقطع معادل و موثر در فنج در کشش و فشار ..... ۳۲

شکل ۷-۲- مودهای گسیختگی در اتصال فلنجی ..... ۳۳

شکل ۸-۲- خطوط گسیختگی در ورق ..... ۳۴

شکل ۹-۲-الف) تغییر شکل قاب خمشی تحت اثر بارهای جانبی (ب) نمونه‌ای از زیرسازه پیرامونی ..... ۳۸

- شکل ۲-۱۰- زاویه دررفت میان طبقه ..... ۳۹
- شکل ۲-۱۱- تاریخچه بارگذاری ..... ۴۰
- شکل ۲-۱۲- تاریخچه بارگذاری در AISC 2005 ..... ۴۱
- شکل ۲-۱۳- کنترل ضوابط پذیرش در نمودار لنگر- زاویه چرخش نسبی طبقه مطابق با AISC2005 ..... ۴۲
- شکل ۳-۱- تغییرات تنش برای نمونه آزمایشگاهی ..... ۴۶
- شکل ۳-۲- جزییات اتصال برای دو نمونه EC01 و EC02 ..... ۴۷
- شکل ۳-۳- شکست ایجاد شده در اتصال تحت بار چرخه ای ..... ۴۸
- شکل ۳-۴- نمودار لنگر در لبه ستون بر حسب دررفت ..... ۴۸
- شکل ۳-۵- توزیع تنشهای طولی نرمال شده در ۵٪ زاویه دررفت طبقه در عرض بال تیر ..... ۴۹
- شکل ۳-۶- توزیع اندیس PEEQ در ۴٪ زاویه دررفت طبقه در عرض بال تیر ..... ۵۰
- شکل ۳-۷- اتصال تیر به ستون قوطی با روش جوش الکترواسلگ ..... ۵۱
- شکل ۳-۸- شکست ترد در نمونه تقویت نشده ..... ۵۲
- شکل ۳-۹- نمودار هیستریزیس نمونه تقویت نشده ..... ۵۲
- شکل ۳-۱۰- میزان تسلیم شدگی در اتصال با سخت کننده T شکل ..... ۵۳
- شکل ۳-۱۱- مدل عددی اتصال T شکل به بال تیر ..... ۵۴
- شکل ۳-۱۲- مکان محتمل برای ایجاد ترک در اتصال با سخت کننده T شکل ..... ۵۵
- شکل ۳-۱۳- نمونه آزمایشگاهی اتصال تیر به ستون قوطی با سخت کننده T شکل ..... ۵۵
- شکل ۳-۱۴- نمونه تقویت شده که در آن rib Plate در محل خط مرکزی تیر قرار گرفته است ..... ۵۷
- شکل ۴-۱۵- کمانش موضعی جان و بال تیر نمونه BR115SB ..... ۵۸
- شکل ۴-۱۶- کمانش موضعی جان و بال تیر نمونه BR105SB ..... ۵۸
- شکل ۳-۱۷- نمودار هیستریزیس نمونه های BR105SB و BR115SB ..... ۵۹
- شکل ۳-۱۸- ترک در جوش CJP نمونه BR115SB-FW ..... ۶۰
- شکل ۳-۱۹- نمودار هیستریزیس نمونه - BR115SB-FW ..... ۶۰
- شکل ۳-۲۰- ترک در جوش CJP نمونه BR115C-CB ..... ۶۱
- شکل ۳-۲۱- شکست بال تیر نمونه BR1120CB-WP ..... ۶۲
- شکل ۳-۲۲- نمودار هیستریزیس نمونه - BR1120CB-WP ..... ۶۲
- شکل ۳-۲۳- نمونه a و b دو نمونه آزمایشگاهی مورد بررسی توسط Sotirov ..... ۶۳
- شکل ۳-۲۵- مشخصات نمونه های آزمایشگاهی ..... ۶۴

- شکل ۳-۲۶- نمونه W10-L1A در انتهای دریافت ۴٪..... ۶۵
- شکل ۳-۲۷- مقایسه گراف بار-جابجایی بین نمونه WUF-B , CR-W شکل..... ۶۶
- شکل ۳-۲۸- مقایسه گراف لنگر-چرخش بین نمونه WUF-B , CR-W شکل..... ۶۶
- شکل ۳-۲۹- مدل شبیه سازی شده در نرم افزار توسط Yuping..... ۶۷
- شکل ۳-۳۰- منحنی بار تغییر مکان تحت بار یکنواخت..... ۶۷
- شکل ۳-۳۱- نقص اولیه در اتصال فلنجی ورق انتهایی گسترده..... ۶۸
- شکل ۳-۳۲- مدلسازی آزمایشگاهی نقص اولیه در اتصال ورق انتهایی فلنجی..... ۶۹
- شکل ۳-۳۲- مدلسازی عددی نقص اولیه در اتصال فلنجی..... ۷۰
- شکل ۴-۱- اتصال W1L03..... ۷۲
- شکل ۴-۲- مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه..... ۷۳
- شکل ۴-۳- مقایسه نمودار تنش-کرنش واقعی و تئوری مصالح..... ۷۴
- شکل ۴-۴- سخت‌شوندگی کرنشی..... ۷۴
- شکل ۴-۵- انواع المان‌های موجود در ABAQUS..... ۷۶
- شکل ۴-۶- المان‌های سه بعدی (الف) ۸ گرهی (ب) ۲۰ گرهی..... ۷۶
- شکل ۴-۷- تعداد نقاط گوس در المان دو بعدی..... ۷۷
- شکل ۴-۸- مدل سه بعدی مدل قبل از تعریف سطح و مش بندی..... ۸۰
- شکل ۴-۹- اشکال سه بعدی با مش Structure..... ۸۱
- شکل ۴-۱۰- بهترین شکل المان مش بندی در تکنیک Structure..... ۸۱
- شکل ۴-۱۱- نمونه با مش همزمان با مش C3D8I و C3D10I..... ۸۱
- شکل ۴-۱۲- نحوه اختصاص تکیه‌گاه به نمونه‌ها..... ۸۴
- شکل ۴-۱۳- نحوه اعمال بار bolt load در هر پیچ..... ۸۵
- شکل ۴-۱۴- نحوه اعمال بار bolt load به صورت شماتیک..... ۸۵
- شکل ۴-۱۵- نحوه اعمال بار استاتیکی بصورت جابجایی در انتهای تیر..... ۸۶
- شکل ۴-۱۵- نمودار بارگذاری چرخه ای..... ۸۷
- شکل ۵-۱- شکل نمونه W1-L03 در مدل آزمایشگاهی Chen..... ۹۰
- شکل ۵-۲- نمودار تغییر مکان-بار در نمونه W1-L03..... ۹۱
- شکل ۵-۳- نمودار تغییر مکان-بار در نمونه W1-L03..... ۹۲
- شکل ۵-۴- نمودار تغییر مکان-بار در نمونه W1-L03..... ۹۲
- شکل ۵-۵- تنش‌های میسز در نمونه W1-L03..... ۹۳

شکل ۵-۶- نمودار تغییر مکان-بار در نمونه W1-L03.....	۹۳
شکل ۵-۷- نمودار لنگر-دوران اتصال فاقد فلنچ.....	۹۴
شکل ۵-۸- نمودار لنگر دوران اتصال فلنچی.....	۹۵
شکل ۵-۹- مقایسه اتصال عددی اتصال فلنچی و نمونه فاقد فلنچ.....	۹۵
شکل ۵-۱۰- نمودار توزیع PEEQ در عرض تیر در اتصال تیر به ستون اتصال فاقد فلنچ.....	۹۶
شکل ۵-۱۱- کانتر تنش و تغییر شکل اتصال در حالت جاری شدن.....	۹۶
شکل ۵-۱۲- الف) نمونه توزیع کرنش معادل پلاستیک (PEEQ)-ب) توزیع تنش (کانتر تنش) فن میسر در اتصال فلنچی.....	۹۸
شکل ۵-۱۳- توزیع شاخص PEEQ در ارتفاع فلنچ.....	۹۸
شکل ۵-۱۴- توزیع تنش فن میسر در ارتفاع فلنچ.....	۹۹
شکل ۵-۱۵- نمودار تغییر مکان اتصال در دوران بیش از ۰,۰۳ رادیان.....	۱۰۱
شکل ۵-۱۶- نمونه مرجع W1-L03 مدلسازی شده در نرم افزار Abaqus.....	۱۰۱
شکل ۵-۱۷- نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۰,۰۵٪.....	۱۰۱
شکل ۵-۱۸- توزیع تنش فن میسر در اتصال با کسر بعد جوش تیر به ستون ۰,۰۵٪.....	۱۰۳
شکل ۵-۱۹- کانتر توزیع کرنش معادل پلاستیک در اتصال با کسر بعد ۰,۰۵٪.....	۱۰۳
شکل ۵-۲۰- اتصال با کسر بعد ۰,۰۵٪ در تنش های جاری شدن.....	۱۰۴
شکل ۵-۲۱- نمودار توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۰,۰۵٪.....	۱۰۴
شکل ۵-۲۲- نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۰,۱۰٪.....	۱۰۵
شکل ۵-۲۳- تصویر توزیع اندیس تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۰,۱۰٪.....	۱۰۵
شکل ۵-۲۴- تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۰,۱۰٪.....	۱۰۶
شکل ۵-۲۵- نمودار توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۰,۱۰٪.....	۱۰۶
شکل ۵-۲۶- نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۰,۱۵٪.....	۱۰۶
شکل ۵-۲۷- تصویر توزیع اندیس تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۰,۱۵٪.....	۱۰۷
شکل ۵-۲۸- تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۰,۱۵٪.....	۱۰۸
شکل ۵-۲۹- نمودار توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۰,۱۵٪.....	۱۰۸
شکل ۵-۳۰- نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۰,۲۰٪.....	۱۰۹
شکل ۵-۳۱- تصویر توزیع اندیس تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۰,۲۰٪.....	۱۰۹
شکل ۵-۳۲- تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۰,۲۰٪.....	۱۱۰
شکل ۵-۳۳- نمودار توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۰,۲۰٪.....	۱۱۰

- شکل ۵-۳۴ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۲۵٪ ..... ۱۱۱
- شکل ۵-۳۵ - تصویر توزیع اندیس تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۲۵٪ ..... ۱۱۱
- شکل ۵-۳۶ - نمودار توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۵٪ ..... ۱۱۲
- شکل ۵-۳۷ - تصویر توزیع اندیس تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۳۰٪ ..... ۱۱۲
- شکل ۷-۳۸ - مدل نقص اولیه با لچکی تک ..... ۱۱۳
- شکل ۵-۳۹ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۱۰٪ و با تقویت لچکی تک ..... ۱۱۴
- شکل ۵-۴۰ - توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۱۰٪ با تقویت لچکی ..... ۱۱۵
- شکل ۵-۴۱ - توزیع تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۱۰٪ با تقویت لچکی ..... ۱۱۵
- شکل ۵-۴۲ - تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۱۰٪ با تقویت لچکی تک ..... ۱۱۶
- شکل ۵-۴۳ - توزیع تنش فن میسر در عرض بال تیر در کسر بعد ۱۰٪ با تقویت لچکی ..... ۱۱۶
- شکل ۵-۴۴ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۱۵٪ و با تقویت لچکی تک ..... ۱۱۷
- شکل ۵-۴۵ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۱۵٪ و با تقویت لچکی دوبله ..... ۱۱۷
- شکل ۵-۴۶ - توزیع تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی تک ..... ۱۱۸
- شکل ۵-۴۷ - توزیع تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی دوبله ..... ۱۱۸
- شکل ۵-۴۸ - توزیع تنش فن میسر در عرض بال تیر در کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی ..... ۱۱۹
- شکل ۵-۴۹ - تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی تک ..... ۱۱۹
- شکل ۵-۵۰ - تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی دوبله ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۵۱ - توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۱۵٪ با تقویت ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۵۲ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۲۰٪ و با تقویت لچکی دوبله ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۵۳ - توزیع تنش فن میسر در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۰٪ با تقویت لچکی ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۵۴ - توزیع تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۲۰٪ ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۵۵ - تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۲۰٪ ..... ۱۲۲
- شکل ۵-۵۶ - توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۰٪ با تقویت ..... ۱۲۳
- شکل ۵-۵۷ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۲۵٪ و با تقویت لچکی دوبله و تقویت ..... ۱۲۳
- شکل ۵-۵۸ - نمودار تنش فن میسر در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۵٪ با تقویت لچکی ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۵۸ - توزیع تنش فن میسر در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۵٪ با تقویت لچکی ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۵۱ - توزیع شاخص PEEQ در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۵٪ با تقویت لچکی ..... ۱۲۵
- شکل ۵-۵۲ - نقص اولیه در اتصال فلنچی ورق انتهایی ..... ۱۲۶
- شکل ۵-۵۳ - شکل مدل اجزا محدود فلنچی در نرم افزار Abaqus ..... ۱۲۶

- شکل ۷-۵۴- تصویر توزیع تنش فن میسز در اتصال ستون درختی فلنجی ..... ۱۲۷
- شکل ۵-۵۵- مدل با نقص اولیه اتصال فلنجی با نقص اولیه ..... ۱۲۸
- شکل ۵-۵۶- مدل نقص اولیه C-شکل ..... ۱۲۹
- شکل ۵-۵۷- نمودار هیستریزس اتصال C-شکل یک طرفه با نقص اولیه کمتر از ۸٪ ..... ۱۳۰
- شکل ۵-۵۸- تنش فن میسز در اتصال با تغییر شکل در اتصال ..... ۱۳۲
- شکل ۵-۵۸- نمودار هیستریزس اتصال C-شکل یک طرفه با نقص اولیه تا ۱۵٪ ..... ۱۳۳
- شکل ۵-۵۹- نمودار هیستریزس اتصال C-شکل دوطرفه با نقص اولیه تا ۱۸٪ ..... ۱۳۶
- شکل ۵-۶۰- بررسی تنش میسز در اتصال C-شکل دو طرفه ..... ۱۳۶
- شکل ۵-۶۱- تنش میسز و تغییر شکل نهایی تحت بار لرزه ای در اتصال C-شکل دو طرفه ..... ۱۳۷
- شکل ۵-۶۲- کرنش معادل پلاستیک و تغییر شکل نهایی بار لرزه ای در اتصال C-شکل ..... ۱۳۷
- شکل ۵-۶۳- نمودار هیستریزس رفع نقص اولیه در اتصال C-شکل دوطرفه با نقص اولیه ..... ۱۳۸
- شکل ۵-۶۴- نمودار هیستریزس رفع نقص اولیه در اتصال C-شکل یک طرفه با نقص اولیه ..... ۱۴۰
- شکل ۵-۶۵- تنش فن میسز در اتصال رفع نقص شده مدل C-شکل با نقص اولیه یک طرفه ..... ۱۴۱
- شکل ۵-۶۶- کرنش معادل پلاستیک در اتصال رفع نقص شده مدل C-شکل ..... ۱۴۱

## فصل اول : کلیات

## مقدمه

یکی از رایج ترین سیستم های مورد استفاده در اسکلت فلزی، سیستم قاب خمشی است که در شکل ۱- نشان داده شده است. قابهای خمشی بسته به خاصیت شکل پذیری شان به دو دسته ویژه و معمولی تقسیم دسته بندی می شوند.



شکل ۱-۱- اسکلت فولادی ستون درختی با سیستم قاب خمشی

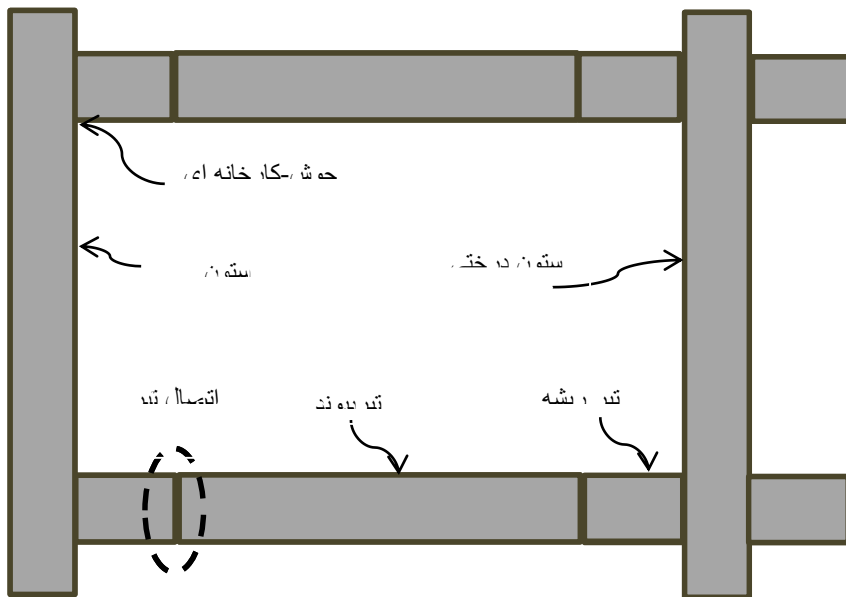
قابهای خمشی به گونه ای طراحی میشود که دارای قابلیت شکل پذیری بالا باشد تا در مقابل تغییر شکل های غیر ارتجاعی ناخواسته در طول زلزله مقاوم باشد. یکی از کارآمد ترین سیستم های اسکلت فلزی در زمینه جوشی و پیچی، نوع ستون درختی است در یک سیستم ستون درختی اجزا کوتاه همانند تیر تیر ریشه<sup>۱</sup> در کارخانه به ستون اصلی جوش داده می شود. شکل ۱-۲ نشان دهنده اجزا تشکیل

---

<sup>1</sup> Stub beam

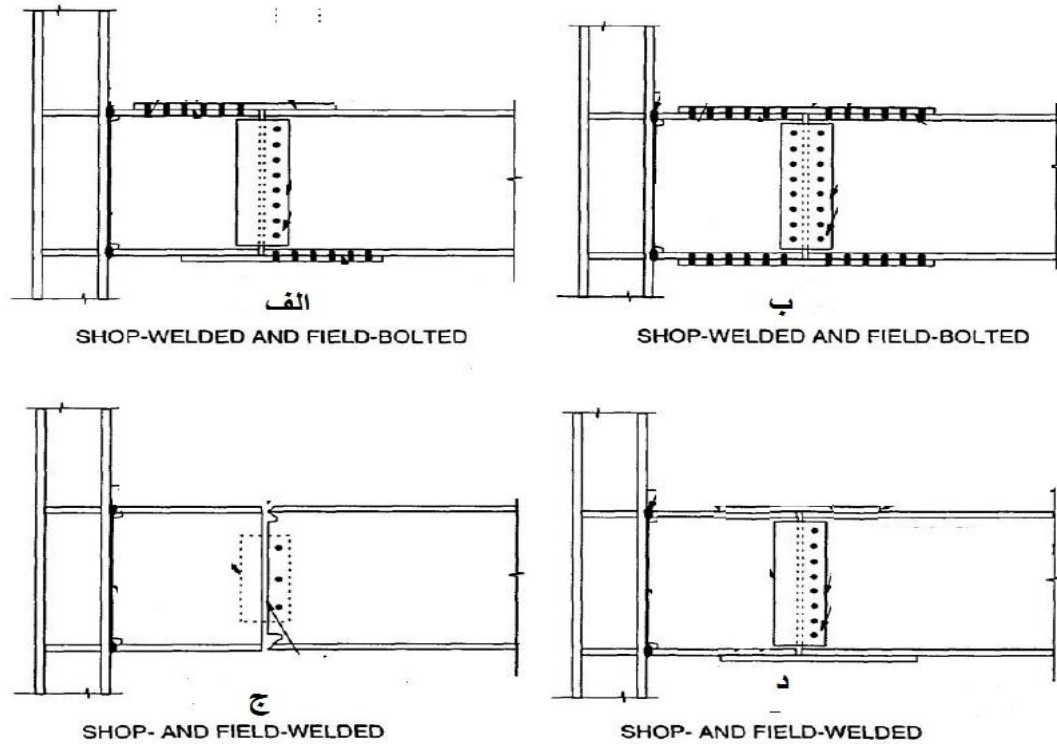


دهنده قاب خمشی با اتصال ستون درختی است. ستون های درختی طراحی شده معمولا از نوع اتصال جوش کارخانه ای و اتصال پیچی در کارگاه است. جوش تیر ریشه به بدنه ستون اصلی بطور معمول به منظور دست یابی به کیفیت های بالا و جوش های اقتصادی و نیز بازدید آسان است. نصب تیر ریشه به تیر اصلی با اتصال پیچی اقتصادی تر بوده و نصب آسان تری دارد.



شکل ۱-۲ - اجزا تشکیل دهنده اتصال قاب خمشی با سیستم ستون درختی

از انواع اتصال تیر ریشه به تیر اصلی اتصالات وصله ای کامل پیچ (شکل ۳-۱ ب) و یا ترکیب جوش و پیچ (شکل ۳-۱ الف) و یا کامل جوش شود که در شکل ۳-۱ ج ود نشان داده شده است و از اتصال فلنچی مطابق شکل ۱-۱ استفاده نمود.



شکل ۳-۱ - انواع اتصال تیر ریشه به تیر اصلی با وصله جان و بال

در اتصال فلنجی اتصال تیر ریشه به تیر اصلی به وسیله فلنج که دو ورق سوراخ کاری شده که ارتفاع و عرض آن بیشتر از ارتفاع و عرض تیر است بصورت عمود بر مقطع تیر توسط جوش به بال و جان تیر مطابق شکل ۴-۱ متصل شده است



شکل ۴-۱- اتصال تیر ریشه به تیر اصلی با اتصال فلنجی

در ادامه این فصل به معرفی انواع اتصالات و دسته بندی آنها پرداخته می شود. تاریخچه اتصالات صلب فولادی و عوامل موثر خرابی اتصالات در زلزله نورتریج و دیگر زلزله ها مورد بررسی قرار می گیرد. در نهایت روشهای اصلاح اتصالات صلب خمشی ارائه شد و در انتها به معرفی اتصال مورد بررسی در این پایان نامه پرداخته خواهد شد.

#### ۱-۱- طبقه بندی انواع اتصالات

اتصالات فولادی را با توجه به سختی و صلبیت دسته بندی می توان کرد که به اختصار به شرح هر یک خواهیم پرداخت

### ۱-۱-۱- طبقه بندی انواع اتصالات بر مبنای صلبیت

اتصالات موجود در قاب‌های خمشی فولادی از نظر میزان گیرداری در محل اتصال معرفی شده.

اتصالات در قاب‌های فولادی به سه دسته کلی مطابق با جدول (۱-۱) طبقه‌بندی می‌شود [۵].

جدول ۱-۱ طبقه‌بندی اتصالات

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

در جدول ۱-۱ R درجه صلبیت، نسبت لنگر انتهایی حقیقی به لنگر گیرداری انتهایی در حالت گیرداری کامل می‌باشد.

#### ۱-۱-۱-۱- اتصالات ساده

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

#### ۱-۱-۱-۲- اتصالات نیمه صلب

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

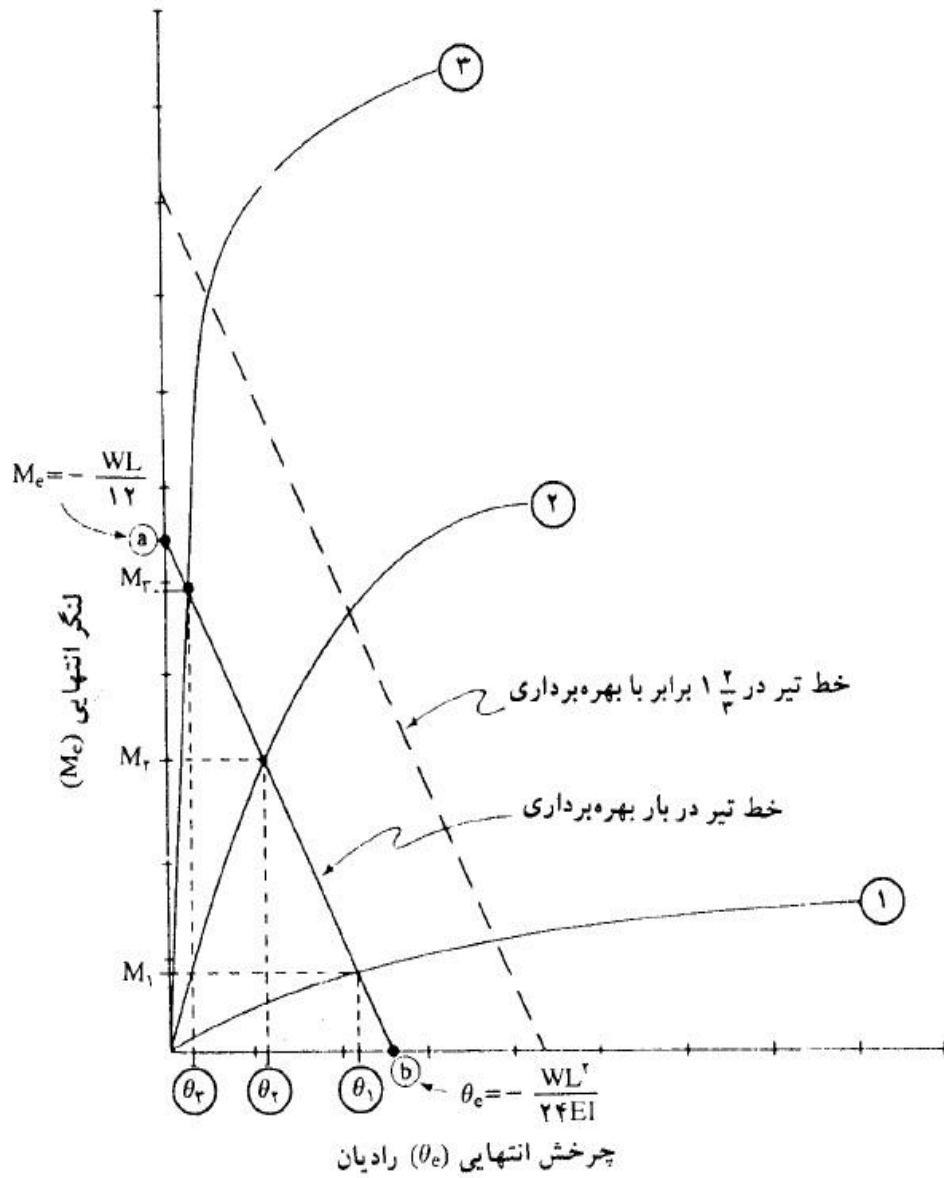
لنگرهای انتهایی افزوده می‌شود و افزایش درجه صلبیت باعث کاهش لنگر میانی می‌شود. در صورتی که شرایط تکیه گاهی تیر کاملاً صلب باشد و تیر تحت اثر دهانه مجاور که احتمال دارد باعث انتقال لنگر اضافه از طریق اتصال شود، نباشد؛ در حالت بارگذاری یکنواخت یک اتصال نیمه صلب با درجه صلبیت ۷۵٪ باعث برابری لنگر در وسط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

### ۱-۱-۱-۳- اتصالات صلب

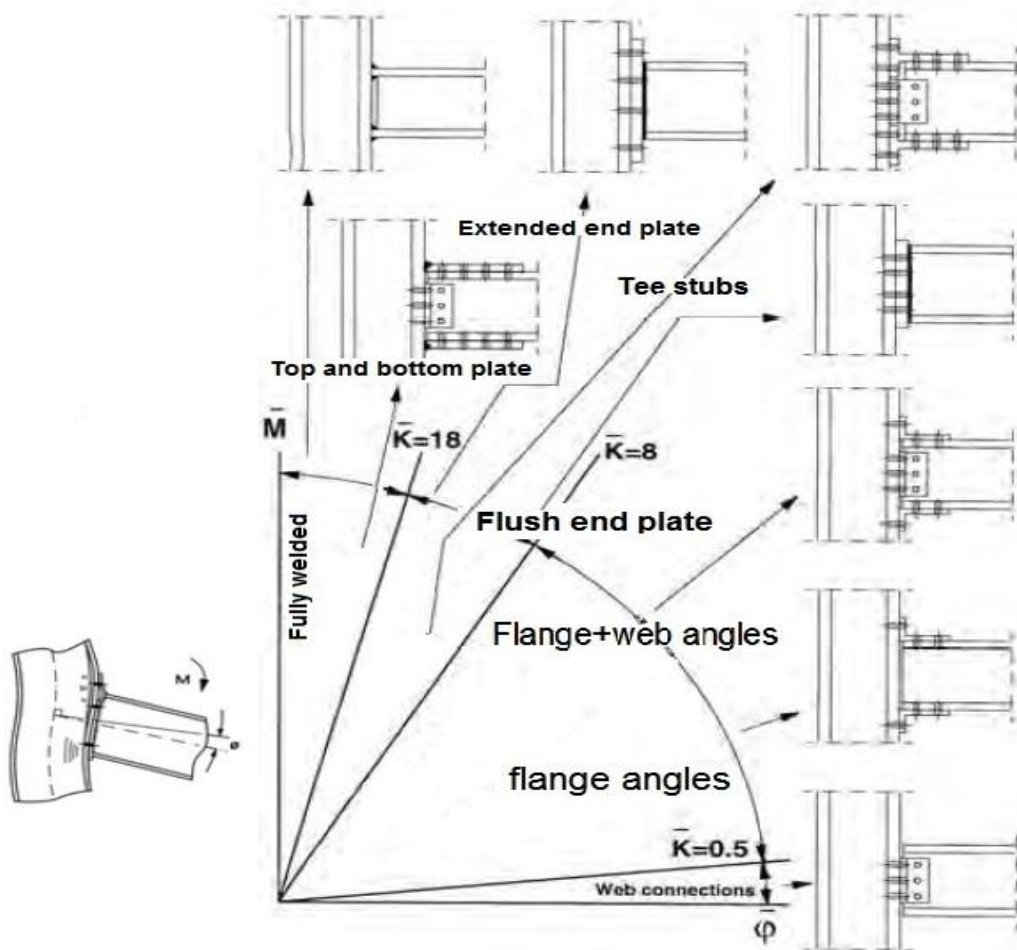
برای اتصالات کاملاً صلب، لنگرهای حقیقی باید به وسیله یکی از روشهای مختلف تحلیل سازه محاسبه شود و تیرها و اتصالات برای لنگر و برش مربوطه طراحی گردد. اتصال باید صلبیت کافی داشته باشد تا بتواند در عمل زاویه اصلی بین ستون و تیر را ثابت نگه دارد. صلبیت یک اتصال، تحت تاثیر صلبیت تکیه گاه‌های آن قرار دارد.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

### ۱-۱-۲- طبقه بندی انواع اتصالات بر مبنای سختی

جهت ارزیابی اتصالات تیر به ستون از منحنی لنگر-دوران استفاده می‌شود. شکل ۱-۵- منحنی لنگر-دوران را برای اتصالات ساده، نیمه صلب و صلب نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵- منحنی لنگر-دوران اتصالات ساده، نیمه صلب و صلب



شکل ۶-۱- نمونه اتصالات در منحنی لنگر-دوران

دسته بندی اتصالات فولادی را می توان در منحنی لنگر-دوران در شکل ۶-۱ مشاهده می شود. در

شکل ۶-۱-۵- نقطه b نشان دهنده یک اتصال انتهایی ساده است که در لنگر انتهایی  $M_e=0$  می باشد.

وضعیت تیر در این حالت مشابه تیر ساده با دوران انتهایی زیر است:

$$\theta_c = \frac{WL^2}{24EI} \quad (1-1)$$

خطی که دو نقطه a و b را به یکدیگر متصل می کند، خط تیر<sup>۱</sup> نامیده می شود. اگر بار روی تیر افزایش یابد، خط تیر به موازات خط اولیه به طرف خارج حرکت می کند. حرکت این خط همراه با افزایش مقدار لنگر و دوران انتهایی می باشد. خط تیر در حالت دوم (خط چین) نشان دهنده ضریب اطمینان می باشد و معمولاً بین ۱٫۶۷ تا ۲ برابر خط اولیه که بر مبنای بارگذاری مجاز به دست آمده می باشد. نقطه ای که

<sup>۱</sup>. Beam Line

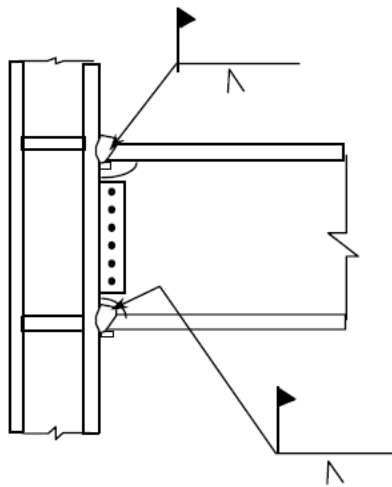
در آن منحنی  $M-\theta$  اتصال خط تیر را قطع می‌کند، نشان دهنده لنگر و دوران انتهایی در اثر بارگذاری موجود می‌باشد، که این مطلب وابستگی رفتار تیر به اتصال را نشان می‌دهد. در شکل ۱-۵ منحنی ۱ نشان دهنده رفتار یک اتصال انعطاف پذیر است که در یک لنگر بسیار کم، بدون تخریب جاری شده و اجازه می‌دهد اتصال دوران کند. این اتصال می‌تواند از نوع نبشی نشیمن با نبشی بالایی، نبشی جان و یا ورق بالایی ضعیفی که اجازه جاری شدن را می‌دهد، باشد. منحنی ۲ نشان دهنده رفتار یک اتصال صلب می‌باشد. این اتصال از نوع اتصال با ورق بالایی بوده که در زیر بارهای بهره برداری به طور موثر جاری شده تا دوران لازم را در اتصال تولید کند. با این وجود در این اتصال صلبیت کافی جهت انتقال لنگر انتهایی وجود ندارد. منحنی ۳ در شکل ۱-۵ نشان دهنده رفتار یک اتصال صلب می‌باشد که در آن از ورق بالایی استفاده شده است. این اتصال برای آن مطرح شده است که بتواند تمام لنگر گیرداری انتهایی را منتقل کند. در این حالت از آنجایی که قصدی برای تسلیم مصالح در اتصال نمی‌باشد، ورق بالایی تا حد امکان کوتاه انتخاب می‌شود. هر یک از سه نوع اتصال ظرفیت باربری ذخیره وسیعی دارند که به وسیله منحنی واقع بین دو خط تیر در حالت بهره برداری و ۱,۶۷ برابر آن در شکل ۱-۵ برای هر کدام نشان داده شده است.

### ۱-۲- اتصالات فولادی قبل از زلزله نورتریج

در اوایل قرن بیستم اتصالات سازه‌های فولادی بیشتر به صورت پرچ اجرا می‌شدند، اتصالات تیر به ستون معمولاً به وسیله نبشی‌هایی که به آنها پرچ می‌شد صورت می‌گرفت [۱]. در اوایل دهه ۵۰ قرن بیستم با توسعه قاب‌های خمشی در طول جنگ جهانی دوم، جوش در سازه‌ها به عنوان روشی سریع برای ساخت و ساز مطرح شد. به هر حال با پیشرفت فلسفه‌های طراحی و تدوین آئین نامه‌ها میل به استفاده از اتصالات کاملاً گیردار به جای اتصالات نیمه صلب بیشتر شد تا به این ترتیب بتوان منتقل کند. انواع مختلف اتصالات جوشی مورد استفاده قرار گرفته است و یکی از آنها که ورق‌های بالایی و پایینی جوش شده به ستون و پیچ و پرچ شده به بال تیر بود، رواج بیشتری یافت. اما فرایند جوشکاری



در کارخانه و پیچ و پرچ در کارگاه صورت می‌گرفت. مطالعات و آزمایشاتی پیرامون این نوع اتصالات جدید در دانشگاه لی‌های<sup>۱</sup> در همان زمان صورت گرفت. آزمایش‌های تکمیلی بیشتری در اواسط دهه ۶۰ و ۷۰ در دانشگاه برکلی کالیفرنیا<sup>۲</sup> انجام شد. از این آزمایشات مشخص گردید که جوش نفوذی<sup>۳</sup> بال تیر به ستون رفتار قابل قبولی در برابر بارگذاری‌های متناوب از خود نشان می‌دهد. این اطلاعات باعث به وجود آمدن ضوابطی برای طراحی نوعی اتصال گردید که در (شکل ۱-۷) نشان داده شده است [۱].



شکل ۱-۷- اتصال گیردار قبل از زلزله نورتریج

در زلزله نورتریج و کوبه ژاپن به دلیل آسیب‌های دور از انتظار ساختمان‌های خمشی فولادی کارشناسان پی بردند زلزله‌های گذشته نیز آسیب‌هایی در این نوع ساختمان‌ها به وجود آورده اند که شناسایی نشده اند. بنابراین به این نکته توجه شد که در دیگر زلزله‌های رخ داده چه آسیب‌هایی به این نوع سازه‌ها وارد آمده است، به همین منظور آسیب‌های وارد آمده از زلزله‌های ۱۹۷۱ سن فرناندو<sup>۴</sup>، ۱۹۸۹ لومپرتیا و ۱۹۹۲ لندرز بیگ بیر، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. [۱]

1. Lehigh university

2. University of California, Berkeley

3. Difussion welding

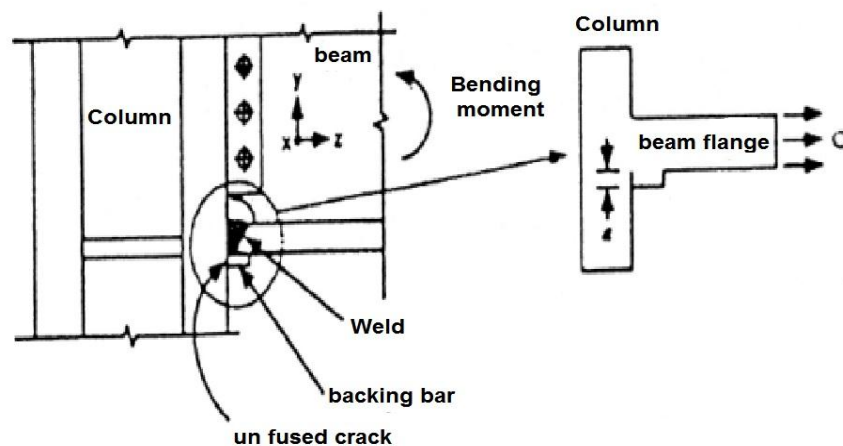
4. San fernando

### ۳-۱- عوامل موثر در آسیب اتصالات زلزله نورث ریج

در بررسی بر روی آسیب‌های وارده به المان‌های قاب‌های خمشی فولادی به صورت آسیب‌های مربوط به تیر، ستون، جوش، ورق اتصال و چشمه اتصال طبقه‌بندی شد. عوامل زیادی جهت ایجاد آسیب در اتصالات سازه‌های فولادی در زلزله نورث ریج موثر بوده‌اند که هر کدام با سازوکار خاصی موجب ایجاد آسیب در این اتصالات شده‌اند. در ادامه هر یک از عوامل را مورد بررسی قرار داده و نحوه تخریب سازه توسط آن را تشریح می‌کنیم.

#### ۱-۳-۱- اثرات مخرب باقی ماندن تسمه پشت‌بند بعد از جوشکاری شیاری

اگر تسمه پشت‌بند بعد از جوشکاری برداشته نشود، سطح مشترک ناپیوسته عمودی بین تسمه پشت‌بند و بال ستون همانند یک ترک ریز عمل می‌کند. طول ترک برابر است با ضخامت تسمه پشت‌بند (شکل ۸-۱). برای کاهش اثرات مخرب تسمه پشت‌بند استفاده از قوس کربن<sup>۱</sup> و استفاده از یک جوش گوشه<sup>۲</sup> تقویتی زیر مسیر ریشه جوش شیاری<sup>۳</sup> می‌باشد.



شکل ۸-۱- سطح ناپیوسته تسمه پشت‌بند که یک ترک لبه‌ای مصنوعی را تشکیل می‌دهد

1. Carbon arc welding  
2. Fillet weld  
3. Groove weld

### ۱-۳-۲- تمرکز تنش در ناحیه مجاور جوش اتصال

ضریب تمرکز تنش ارتجاعی در بال تیر متصل به ستون می‌تواند بین 1.2 تا 1.46 تغییر کند. وقتی بارگذاری در محدوده پلاستیک باشد، تنش‌ها به طور یکنواخت تری در طول بال تیر مجدداً توزیع خواهند شد اما بزرگترین تنش در مرکز جوش اتصال بال تیر به ستون واقع می‌شود. به همین دلیل قبل از آنکه تیر به حداکثر ظرفیت خمشی خود برسد و مفصل پلاستیک در تیر تشکیل شود، اتصال بال تیر به ستون به حداکثر ظرفیت خود رسیده و گسیخته خواهد شد. برای جلوگیری از گسیختگی در اتصال باید نواحی اطراف اتصال را بوسیله ورق‌های پوششی، ماهیچه‌ها و سخت‌کننده‌ها تقویت کرد تا تنش در اتصال کاهش یابد و مفصل پلاستیک به داخل تیر منتقل شود [۳].

### ۱-۳-۳- ایجاد تنش‌های کششی سه محوره در اتصال

محدودیت شدید درجات آزادی اتصال به خاطر جوش‌های شیاری بزرگ بال تیر به ستون منجر به ایجاد تنش‌های کششی سه محوره در اتصال می‌گردد که از رفتار شکل پذیر جلوگیری می‌کند و اتصال با شکستگی ترد گسیخته می‌شود. دو راه برای حل این مشکل پیشنهاد شده است. نخست استفاده از اتصالات سخت شده می‌باشد که از ورق‌های پوششی، سخت‌کننده‌های قائم یا ماهیچه‌ها استفاده می‌کنند و رفتار دلخواه ما را بوسیله کاهش مقدار تنش در اتصال و انتقال ناحیه مفصل پلاستیک مورد انتظار به یک منطقه با تنش تک محوری فراهم می‌سازد. راه دوم کم کردن عمودی ظرفیت خمشی تیر در مقطع کوچکی دور از اتصال می‌باشد. این کار به وسیله برش‌هایی به نام منطقه کاهش یافته در بال و یا جان تیر و یا سوراخکاری در آن مناطق امکان پذیر می‌باشد، که به وضوح محل تشکیل مفصل پلاستیک<sup>۱</sup> را در یک منطقه که در آن امکان رفتار شکل پذیر (منطقه‌ای با تنش‌های تک محوری) وجود دارد، قرار می‌دهد.

---

<sup>۱</sup>. Plastic hinge

### ۱-۳-۴- عدم توجه کافی به ظرفیت خمشی جان تیر

در بیشتر طراحی‌ها تصور می‌شود که لنگر خمشی تیر از طریق بال تیر به ستون انتقال می‌یابد؛ اگر چه ظرفیت خمشی جان تیر کم می‌باشد، اما ظرفیت خمشی واقعی جان تیر به نسبت  $(\frac{Zr}{Z})$ ،  $(Zr)$  اساس مقطع پلاستیک بالهای تیر و  $Z$  اساس مقطع پلاستیک تیر می‌باشد) بستگی دارد. اگر این نیرو از طریق اتصال جان تیر منتقل نگردد، باعث بالا رفتن بیش از حد تنش در جوش شیار بال تیر به بال ستون می‌گردد. دلیل این امر کارایی نامناسب جان پیچی در انتقال ممان موجود در جان تیر می‌باشد. اتصالی که به وسیله جوشکاری مستقیم بال تیر فشرده به ستون ساخته شود، نمی‌تواند به لنگر پلاستیک<sup>۱</sup> تیر برسد زیرا ظرفیت خمشی پلاستیک اتصال ( $Cp$ ) برابر با  $ZrF_y$  می‌باشد و ظرفیت خمشی پلاستیک تیر ( $Mp$ ) برابر با  $ZF_y$  می‌باشد. در نتیجه چون  $Mp < Cp$  می‌باشد، قبل از آنکه تیر به ظرفیت پلاستیک خود برسد و مفصل پلاستیک تشکیل شود، اتصال گسیخته خواهد شد. به منظور محافظت اتصال از گسیختگی، از یک تیر ضعیف تر باید استفاده کرد یا اتصال را باید تقویت نمود. تیر ضعیف تر یعنی یک تیر با مقطع غیر فشرده، به طوری که لنگر کمانش موضعی تیر کمتر از ظرفیت لنگر اتصال باشد، که با این عمل قبل از گسیختگی اتصال، تیر کمانش کرده و مفصل پلاستیک تشکیل می‌شود. اگر از یک مقطع فشرده استفاده گردد تیر را می‌توان در نزدیک اتصال تقویت کرد تا تنش‌های موجود در اتصال کاهش یابد و یا تیر را در مقاطع نزدیک اتصال ضعیف کرد تا لنگر منتقل شده به اتصال کاهش یابد [۲،۳].

### ۱-۳-۵- رعایت نکردن رابطه تیر ضعیف - ستون قوی

فرضیات طراحی در مورد قاب‌های مقاوم خمشی ویژه، فرض می‌کند که کرنش غیر ارتجاعی در تیر متمرکز خواهد شد و سرانجام به تشکیل مفصل پلاستیک منجر می‌شود. این فرض رابطه تیر ضعیف - ستون قوی را ایجاب می‌کند. این رابطه بوسیله اختصاص دادن فولاد ASTM A-36 برای تیرها و

<sup>1</sup>. Plastic moment

ASTM a572 Gr 50 برای ستون ها، تا اندازه‌های ارضاء می‌شود زیرا مقررات<sup>1</sup> ASTM [6] برای اطمینان از اینکه مقاومت مصالح موجود در تیر از مقاومت مصالح موجود در ستون کمتر باشد به اندازه کافی مستحکم نیستند. بنابراین بر اساس مقررات ASTM که فقط مقاومت حداقل فولادهای A-36 و A572 Gr 50 را کنترل می‌کند، این امکان وجود دارد که تیر A-36 دارای مقاومت تسلیم و مقاومت نهایی بزرگتری از ستون A572 Gr 50 باشد. همچنین در نتیجه ساخت اشتباه در بعضی از ساختمان‌های ساخته شده قبل از زلزله نورث‌ریج، از تیر و ستون با فولاد A572 Gr 50 استفاده شده بود که تیرها مقاومت بیشتری از ستون‌ها داشتند. برخی از ترک خوردگی‌ها و شکستگی‌های جان ستون که در زلزله نورث‌ریج مشاهده شد، در نتیجه رابطه تیر قوی-ستون ضعیف بود که استفاده از ورق‌های مضاعف در چشمه اتصال ممکن است مسئله را حل کند ولی این کار هزینه ساخت را بالا می‌برد. بهترین راه حل، اجتناب از اتصال یک تیر قوی به یک ستون ضعیف می‌باشد. این ایده را به دو روش می‌توان پیاده کرد. یکی با قوی کردن محل اتصال تیر به ستون ( چشمه اتصال ) و دیگری با ضعیف کردن تیر متصل به ستون، که هر یک سازوکار خود را دارد و در ادامه هر دو روش تشریح خواهد شد.

#### ۱-۴- اصلاح رفتار اتصالات صلب خمشی

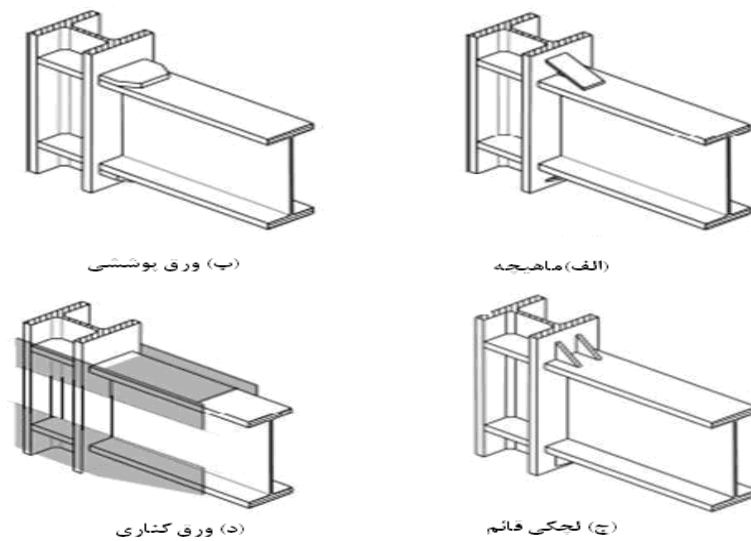
تلاش‌های انجام شده برای اصلاح رفتار تناوبی اتصالات خمشی رایج به دو راهکار اصلاحی کلی قابل تقسیم‌بندی است. یکی از روش‌ها، سخت کردن اتصال و دیگری نرم کردن تیر در مجاورت ستون می‌باشد. این دو روش اصلاح اتصالات اگر چه در ظاهر با یکدیگر متفاوت هستند اما هدف مشترک آنها سوق دادن مفصل پلاستیک به ناحیه‌ای دور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

<sup>1</sup>. American Society for Testing and Materials (ASTM)

ستون، جایی که شرایط بحرانی بالا وجود ندارد، رخ می‌دهد؛ در حالی که در اتصالات نرم شده با ضعیف کردن ناحیه‌ای دور از بر ستون، مفصل پلاستیک به داخل تیر هدایت می‌شود.

### ۱-۶-۱- سخت کردن اتصالات

در راهکار اول یعنی سخت کردن اتصال، اتصالات خمشی رایج که در شکل ۹-۱ مشاهده می‌شود با اضافه کردن ورق‌های پوششی، ورق‌های کناری (شکل ۱۰-۱)، لچکی‌های قائم و یا ماهیچه‌ها و یا منشوری کردن جان تیر و یا تعریض و منشوری کردن بال تیر اشکال ۱۱-۱ و ۱۲-۱ می‌تواند تقویت می‌شوند. باسخت کردن اتصال، تنش در جوش اتصال تیر به ستون پایین می‌آید. همچنین با افزایش سختی اتصال امکان وقوع مفصل پلاستیک در نزدیکی ستون کاهش یافته و مفصل به داخل تیر منتقل می‌گردد. به این ترتیب سطح تقاضا در محل اتصال تیر به ستون پایین آمده و جوش کمتر در معرض شکست ترد خواهد بود.



شکل ۹-۱- روش‌های افزایش سختی اتصال خمشی



شکل ۱-۱۰-۱- روش‌های افزایش سختی اتصال خمشی با ورق کناری



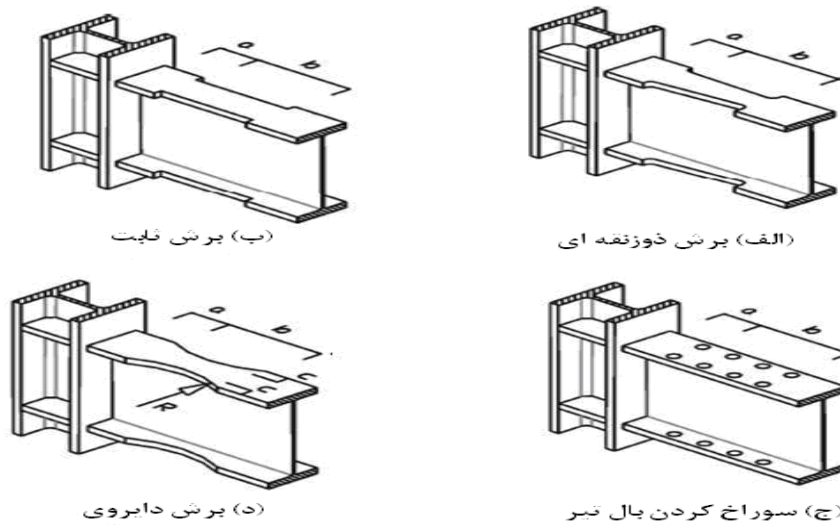
شکل ۱-۱۱-۱- روش‌های افزایش سختی اتصال خمشی با منشوری کردن جان



شکل ۱-۱۲- روش‌های افزایش سختی اتصال خمشی با عریض کرده ورق بال و منشوری کردن ورق بال

### ۱-۶-۲ نرم کردن اتصالات

اصلاح عملکرد اتصالات خمشی، نرم‌تر کردن بخشی از تیر در نزدیکی اتصال تیر به ستون می‌باشد. اتصال حاصل از این روش به اتصال تیر با مقطع کاهش یافته و یا به اختصار اتصال (RBS) موسوم است. یکی از روشهای نرم کردن اتصال، بریدن بال تیر در نزدیکی بر ستون می‌باشد. برش بال تیر می‌تواند به صورت برش ثابت، دوزنقه‌ای و یا دایروی باشد.



شکل ۱-۱۳- روش‌های افزایش نرمی اتصال خمشی



در این رساله برای بررسی لرزه ای اتصال تیر به ستون عریض شده و مخروطی شده با اتصال تیر ریشه به تیر اصلی با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی انجام شده توسط *Chen* [۱۲] پرداخته شده است. *Chen* با بررسی بر روی ۸ مدل به بررسی رفتار لرزه ای اتصال ستون درختی در اتصال تیر به ستون پرداخت وی با بررسی بر روی اتصال با مقطع عریض شده در بر اتصال تیر به ستون به بررسی رفتار لرزه ای اتصال پرداخت. در بین تمامی مدل های معرفی شده توسط *Chen* مدل *W1-103* را به عنوان نمونه مرجع مدل آزمایشگاهی انتخاب گردیده و با مدل سازی و بررسی صحت این اتصال با نمونه آزمایشگاهی به بررسی عددی مدل فلنجی نیز پرداخته شده است.

در فصل دوم روابط طراحی در اتصالات صلب که تعیین صلبیت بر اساس نمودار  $M-\theta$  (رابطه میان چرخش انتهای تیر و لنگر انتهای آن که به ازای کلیه مقادیر  $\theta$ ) و سختی مماسی اتصال در هر نقطه بررسی شده است. بطور کلی به بررسی مبانی و روابط طراحی اتصالات خمشی بر مبنای سه محور کلی پرداخته شده است. محور اول تعیین صلبیت و دسته بندی اتصال بر این اساس بوده است. محور دوم به بررسی اصول طراحی قابهای صلب خمشی پرداخته شده است که شامل سه بخش است که در بخش اول تعیین نیروهای مورد انتظار در اتصال تیر کناری به ستون پرداخته است بخش دوم به بررسی روابط حاکم بر طراحی اتصال تیر کناری به ستون خواهد بود و در بخش سوم روابط طراحی فلنج خواهد بود و در بخش چهارم به بررسی ضوابط عمومی برای تیرها در قاب خمشی مورد بررسی قرار گرفته است. محور سوم فصل به بررسی ضوابط تایید اتصال قابهای خمشی پرداخته است.

فصل سوم به بررسی مطالعات پیش در اتصالات صلب ستون درختی فلنجی با ستون قوطی پرداخته شده است.

در فصل چهارم به نحوه ی مدلسازی نمونه ی مورد نظر در نرم افزار *Abaqus* پرداخته میشود

نحوه مش بندی نوع مشها مصالح مصرفی شرایط مرزی و غیره مورد بحث خواهد بود

در فصل پنجم نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های انجام شده توسط نرم‌افزار به صورت جدول ارائه شده و نمونه‌ها همراه با معیارهای در نظر گرفته شده. با توجه به این نتایج نحوه مقایسه این نمونه‌ها همراه با روابط مربوطه به طور کامل تشریح خواهد شد.

در فصل ششم با توجه به نتایج بدست آمده از جداول و ارزیابی تمامی نمونه‌ها را تحلیل گردیده و در انتها پیشنهادهای مناسب جهت تحقیقات بعدی در این زمینه ارائه خواهد شد.

## فصل دوم : بررسی رفتار لرزه‌ای و روابط طراحی اتصال ستون درختی

## مقدمه

با توجه به تجارب آزمایشگاهی و مطالعات تحلیلی صورت گرفته بر روی اتصالات، مجموعه‌ای اصول و ضوابط برای طراحی لرزه‌ای اتصالات مطرح می‌باشند و بر مبنای سه محور اصلی استوار است.

قسمت اول تعیین صلبیت اتصالات فولادی و دسته بندی آن بر اساس آئین نامه فولاد آمریکا پرداخته خواهد شد. در قسمت دوم فصل شامل چهار بخش بوده است، بخش اول به تعیین محل مفصل پلاستیک، لنگر پلاستیک، برش پلاستیک و تعیین نیروی مورد انتظار در اتصال صلب پرداخته است. در بخش دوم به بررسی روابط حاکم بر اتصال تیر کناری به ستون در اتصال صلب پرداخته می‌شود. در بخش سوم روابط طراحی فلنج مورد بررسی قرار گرفته است و در بخش آخر به بررسی ضوابط عمومی برای تیرها در قاب خمشی مورد بررسی قرار گرفته است.

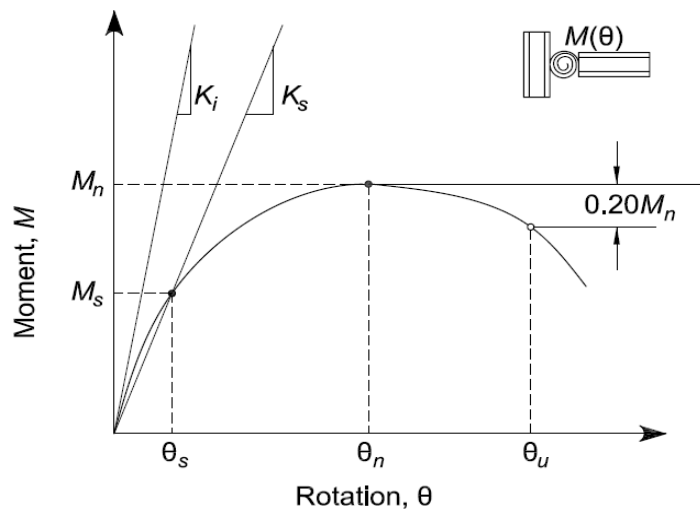
در قسمت سوم این فصل در ادامه روند تأیید اتصال و ضوابط پذیرش اتصال مطرح گردیده است.

### ۲-۱- تعیین صلبیت اتصال

نمودار  $M-\theta$  اتصال رابطه میان چرخش انتهایی تیر و لنگر انتهایی آن را به ازای کلیه مقادیر  $\theta$  ارائه می‌دهد. بنابراین، سختی اتصال بصورت مماسی و در هر نقطه قابل محاسبه خواهد بود. در صورتیکه برای تحلیل سازه همیشه از مدل‌های غیرخطی استفاده گردد، عملاً نیازی به تقسیم‌بندی اتصال از جهت سختی و یا حتی مقاومت نمی‌باشد ولی عملیات تحلیل از حجم بالایی برخوردار خواهد شد. در کاربردهای طراحی، با انجام تعریف دیگری از مفهوم سختی بصورت سختی وتری این امکان فراهم می‌آید که از تحلیل‌های ساده‌تر برای تحلیل سازه استفاده گردد. با استفاده از این مفهوم اتصالات به سه دسته اتصالات ساده، اتصالات

نیمه صلب و اتصالات صلب تقسیم‌بندی می‌شوند. در مورد اتصالات نیمه صلب در نظر گرفتن سختی متغیر حداقل در دو تراز عملکردی سرویس و نهایی الزامی است. به منظور تشخیص میزان صلبیت اتصال، دستورالعمل‌های تقریباً مشابهی در ادبیات فنی وجود دارد که در ادامه به دستورالعمل اشاره شده در تفسیر ضوابط AISC2005 اشاره می‌گردد.

با توجه به اینکه رفتار غیرخطی اتصال هر چند اندک از همان گامهای ابتدایی بارگذاری آغاز می‌گردد، در نظر گرفتن سختی اولیه اتصال نمی‌تواند بیانگر سختی اتصال در بارهای سرویس باشد. علاوه بر آن در بسیاری از اتصالات، سختی اولیه از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار نمی‌باشد و فقط در زوایای اندک برقرار است. بر این اساس سختی اتصال در بارهای سرویس به عنوان معیار سنجش سختی اتصال در نظر گرفته می‌شود. مطابق شکل 2-1 سختی اتصال در سطح سرویس می‌تواند بصورت  $K_s = M_s / \theta_s$  بیان نمود که در آن  $M_s$  و  $\theta_s$  به ترتیب لنگر و چرخش نسبی تیر و ستون در سطح سرویس می‌باشد.

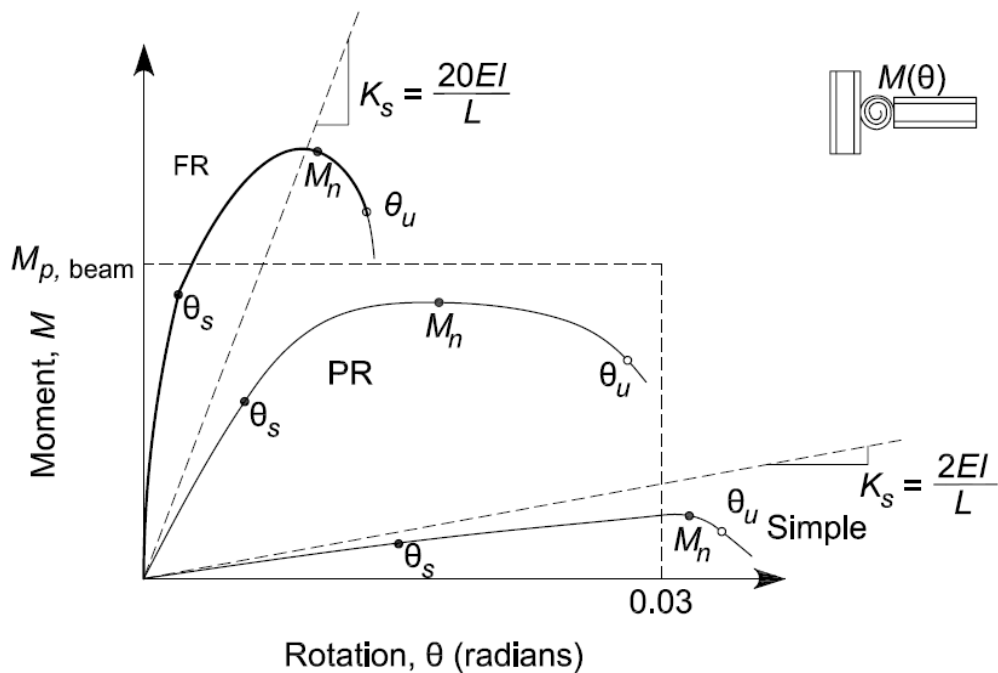


شکل 2-1- معرفی سختی اولیه و سختی توری در سطح سرویس

## معیار طبقه بندی سختی اتصال

سختی وتری (سکانت) تحت بارهای سرویس به عنوان یک شاخص در اتصال محسوب می شود. با توجه به تعریف  $K_S$  و مطابق با شکل ۲-۲، در صورتیکه سختی اتصال از مقدار  $2EI/L$  کمتر باشد، اتصال ساده و در صورتیکه از مقدار  $20EI/L$  بیشتر باشد صلب فرض می شود. در این حالت در تحلیل سازه از سختی اندک اتصال صرف نظر می گردد. در مقادیر سختی بین این دو مقدار اتصال نیمه صلب است و سختی، مقاومت و شکل پذیری آن باید در تحلیل لحاظ گردد.

در سیستم طبقه بندی AISC دو مشخصه اصلی اتصال یعنی مقاومت و سختی سکانت یا وتری بیشتر حائز اهمیت است



شکل ۲-۲- تعیین سختی اتصال بر اساس نمودار چرخش و لنگر اتصال

## معیار طبقه بندی مقاومت اتصال

مقاومت اتصال بر اساس حداکثر لنگری است که میتواند تحمل کند  $M_n$  که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. براساس مدل حالت نهایی اتصال اگر پاسخ  $M-\theta$  اتصال نشان دهنده ی لنگر حداکثر نباشد می توان مقاومت اتصال را در دوران 0.02 رادیان بدست آورد. اتصالاتی

که مقاومت کمتر از ۲۰٪ لنگر پلاستیک کل تیر در 0.02 رادیان انتقال می دهد، برای آنها در طراحی هیچ مقاومت خمشی در نظر گرفته نمی شود یا عملاً اتصال مفصلی طرح می شود.

## ۲-۲- انواع قابهای خمشی فولادی با سیستم ستون درختی

قابهای خمشی با سیستم ستون درختی را می توان به دو دسته ویژه و معمولی دسته بندی کرد

### قاب خمشی ویژه انعطاف پذیر

در این روش طراحی قابها به گونه طراحی میشود تا از شکست ترد، کمناش موضعی و جانبی-پیچشی اجزا تشکیل دهنده قاب و اتصالات جلوگیری کند.

در قابهای خمشی ویژه برای دستیابی به انعطاف پذیری بالا، خطر وجود لغزش، تسلیم فولاد، کمناش محلی غیر ارتجاعی محدود شده و به تاخیر افتاده در داخل اتصال تیر اصلی یا مفصل پلاستیک وجود دارد. برای این منظور باید شکست در هر بخشی که می تواند سیستم جذب بار ثقلی را خراب کند جلوگیری نمود. این دسته بندی رفتار شبیه به سیستم انعطاف پذیر است. در این دسته بندی بایستس حداقل انعطاف پذیری ۰,۰۳ رادیان وجود داشته باشد. به علاوه ظرفیت غیر ارتجاعی تراکمی از یک اتصال خمشی شکل پذیر حداقل باید ۰,۷۵ رادیان باشد. این معیار تاخیری برای اطمینان از بحث خستگی سیکلهای کوتاه اتصالات است.

### قاب خمشی معمولی

در حالت معمول این قابهای خمشی تمایل به سخت شدن پیدا میکنند و سخت تر می شود اما انعطاف پذیری کمتری نسبت به گروه ویژه در شرایط یکسان پیدا میکنند.

قابهای خمشی معمولی نیز بایستی شکل پذیری پیشنهادی حداقل به ۰,۰۲ رادیان است ظرفیت پیچشی سیکلهای تراکمی در حداقل ۰,۱ رادیان پیشنهاد شده است.

## ۲-۳- قابهای خمشی فولادی با سیستم ستون درختی بر اساس صلبیت

بر اساس سختی گروه قاب خمشی ویژه فولادی به سه دسته زیر تقسیم بندی می شود:

۱- صلب (کاملاً مهار شده)

۲- نیمه صلب

۳- انعطاف پذیر

این پارامترها برای سختی پیچشی نسبی یک تیر اصلی و اتصالات آن به کار گرفته شده اند، مقدار  $m$  به در رابطه ۱-۲ مشاهده می شود:

$$m = \frac{k_c}{\frac{EI}{L}} \quad 1-2$$

که  $k_c$  سختی پیچشی اتصال و  $\frac{EI}{L}$  سختی پیچشی تیر است.  $L$  فاصله بین دو تکیه گاه جانبی تیر است. برای سیستم ستون درختی که طول تیر ریشه جوش داده شده به ستون کمتر از ۱۵٪ فاصله بین دو تکیه گاه است، انعطاف پذیری ورق وصله و اتصال نمی تواند از مهمی بر روی سختی بیش از حد طول تیر بین دو تکیه گاه داشته باشد.

سختی پیچشی قابل قبول برای هر نوع اتصال با توجه به  $\gamma$  که نشاندهنده سختی پیچشی نسبی ورق وصله و تیر است در رابطه ۲-۲ تعیین میشود:

قاب صلب:  $\gamma \geq 18$

قاب نیمه صلب:  $0.5 < \gamma < 18$

قاب انعطاف پذیر:  $0.5 > \gamma$

$$\gamma = \frac{k_s}{\frac{EI}{L}} \quad 2-2$$

$k_s$  سختی پیچشی ورق وصله



برای دسته بندی قاب خمشی با سیستم ستون درختی همانند گروه صلب و نیمه صلب یک پارامتر باید شامل استحکام خمشی تیر ها و ورق های اتصال باشد که به صورت رابطه ۳-۲ تعریف می گردد:

$$\alpha = \frac{M_{ps}}{M_{pg}} \quad 3-2$$

که  $M_{ps}$  و  $M_{pg}$  به ترتیب ظرفیت خمشی پلاستیک اتصالات و تیر هستند.

که با توجه به روابط ۱-۲ و ۳-۲ داریم:

قاب صلب:  $m \geq 18$  و  $\alpha \geq 1$

قاب نیمه صلب:  $0.5 > m > 18$  و  $\alpha < 1$

قاب انعطاف پذیر:  $m < 0.5$

که  $m$  و  $\alpha$  بین دو تکیه گاه مهار تیر تعریف شده است.

#### ۲-۴-۱- اصول طراحی اتصالات صلب قابهای خمشی فولادی

مرحله اول در طراحی اتصالات صلب قابهای خمشی فولادی، تخمین و برآورد تقاضای لرزه‌ای مورد انتظار بر اتصال می‌باشد. در مرحله بعدی، اجزای مختلف اتصال به ترتیبی جزئیات بندی می‌گردند که در نهایت پاسخگوی تقاضای لرزه‌ای مورد انتظار باشند. در این بخش، اصول تخمین و برآورد تقاضای لرزه‌ای مورد انتظار بر اتصال بیان می‌شود و در ادامه، ضوابط عمومی برای تیرهای قاب صلب خمشی مطرح می‌شود.

#### ۲-۴-۱- تعیین نیروهای تقاضا در اتصال

در این بخش به بررسی روابط در اتصالات خمشی در اتصال تیر کناری به ستون پرداخته شده است روابط تعیین محل مفصل پلاستیک، لنگر پلاستیک، و برش در محل تشکیل مفصل پلاستیک پرداخته شده است.

## ۲-۴-۱-۱ تعیین محل مفصل پلاستیک

تعیین محل تشکیل مفصل پلاستیک به‌عنوان یکی از پارامترهای طراحی محسوب می‌گردد. در AISC، برای اتصالات تأیید شده، محل تشکیل مفصل پلاستیک تعیین شده است. در مورد اتصالات تقویت شده، محل تشکیل مفصل پلاستیک در انتهای ناحیه تقویت شده و در مورد اتصالات تضعیف شده، محل تشکیل مفصل پلاستیک در مرکز ناحیه تضعیف شده می‌باشد [۶].

## ۲-۴-۱-۲ تعیین لنگر پلاستیک مورد انتظار

برای اتصالات قابهای صلب، مقدار حداکثر لنگر پلاستیک مورد انتظار در محل مفصل پلاستیک از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$M_{pr} = 1.1R_y Z_p F_y \quad \text{رابطه (۲-۴)}$$

در رابطه فوق:

$M_{pr}$ : مقدار حداکثر لنگر پلاستیک مورد انتظار در محل مفصل پلاستیک.

$R_y$ : ضریبی است برای تبدیل حداقل مقاومت مشخصه حد جاری شدن مصالح فولاد ( $F_y$ ) به مقاومت جاری شدگی مورد انتظار مصالح. در ضوابط AISC در مورد مقاطع نورد شده این مقدار برابر ۱/۵ و در مورد مقاطع ساخته شد با ورق برابر ۱/۳ پیشنهاد شده است.

$Z_p$ : مدول پلاستیک مقطع تیر در محل مفصل پلاستیک که در مورد اتصالات کاهش

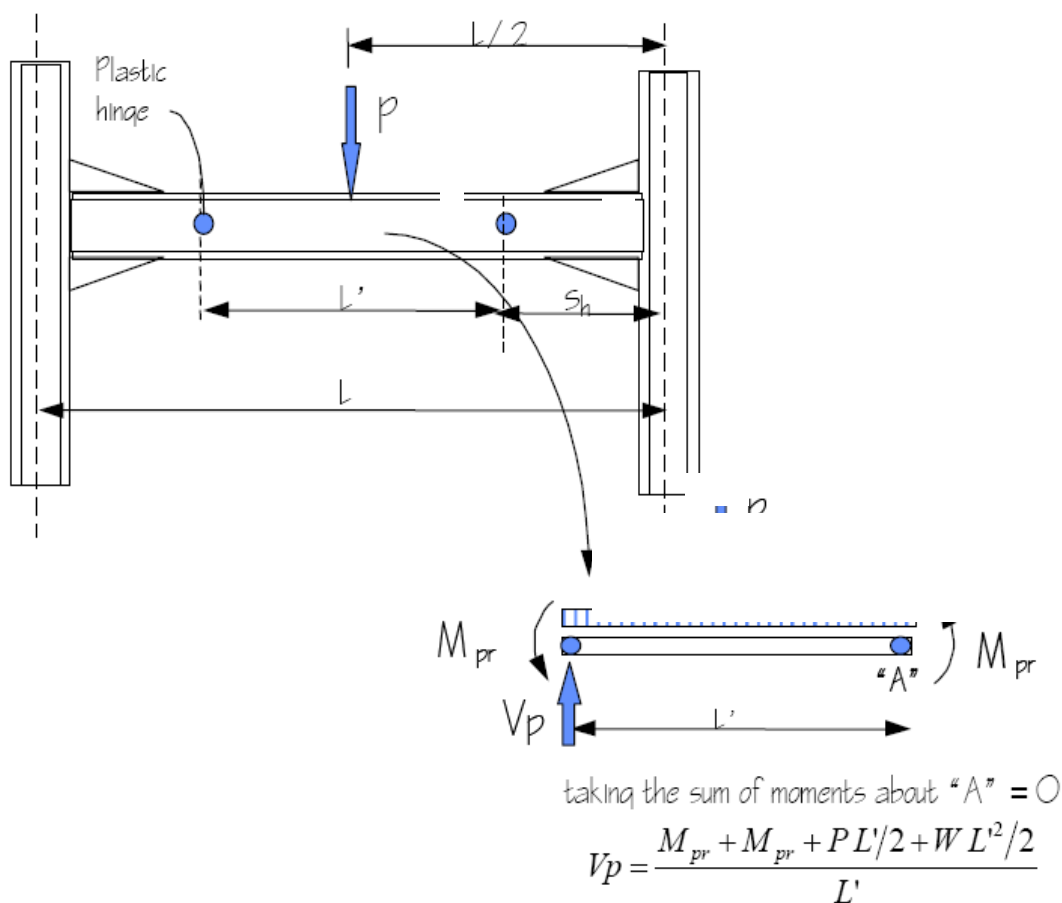
یافته مدول پلاستیک مقطع کاهش یافته ملاک عمل قرار می‌گیرد. [۶]

## ۲-۴-۱-۳ تعیین برش در محل مفصل پلاستیک

برش در هر مقطع از تیر با بکارگیری تعادل استاتیکی، قابل محاسبه خواهد بود. با توجه به دیاگرام آزاد نشان داده شده در شکل ۲-۳، مقدار برش در محل مفصل پلاستیک عبارت است از:

$$V_p = \frac{2M_{pr}}{L_p} + V_g \quad (5-2)$$

در رابطه فوق،  $V_p$  مقدار برش در محل مفصل پلاستیک،  $L_p$  فاصله میان مرکز تیر تا مفصل پلاستیک و  $V_g$  برش ناشی از نیروهای ثقلی می‌باشد. علاوه بر اینکه اتصال تیر به ستون باید برای تحمل این برش طراحی گردد، خود مقطع تیر نیز از نظر برشی باید پاسخگوی تقاضای برشی وارده به آن باشد.



شکل ۲-۳- دیاگرام آزاد برای محاسبه برش در محل مفصل پلاستیک

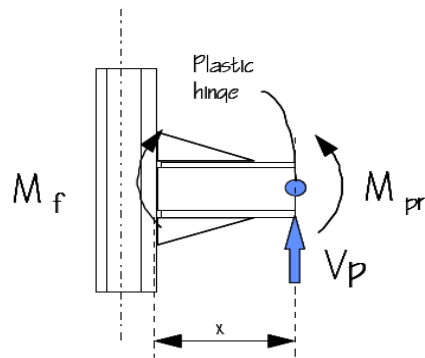
## ۴-۱-۴-۲ تعیین تقاضای نیرویی در محل اتصال

بر اساس مقدار لنگر پلاستیک و نیروی برشی مورد انتظار در محل مفصل پلاستیک،

مقدار لنگر در در وجه ستون محاسبه خواهد شد (شکل ۴-۲). در صورتیکه فاصله میان محل تشکیل مفصل پلاستیک تا وجه ستون برابر  $e$  در نظر گرفته شود، مقدار حداکثر لنگر مورد انتظار در وجه ستون ( $M_f$ ) از رابطه ۲-۳ محاسبه خواهد بود:

$$M_f = M_{pr} + V_p e \quad (۶-۲)$$

که مقدار حداکثر لنگر مورد انتظار در وجه ستون، برای طراحی اجزای اتصال بکار برده می‌شود. [۶]



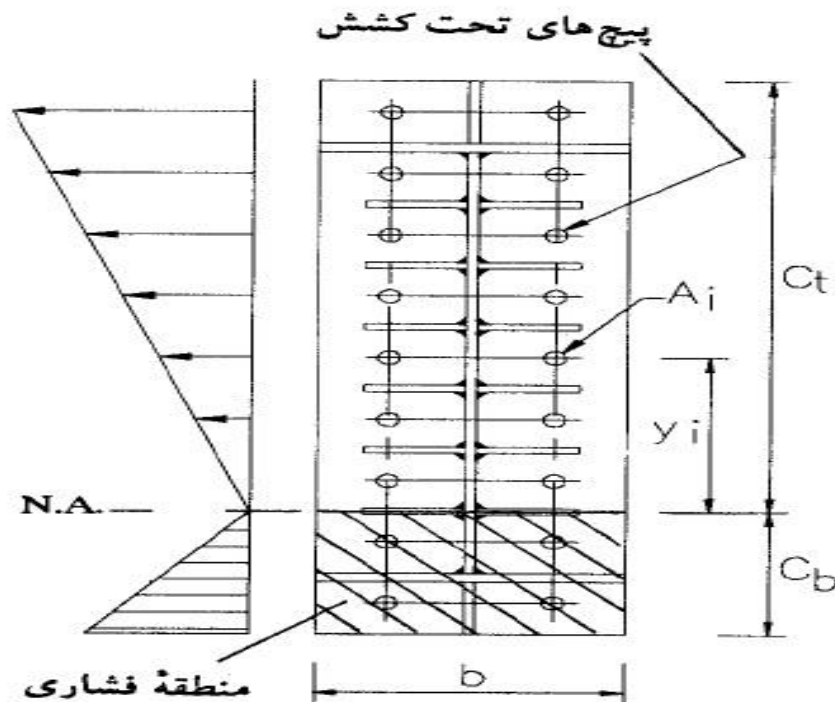
$$M_f = M_{pr} + V_p x$$

Critical Section at Column Face

شکل ۴-۲- دیاگرام آزاد برای محاسبه لنگر در وجه ستون

## ۲-۴-۲- ضوابط و روابط طراحی اتصال فلنجی

در اتصال تیر های با ارتفاع زیاد (تیر عمیق) به ستون ها (مثلا در قاب) اغلب از اتصال فلنجی استفاده می شود با به تعداد پیچ ها و ارتفاع قابل توجه ورق ورق فلنج استفاده از روابط مقاومت مصالح در طراحی استفاده می شود.



شکل ۲-۵- دیاگرام توزیع نیرو در فلنج

در این حالت نیروی کششی دورترین پیچ بنا شکل ۲-۵ از رابطه زیر بدست می آید

$$T = \frac{2M \times c_t}{I_e} A_b \quad \text{رابطه (۷-۲)}$$

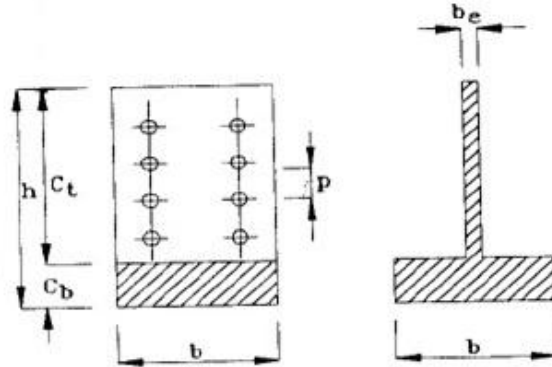
M: لنگر اتصال

$I_e$ : ممان اینرسی موثر گروه پیچ و ناحیه فشاری تماسی حول محور تار خنثی

$$I_e = \sum A_i y_i + \frac{bc_b^3}{3} \quad \text{رابطه (۸-۲)}$$

$A_i$  مساحت یک پیچ و ناحیه فشاری تماسی حول محور تار خنثی

$y_i$ : فاصله پیچ تا تار خنثی برای پیچ های بالای تار خنثی



شکل ۲-۶-مقطع معادل و موثر در فنج در کشش و فشار

و برای تعیین محل تار خنثی از آزمون و خطا استفاده می شود که در شکل ۲-۶ برای

محاسبه تقریبی تار خنثی که با روابط زیر حاصل می شود

$$\sum A_i y_i = \frac{bc_b^3}{3} \quad \text{رابطه (۲-۹)}$$

$$\frac{c_b}{c_t} = \sqrt{\frac{b_e}{b}} \quad \text{رابطه (۲-۱۰)}$$

$$b_e = m \times \frac{A_b}{p} \quad \text{رابطه (۲-۱۱)}$$

که در رابطه فوق  $m$  تعداد ستون پیچ ها است

در ادامه این بخش به بررسی بر روی ضوابط طراحی در اتصالات فلنجی پرداخته شده است، که بر اساس میکانیزم سختی در اجزا تشکیل دهنده اتصال فلنجی بوده است. در این بررسی بر اساس میکانیزم شکست در اجزا اتصال فلنجی که شامل بال تیر، ورق فلنج و پیچ و مهره است میکانیزم شکست بر اساس سختی طرح شده اتصال برای اجزا تشکیل دهنده اتصال فلنجی بوده است. در ادامه به بررسی و تعیین پارامترهای طراحی فلنج مشتمل بر ابعاد، ضخامت فلنج و قطر و رده مقاومتی پیچ است.

## ۲-۴-۲-۱- روش طراحی فلنج

طراحی اتصال فلنجی عمدتاً با در نظر گرفتن مودهای گسیختگی اجزا فلنج است که با توجه به سختی هر یک از اجزا تشکیل دهنده فلنج شامل بال تیر و ورق فلنج و پیچ، به تعیین نیروهای ایجاد شده در فلنج بر اساس این مکانیزم پرداخته شده است. روش طراحی tee-stub مورد استفاده روش شایع در اجرا و تئوری می باشد که از لحاظ تئوریک به واقعیت نزدیک است.

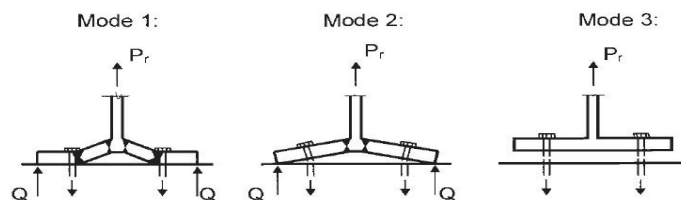
طراحی به روش tee-stub بر اساس مکانیزم سختی بال تیر یا سختی ورق فلنج و یا سختی پیچ است. روش طراحی بر اساس مودهای گسیختگی است

مود اول: گسیختگی در بال تیر

مود دوم: گسیختگی در ورق فلنج

مود سوم: گسیختگی در پیچ

مورد بررسی قرار می گیرد شکل ۷-۲ مودهای گسیختگی در اتصال فلنجی را نمایش میدهد



شکل ۷-۲- مودهای گسیختگی در اتصال فلنجی

مود اول: مقاومت در ورق بال  $P_r$  نامیده می شود

$$P_r = \frac{4 M_{max}}{m} \quad (۱۲-۲)$$

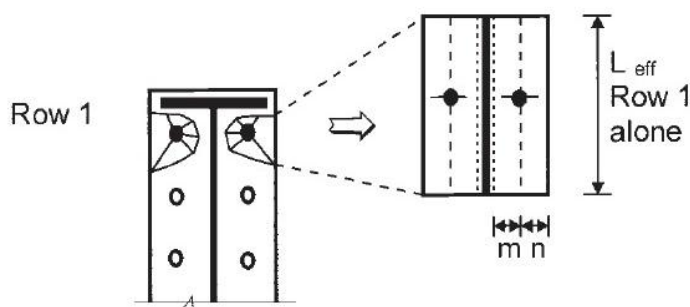
که در آن  $m$  فاصله از خط مرکز تا محل دورترین پیچ است

مود دوم: مقاومت در ورق فلنج  $P_r$  نامیده می شود که می توان در شکل ۸-۲ خطوط

گسیختگی در ورق را مشاهده کرد

$$P_r = \frac{2 M_{max} + n(\sum P_t)}{m+n} \quad (13-2)$$

که در رابطه فوق  $n$  فاصله موثر از لبه فلنج است و  $P_t$  مجموع ظرفیت کششی تمام پیچ ها است



شکل ۲-۸- خطوط گسیختگی در ورق

مود سوم: نیروی مقاوم پیچ ها در ناحیه کششی از رابطه زیر محاسبه می شود

$$P_r = \sqrt{P_t} \quad (14-2)$$

#### ۲-۲-۴-۲- تعیین پارامترهای فلنج

بر اساس مقدار لنگر حداکثر، لنگر اتصال جهت طراحی ابعاد اتصال است که پارامترهای طراحی ابعاد فلنج و قطر پیچ را می توان محاسبه کرد. برای تعیین پارامترهای طراحی بر اساس روش سعی و خطا عمل شده است که در ابتدا با فرض رده مقاومتی و قطر پیچ به تعیین قطر واقعی پیچ پرداخته شده است و در ادامه به تعیین ضخامت فلنج پرداخته شده است.

۱: رده پیچ و سایز پیچ را فرض میکنیم

۲: تعیین سایز پیچ

رابطه ۲-۱۵ برای اتصال فلنجی شامل ۴ پیچ است و رابطه ۲-۱۶ برای اتصال با ۸ پیچ است

$$d_b = \sqrt{\frac{2M_{max}}{\pi \phi_n F_{nt} (h_0 + h_1)}} \quad (15-2)$$



$$d_b = \sqrt{\frac{2M_{max}}{\pi \phi_n F_{nt} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}} \quad (16-2)$$

که در روابط فوق  $d_b$ : قطر پیچ؛  $F_{nt}$ : در رابطه فوق تنش کششی مجاز در پیچ؛  $hi$ : فاصله

پیچ  $i$  ام تا خط مرکزی تیر کامپوزیت

۱- تعیین ضخامت فلنج

پارامتر ضخامت فلنج با استفاده از رابطه ۳-۱۷ میتوان بر اساس لنگر حداکثر در اتصال

و دوران در حالت گسیختگی فلنج بدست آمده است.

$$t_p = \sqrt{\frac{1.11M_{max}}{\phi_d F_{yp} Y_p}} \quad (17-2)$$

$F_{yp}$ : تنش جاری شدن در فلنج

$\phi_d$ : دوران در اتصال فلنجی در حالت گسیختگی

$Y_p$ : پارامتر خط تسلیم در فلنج

### ۳-۴-۳- ضوابط عمومی برای تیرهای قاب صلب خمشی

با توجه به اینکه مفصل پلاستیک در اتصالات صلب خمشی با لحاظ تمهیداتی در تیر

تشکیل می‌گردد، بنابراین تیر باید از شرایط مناسب برای تشکیل شدن مفصل پلاستیک

پایدار برخوردار باشد. بدین منظور رعایت شرایط زیر در تیرهای قاب خمشی لازم می‌باشد:

(۱) محدودیت نسبت عرض به بال و جان تیر (مقاطع فشرده لرزه‌ای<sup>۱</sup>): به منظور فراهم

آوردن شرایطی که تیر مقداری چرخش پلاستیک را قبل از وقوع کمانش موضعی بال و جان

تحمل نماید، نسبت‌های عرض به ضخامت بال و جان تیر به مقادیری کمتر از مقادیر موجود

در آیین‌نامه‌های طراحی برای مقاطع فشرده لرزه‌ای، محدود می‌گردد. طبق ضوابط لرزه‌ای

AISC در مورد تیر با مقطع I شکل، نسبت عرض به ضخامت بال به  $0.3\sqrt{E/F_y}$  و نسبت

<sup>1</sup>- Seismically Compact

عمق به ضخامت جان به  $2.54\sqrt{E/F_y}$  محدود می‌گردد. مقادیر فشرده لرزه‌ای، تا شروع سخت شونده‌گی کرنشی، کمانش موضعی را به تأخیر می‌اندازند [۶].

۲) مهار جانبی تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک و در طول تیر: تیر باید در انتهای محل تشکیل مفصل پلاستیک، بصورت جانبی مهار گردد تا از پیچش آن جلوگیری شود. علاوه بر آن تیر باید در طول خود نیز از مهار جانبی کافی برخوردار باشد. در صورت درگیری بال تیر با دال کف، دال کف می‌تواند به‌عنوان مهار جانبی بال فوقانی تیر محسوب گردد.

۳) عدم استفاده از گلمیخ و یا هرگونه آسیب و یا اتصال در ناحیه مفصل پلاستیک: به منظور اجتناب از شکست بال در محدوده تشکیل مفصل پلاستیک، اتصال هرگونه برش گیر به بال تیر در این ناحیه، مجاز نمی‌باشد. بعلاوه، هرگونه آسیب وارده به جان یا بال تیر باید ترمیم و هیچگونه اتصال اجزای غیرسازه‌ای (مانند پیچهای خودکار و ....) نیز اجرا نگردد [۶].

## ۲-۵- تأیید اتصالات صلب قابهای خمشی فولادی

### ۲-۵-۱- مقدمه

به دنبال مشاهده خسارت‌های اتصالات قابهای خمشی در زلزله ۱۹۹۴ نورث‌ریج و ۱۹۹۵ کوبه، این جمع‌بندی حاصل گشت که کارایی لرزه‌ای اتصالات تحت اثر چرخه‌های شدید و غیرخطی حاصل از زلزله فقط با ابزارهای تحلیلی قابل پیش‌بینی نمی‌باشد و با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در تقاضاهای لرزه‌ای و همچنین ناشناخته‌های موجود در خصوص رفتار مصالح و اجزاء سازه‌ای، انجام آزمایشات تمام مقیاس برای بررسی کارایی و کفایت اتصالات ضروری می‌باشد. در این قسمت، روند تأیید اتصالات در ضوابط لرزه‌ای AISC ارایه می‌شود [۶].

### ۲-۵-۲- تأیید اتصال

برای تأیید مدلسازی باید اتصال آزمایشگاهی تمام مقیاس بر روی زیرسازه به ترتیبی که

بیشترین شباهت ممکن از نظر مشخصات مصالح، روش ساخت و خصوصیات بارگذاری میان مدل‌های واقعی و نمونه آزمایشگاهی وجود داشته باشد، ضروری می‌باشد. در ادامه نحوه ضوابط پذیرش اتصال ارائه می‌گردد.

به منظور یکسان‌سازی مفاهیم و ارائه تعریف مشخص از پارامترهایی که مکرراً در روند تأیید اتصال بکار برده می‌شوند، به ترتیب زیر پارامترها و عبارات مهم تعریف می‌گردند:

زاویه تغییر مکان نسبی طبقه<sup>۱</sup>: از تقسیم جابجایی نسبی طبقه بر ارتفاع طبقه بدست می‌آید.

چرخش غیرالاستیک<sup>۲</sup>: با کم کردن زاویه چرخش الاستیک از زاویه تغییر مکان نسبی طبقه، زاویه چرخش غیرالاستیک محاسبه می‌شود.

نمونه آزمایشگاهی<sup>۳</sup>: بخشی از سیستم سازه‌ای و قاب خمشی است که تحت مطالعات آزمایشگاهی قرار می‌گیرد و فرض می‌گردد که بیانگر وضعیت نمونه موجود در سازه واقعی است [۶].

## ۲-۵-۲-۱ طراحی جزئیات اتصال

طراحی جزئیات اتصال با توجه به مسیرهای انتقال بار و بر اساس عملکرد اتصال انجام می‌پذیرد. در آزمایشاتی که به منظور توسعه اتصالات از پیش تأیید شده موجود انجام می‌گردند، معمولاً روش مشخص و استاندارد برای طراحی اتصال وجود دارد. بنابراین با بکارگیری روش استاندارد طراحی اتصال، کارایی لرزه‌ای اتصال و همچنین روش طراحی موجود برای محدوده جدیدی از پارامترها تأیید می‌گردد [۶].

## ۲-۵-۲-۲ زیرسازه

زیر سازه در آزمایش و مدل‌سازی باید دارای شرایطی باشد که نتایج حاصل از بارگذاری

1- Interstory drift angle

2- Inelastic rotation

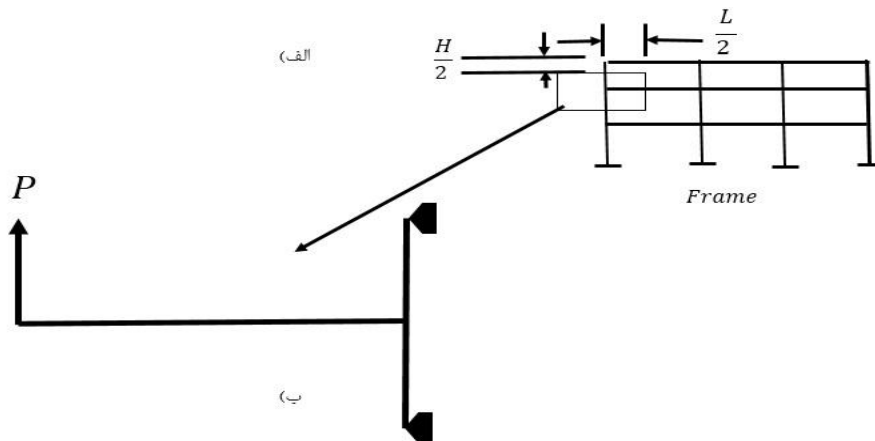
3- Test specimen

نمونه، قابل کاربرد برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه اصلی باشد. بر این اساس شرایط زیر در زیر سازه باید لحاظ گردد.

- باید شامل حداقل یک ستون به همراه تیرهای متصل شده به یک یا هر دو طرف ستون باشد.

- مهار جانبی در مجاورت نقاط تکیه گاهی و نقاط اعمال بار برای تأمین پایداری جانبی نمونه آزمایش، مورد نیاز است. مهار جانبی اضافی در زیرسازه باید نماینده مهار جانبی در سازه باشد.

همانطوری که در شکل ۲-۹ (الف) نشان داده شده است، در صورتیکه قاب خمشی صلب تحت اثر بارهای جانبی قرار گیرد، نقاط عطف خمشی تیر و ستون در وسط این اعضا تشکیل می‌گردد. بر این اساس و با توجه به صفر بودن لنگر خمشی در نقاط عطف، زیرسازه می‌تواند از این نقاط استخراج گردد. نمونه‌ای از زیرسازه پیرامونی در شکل ۲-۹ (ب) نشان داده شده است. در این زیرسازه، با بکارگیری شرایط تکیه‌گاهی معادل مفصل در تکیه‌گاه‌های ستون و همچنین اعمال بار به سر تیر، شرایط تکیه‌گاهی زیرسازه با سازه واقعی شبیه سازی شده است. این نوع زیرسازه، به زیرسازه T شکل معروف است که بیشترین شباهت را به تغییر شکل سازه واقعی دارا می‌باشد [۶].



شکل ۲-۹ (الف) تغییر شکل قاب خمشی تحت اثر بارهای جانبی (ب) نمونه‌ای از زیرسازه پیرامونی

### ۲-۵-۲-۳- اندازه‌گیری‌ها

بدست آوردن نمودارهای بار-جابجایی، بار-زاویه تغییر شکل نسبی طبقه و لنگر-چرخش غیرالاستیک به‌عنوان حداقل خروجی‌های آزمایش مطرح می‌باشند و ابزاربندی مناسب برای بدست آوردن این پارامترها، مورد نیاز می‌باشد.

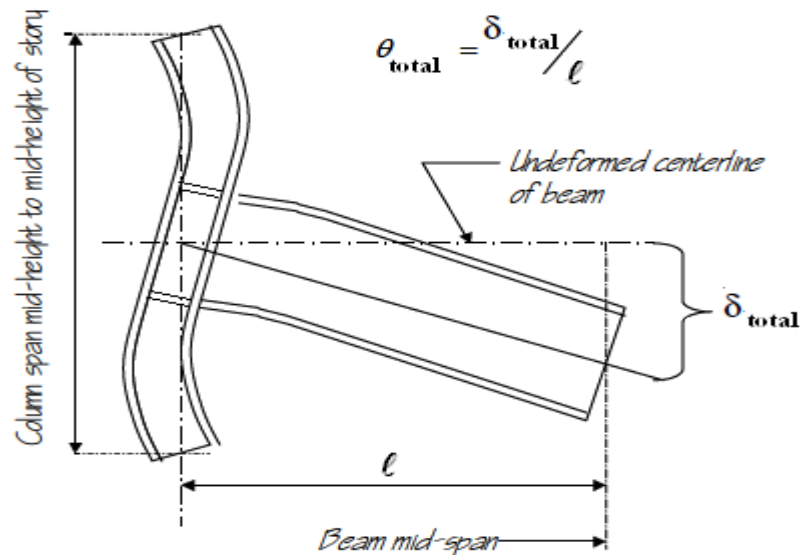
علاوه بر موارد فوق اندازه‌گیری‌های متعددی برای شناخت رفتار نمونه قابل انجام می‌باشد که با توجه به مکانیزم رفتاری نمونه، روش اندازه‌گیری در هر اتصال باید بصورت ویژه برنامه‌ریزی گردد. با این حال حداقل موارد زیر در این خصوص قابل بیان می‌باشد:

مطابق شکل ۲-۱۰، زاویه تغییر شکل نسبی طبقه،  $\theta_{total}$ ، بر اساس رابطه زیر محاسبه

می‌گردد:

$$\theta_{total} = \frac{\delta_{total}}{l} \quad (۳-۱۸)$$

در رابطه فوق،  $\delta_{total}$  تغییر مکان نوک تیر و  $l$  فاصله بین نوک تیر تا مرکز ستون (طول تیر طره بعلاوه نصف عمق ستون) می‌باشد. زاویه تغییر شکل پلاستیک نسبی طبقه نیز از کسر سهم زاویه تغییر شکل الاستیک تغییر شکل از کل زاویه تغییر شکل محاسبه می‌گردد [۶].

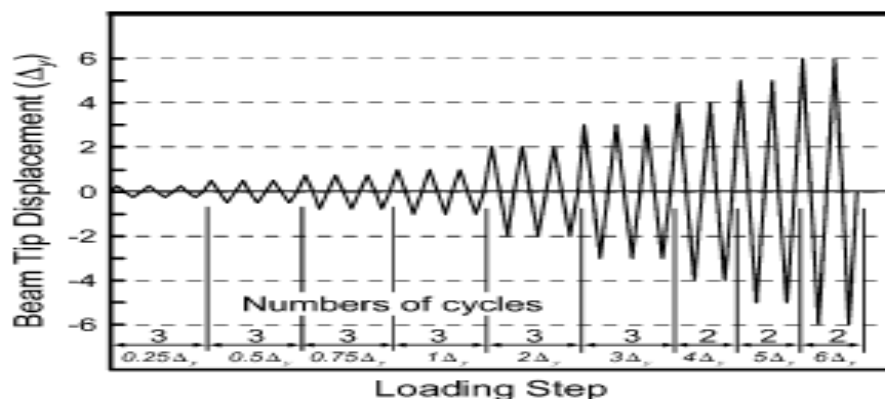


شکل ۲-۱۰- زاویه دررفت میان طبقه

- جابجایی تکیه‌گاهی: به منظور اطمینان از صحت تکیه‌گاه‌های نمونه و همچنین حذف حرکت جسم صلب نمونه، جابجایی تکیه‌گاهی بطور کامل مقید میشود
- اندازه‌گیری تغییر زاویه بین تیر و ستون: به منظور برآورد سختی اتصال و اظهارنظر کمی در خصوص صلبیت اتصال، تغییر زاویه بین تیر و ستون باید اندازه‌گیری مناسب تعیین گردد [۶].

## ۲-۵-۳ تاریخچه بارگذاری

تاریخچه بارگذاری بیانگر دامنه بارگذاری و تعداد چرخه در هر دامنه بارگذاری می‌باشد. در مطالعات تأیید اتصالات، دو نوع الگوی بارگذاری متداول است. در منابع قدیمی مانند AISC1997 الگوی بارگذاری مبتنی بر ضرایبی از جابجایی نظیر نقطه تسلیم نمونه  $\delta_y$  می‌باشد. در شکل ۲-۱۱ تاریخچه بارگذاری مورد نظر ارائه شده است.



شکل ۱۱-۲- تاریخچه بارگذاری

در ضوابط FEMA350 و همچنین نسخه های بعدی ضوابط لرزه ای AISC از الگوی بار دیگری بجای الگوی بار پیشین استفاده شده است (شکل ۲-۱۲). در این تاریخچه بار، مبنای اعمال جابجایی، زاویه تغییر مکان نسبی طبقه می باشد و به صورت زیر کنترل می شوند:

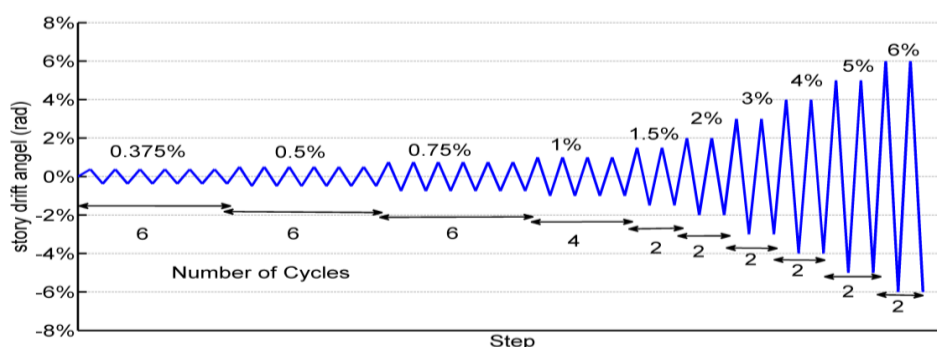
- ۶ چرخه در  $0.00375$  رادیان، ۶ چرخه در  $0.005$  رادیان و ۶ چرخه در  $0.0075$

رادیان

- ۴ چرخه در  $0.01$  رادیان

- ۲ چرخه در  $0.02$  رادیان، ۲ چرخه در  $0.03$  رادیان و ۲ چرخه در  $0.04$  رادیان

- ادامه بارگذاری در هر افزایش رادیان با ۲ چرخه بارگذاری در هر گام انجام می یابد.



شکل ۱۲-۲- تاریخچه بارگذاری در AISC 2005

هدف از ارائه یک تاریخچه بارگذاری ثابت در آزمایشات، فراهم آوردن امکان مقایسه نتایج

و همچنین ارائه یک ضابطه پذیرش واحد برای تأیید اتصالات می باشد [۶].

## ۲-۵-۳-۱- ضوابط پذیرش اتصال

ضوابط پذیرش به منظور تأیید اتصال آزمایش شده بکار می‌روند. در آیین‌نامه‌های مختلف، ضوابط پذیرش اتصالات با یکدیگر متفاوت می‌باشند. در AISC1997 ضوابط پذیرش بر اساس چرخش غیرالاستیک نمونه بیان شده است. در AISC2005 ضوابط پذیرش بر اساس زاویه تغییر مکان نسبی طبقه بیان گردیده است. در ادامه هر یک از این ضوابط پذیرش به تفکیک معرفی می‌گردند [۶] و [۷]:

## ۲-۵-۳-۲ ضوابط پذیرش در AISC1997

بصورت کلی برای تأیید اتصال، ۲ نمونه آزمایشی باید برای هر دسته مشخصات اصلی اتصال در نظر گرفته شود. در این آیین‌نامه، قاب خمشی ویژه باید بتواند حداقل  $0.03$  رادیان چرخش غیرالاستیک را تحمل نماید و در زاویه چرخش  $0.03$  رادیان، ظرفیت خمشی نمونه در وجه ستون از مقدار لنگر پلاستیک اسمی تیر  $M_p$  کمتر نگردد ( $M_p$  بر اساس تنش تسلیم اسمی مصالح تیر تعیین می‌شود). در حالتی که کمانش موضعی بال کنترل‌کننده رفتار غیرخطی نمونه می‌باشد، ظرفیت خمشی نمونه در وجه ستون، در زاویه چرخش  $0.03$  رادیان، می‌تواند حداکثر تا  $0.8 M_p$  نیز زوال یابد [۷].

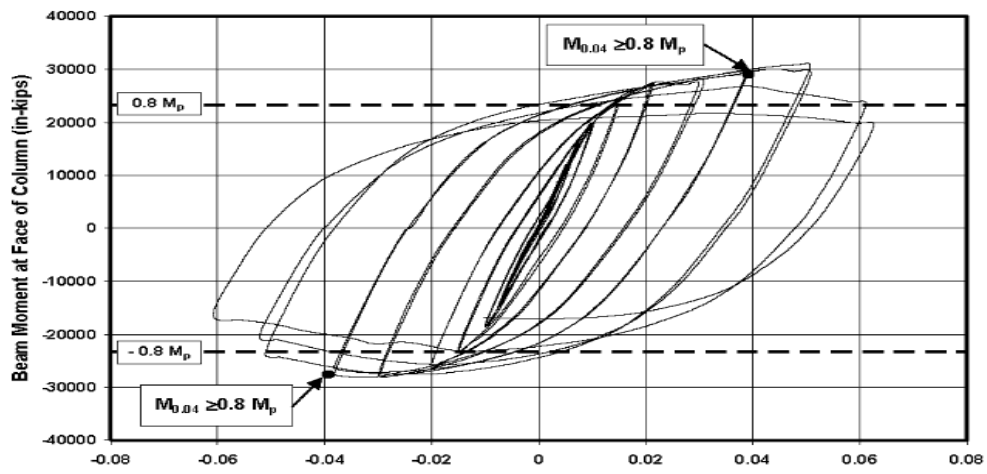
## ۲-۵-۳-۳ ضوابط پذیرش در AISC2005

در ضوابط لرزه‌ای ۲۰۰۵، ضوابط پذیرش بر اساس زاویه تغییر شکل نسبی طبقه مطرح شده است. در این ضوابط حداقل تعداد لازم برای نمونه‌های آزمایشی ذکر نشده است.

در این ضوابط، برای قاب خمشی ویژه نمونه باید بتواند حداقل  $0.04$  رادیان زاویه تغییر شکل نسبی طبقه را تحمل نماید و در زاویه  $0.04$  رادیان، ظرفیت خمشی نمونه در وجه ستون از  $80$  درصد مقدار لنگر پلاستیک اسمی تیر ( $0.8 M_p$ ) کمتر نگردد (شکل ۲-۱۳)

[۶].





شکل ۲-۱۳- کنترل ضوابط پذیرش در نمودار لنگر- زاویه چرخش نسبی طبقه مطابق با AISC2005



# فصل سوم : مروری بر تحقیقات پیشین انجام شده

در این فصل به بررسی مطالعات پیش در اتصالات صلب ستون درختی فلنجی با ستون قوطی پرداخته، که اتصال به دو قسمت تقسیم شده است. بررسی مطالعات پیشین اتصال تیر به ستون باکس در بخش اول دسته بندی قرار دارد در بخش دوم بررسی مطالعات پیشین اتصال بررسی اتصالات فلنجی بوده که در آن اتصال فلنجی و اتصال ستون درختی مورد بررسی قرار گرفته است. بخش سوم بررسی مطالعات پیشین بر روی نقص اولیه بر اتصالات فلنجی انجام گرفته است

ستون قوطی دارای دو جان می باشد. هر دو جان در طرفین ستون قرار دارند. بنابراین در اتصال گیردار تیر به ستون قوطی، نیروهای کششی و فشاری بال های تیر، بصورت نیروهای بیرون صفحه ای به بال ستون منتقل می شوند و سبب ایجاد تغییر شکل های بیرون صفحه ای در بال ستون قوطی می شوند. این تغییر شکل های بیرون صفحه ای، منجر به ایجاد خطوط تسلیم در بال ستون قوطی می گردند. نیروهای کششی و فشاری بال های تیر را می توان با استفاده از دیافراگم داخلی و یا اجزایی مانند ورق کناری، سخت کننده T شکل، بصورت نیروهای درون صفحه ای به جان ستون منتقل کرد و از ایجاد تغییر شکل های بیرون صفحه ای در بال ستون قوطی جلوگیری کرد.

### ۳-۱- بررسی مطالعات انجام شده روی اتصالات صلب در اتصال تیر به ستون

در بررسی های انجام بر روی اتصال تیر به ستون در اتصالات صلب ابتدا به بررسی اتصالات تقویت نشده در اتصال تیر به ستون پرداخته شده است و پس از آن اتصال که با جزیات اتصال به صورت T- شکل تقویت شده بررسی می شود. در ادامه اتصال تقویت لچکی سخت کننده سخت کننده بررسی شده است و در ادامه اتصال با افزایش عرض بال تیر مورد بررسی قرار گرفته است.

#### ۳-۱-۱- مطالعاتی که در آنها اتصال تیر به ستون فاقد تقویت است

در اتصالات تقویت نشده، تیر بصورت مستقیم و بدون هیچگونه تقویتی به ستون قوطی متصل می شود.

#### ۳-۱-۱-۱- بررسی اتصال فاقد تقویت

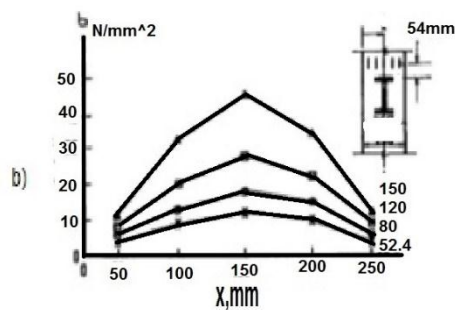
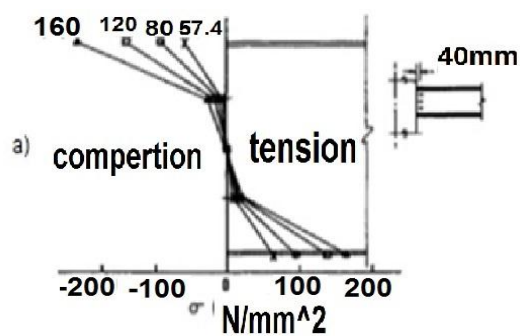
در سال ۱۹۹۱ Shanmugam و Ting برای بررسی عملکرد اتصال تیر به ستون قوطی

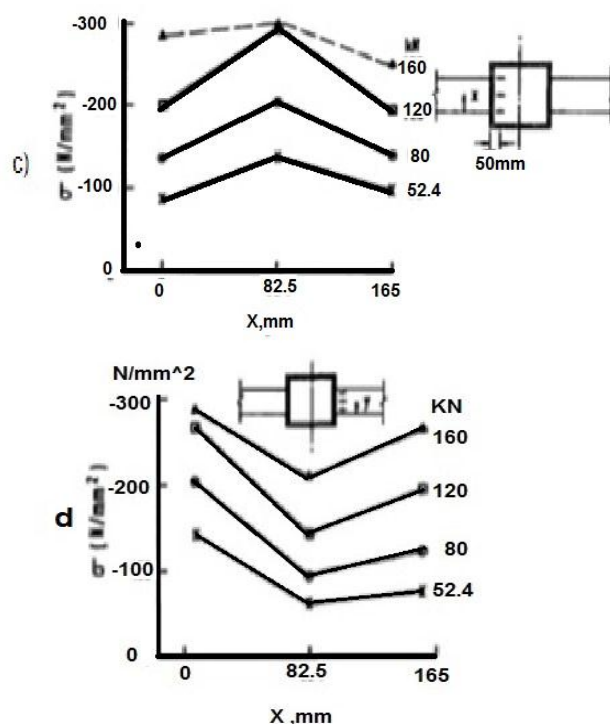
دارای دیافراگم داخلی، یک نمونه را مورد آزمایش قرار دادند. مشخصات این نمونه در جدول ۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱-۳ مشخصات نمونه آزمایشگاهی

Column size (mm × mm × mm) (2)	Beam size (mm × mm × kg/m) (3)	T-stiffener (from I-section) (mm × mm × kg/m) (4)
200 × 200 × 12	254 × 102 × 22.32	127 × 76 × 13 (140 mm long)

نتایج تنش در جان تیر در شکل ۱-۳- (a) برای این نمونه مشخص می‌باشد.





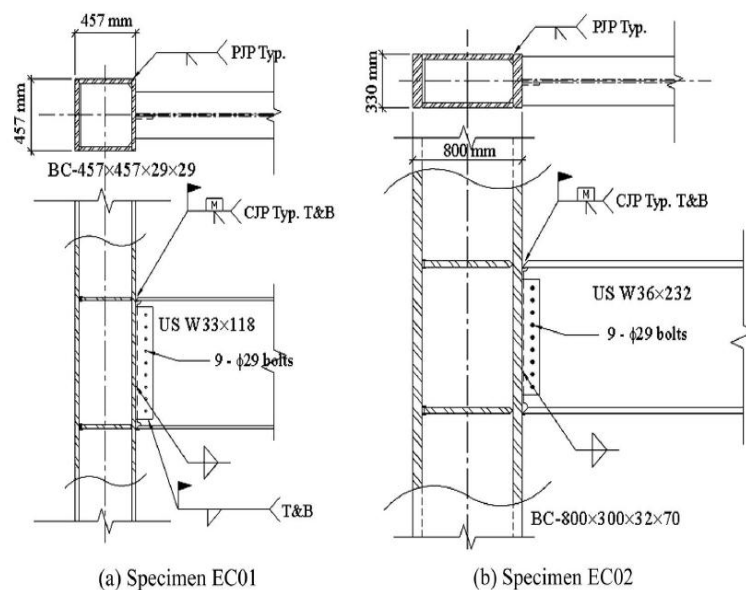
شکل ۳-۱- تغییرات تنش برای نمونه آزمایشگاهی (a) جان تیر (b) بال ستون (c) سخت کننده داخلی (d) بال تیر

با توجه به سختی دیافراگم روبروی بال تیر و تغییر شکل بیرون صفحه‌ای بال ستون در روبروی جان تیر، میزان تنش در قسمت مرکزی جان تیر در مقایسه با قسمت‌های بالایی و پایین جان تیر بسیار اندک می‌باشد. در شکل ۳-۱- (b) میزان تنش در فاصله ۵۴ mm بالای بال تیر، در عرض بال ستون برای نمونه آزمایشگاهی نشان داده شده است. میزان تنش در قسمت میانی بال ستون نسبت به تنش در لبه‌های بال ستون بیشتر می‌باشد ولی مقدار این تنش از تنش تسلیم بسیار کمتر است زیرا به دلیل وجود دیافراگم داخلی، نیروهای کششی و فشاری بال‌های تیر، توسط دیافراگم داخلی به جان ستون منتقل می‌شوند و در نتیجه تنش کمتری در بال ستون ایجاد می‌شود. در شکل

۳-۱- (c) توزیع تنش در دیافراگم داخلی نشان داده شده است. شکل ۳-۱- (d) توزیع تنش در عرض بال تیر، در محل اتصال را نشان می‌دهد. میزان تنش در لبه‌های بال تیر نسبت به مرکز بال تیر بیشتر است [۸].

در سال ۲۰۰۳، Taejin Kim و همکارانش رفتار اتصال تیر به ستون قوطی دارای دیافراگم داخلی را با استفاده از دو نمونه آزمایشگاهی EC01 و EC02 مورد بررسی قرار دادند. در

این نمونه‌ها، اتصال تیر به ستون قوطی با روش اتصالات جوشی قبل از زلزله نورث‌ریج انجام شده بود. جزئیات اتصال این دو نمونه در شکل ۳-۲ مشخص می‌باشد و ابعاد این نمونه‌ها در جدول ۳-۱ آورده شده است.



شکل ۳-۲- جزئیات اتصال برای دو نمونه EC01 و EC02

جدول ۳-۲- ابعاد نمونه‌ها

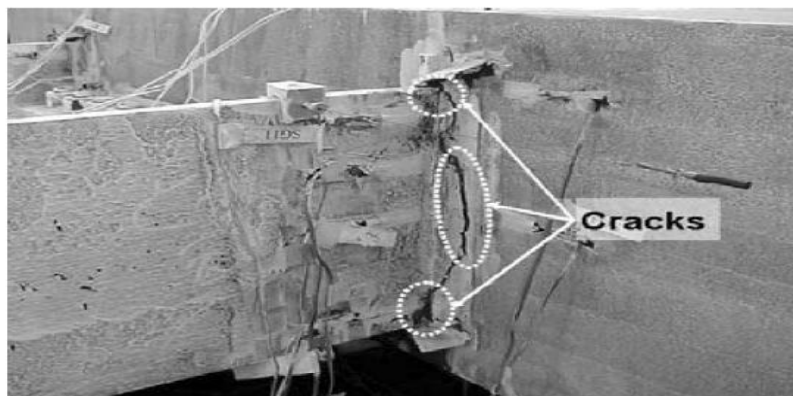
	Specimen EC01	Specimen EC02
Beam length (mm) <sup>a</sup>	2,286	4,114
Beam size	U.S. W33 × 118	U.S. W36 × 232
Shear tab thickness (mm)	16	16
Fillet weld between shear tab and beam web (mm)	11	0
Column height (mm)	4,166	4,166
Column size	BC457 × 457 × 29 × 29	BC800 × 330 × 32 × 70
Box column plate thickness (mm)	29	70 (flange), 32 (web)
Continuity plate thickness (mm)	25	25
Number of bolts in shear tab <sup>b</sup>	9	9

<sup>a</sup>Distance from column centerline to actuator centerline.

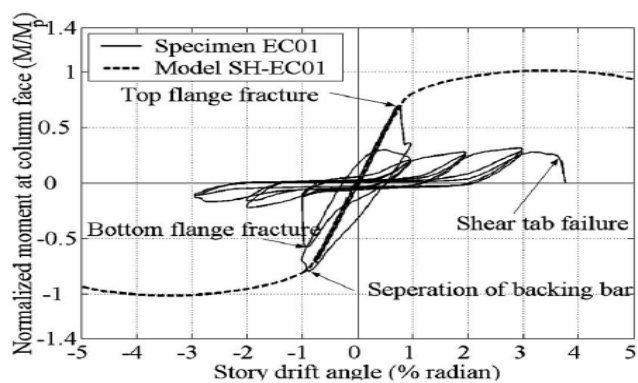
<sup>b</sup>A490SC bolts, diameter=29 mm.

در هر دو نمونه آزمایشگاهی EC01 و EC02، شکست در محل اتصال بال تیر به بال ستون رخ داد و در نتیجه نمونه‌ها عملکرد ضعیفی از خود نشان دادند. شکل ۳-۳ شکست ایجاد شده در محل اتصال بال تیر به بال ستون نمونه EC01 را نشان می‌دهد. نمودار هیستریزیس (لنگر در وجه ستون - دریفت) این نمونه‌ها در شکل ۳-۴ نشان داده شده

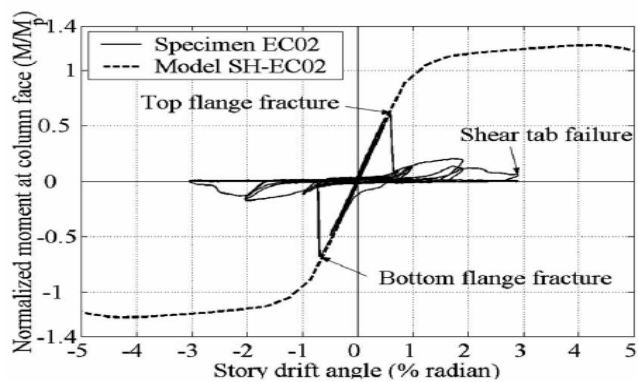
است.



شکل ۳-۳ شکست ایجاد شده در اتصال تحت بار چرخه ای



(a) Specimen EC01

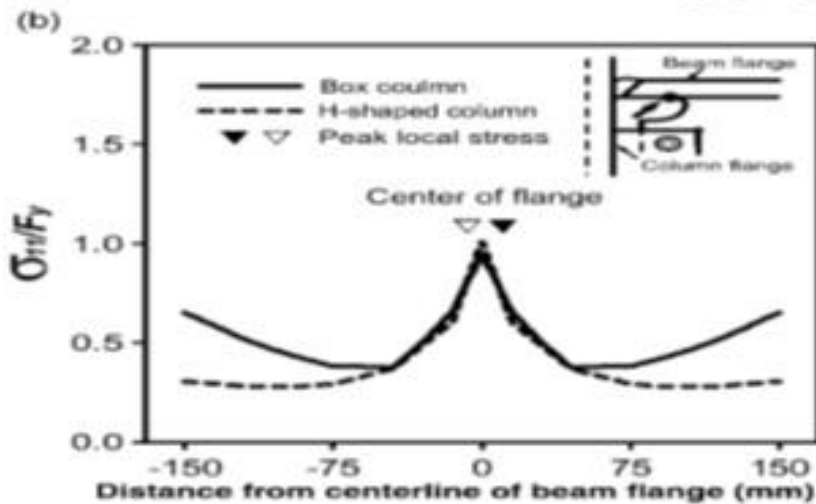
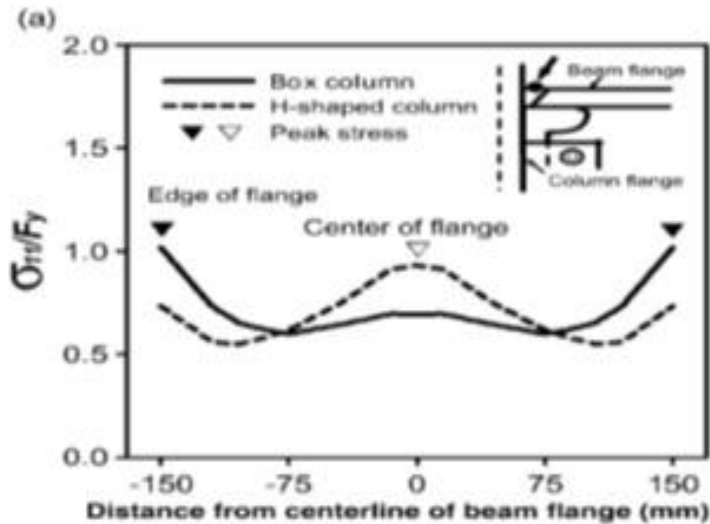


(b) Specimen EC02

شکل ۳-۴- نمودار لنگر در لبه ستون بر حسب دریافت

در سال ۲۰۰۴، chen-chin و همکارانش [۱۰] اتصال تقویت نشده تیر I شکل به ستون قوطی و H شکل را توسط نرم افزار ANSYS مورد بررسی قرار دادند.



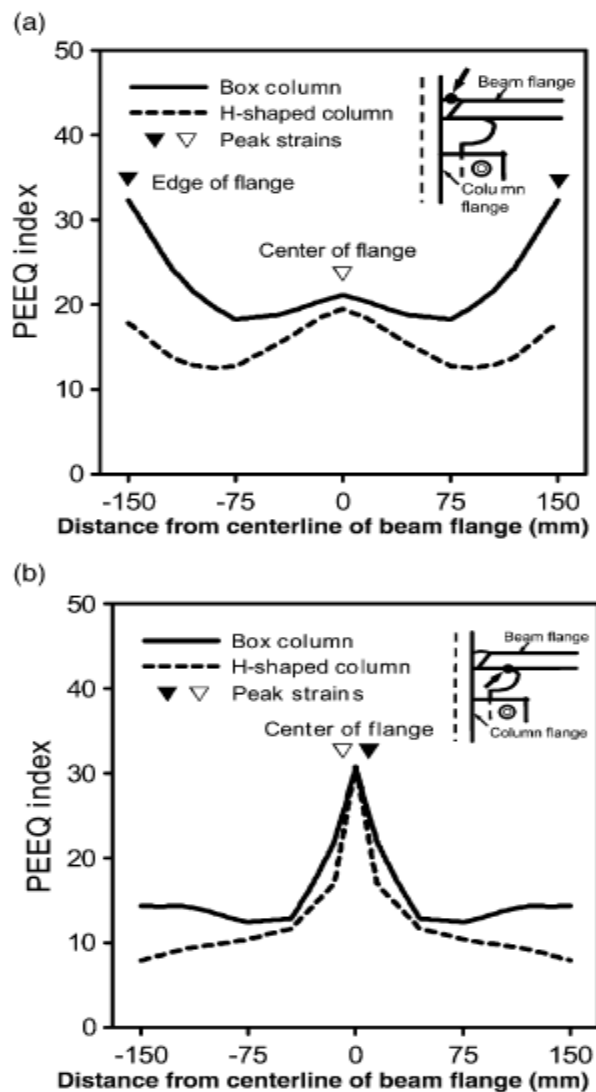


شکل ۳-۵- توزیع تنشهای طولی نرمال شده در ۰/۵٪ زاویه دررفت طبقه در عرض بال تیر در الف) محل

جوش نفوذی کامل متصل کننده بال تیر به بال ستون و ب) ریشه سوراخ دسترسی

شکل ۴-۵- توزیع تنشهای طولی نرمال شده در زاویه دررفت ۰/۵٪ رادیان در محل جوش نفوذی کامل متصل کننده بال تیر به بال ستون و ریشه سوراخ دسترسی (WAH) در عرض بال تیر را نشان می‌دهد. تنش طولی نرمال شده با تقسیم کردن تنش طولی  $\sigma_{II}$  بر تنش تسلیم  $\sigma_y$ ، تعیین می‌شود. زاویه دررفت ۰/۵٪ رادیان به این دلیل انتخاب شده است تا سازه در مرحله الاستیک باشد. با توجه به شکل ۳-۵-الف) واضح است که ماکزیمم تنش در محل جوش نفوذی کامل متصل کننده بال تیر به بال ستون قوطی، در دو طرف بال تیر و در محل جوش نفوذی کامل متصل کننده بال تیر به بال ستون H شکل، در مرکز بال تیر ایجاد می‌شود. علت تفاوت در توزیع تنش طولی در محل جوش CJP برای ستون قوطی و ستون

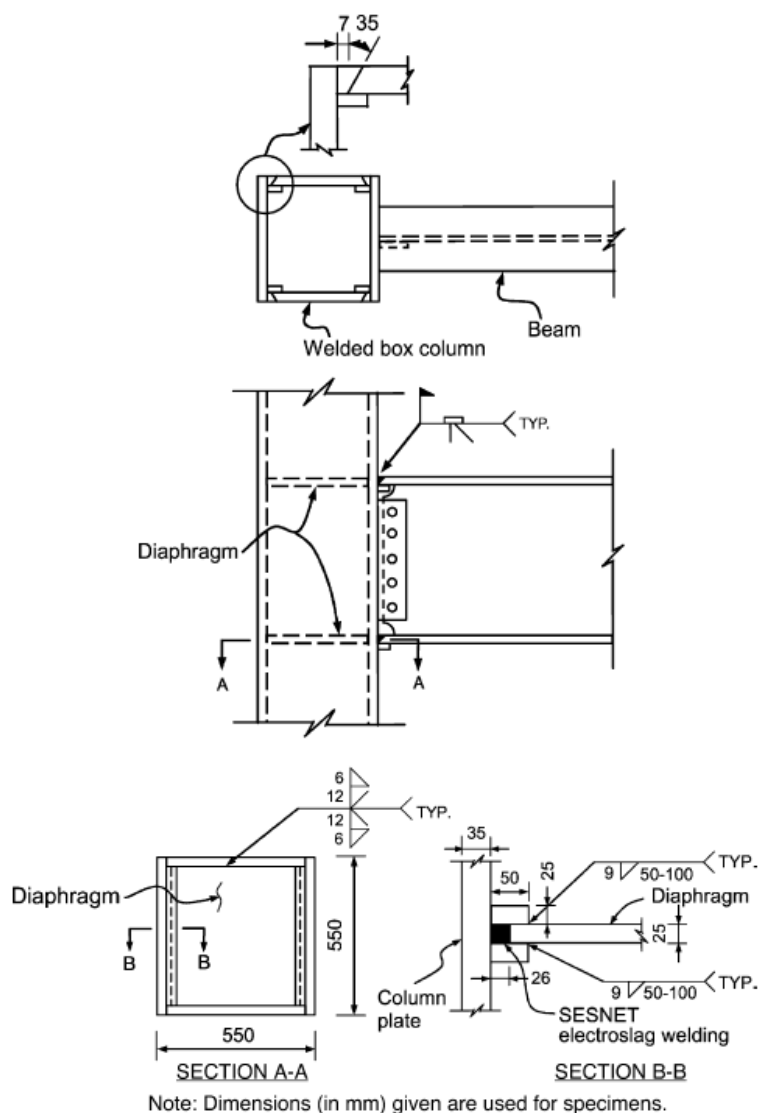
H شکل اختلاف در سختی ایجاد شده توسط جان این دو نوع ستون می‌باشد زیرا ستون قوطی دارای دو جان می‌باشد که در طرفین ستون قرار دارند در حالیکه ستون H شکل دارای یک جان در وسط مقطع ستون می‌باشد. توزیع تنش طولی نرمال در ریشه سوراخ دسترسی (WAH) در عرض بال تیر در شکل ۳-۵-۵ (b) مشخص است. با توجه به شکل مشخص است که تمرکز تنش طولی در ریشه سوراخ دسترسی برای هر دو نوع ستون در مرکز بال تیر می‌باشد. شکل ۳-۶ نشان می‌دهد که توزیع اندیس PEEQ در عرض بال تیر مشابه توزیع تنشهای طولی می‌باشد.



شکل ۳-۶- توزیع اندیس PEEQ در ۴٪ زاویه دریافت طبقه در عرض بال تیر در الف) محل جوش نفوذی

کامل متصل کننده بال تیر به بال ستون و ب) ریشه سوراخ دسترسی

در سال ۲۰۰۴، chen-chin و همکارانش [۱۰] با یک نمونه آزمایشگاهی عملکرد اتصال تقویت نشده تیر به ستون قوطی را بررسی کردند. همه جوشهای اتصال طبق استاندارد AWS انجام شد و از فرایند جوش الکترواسلگ برای اتصال ورق پیوستگی به وجوه ستون قوطی استفاده شد (تصویر ۳-۷).



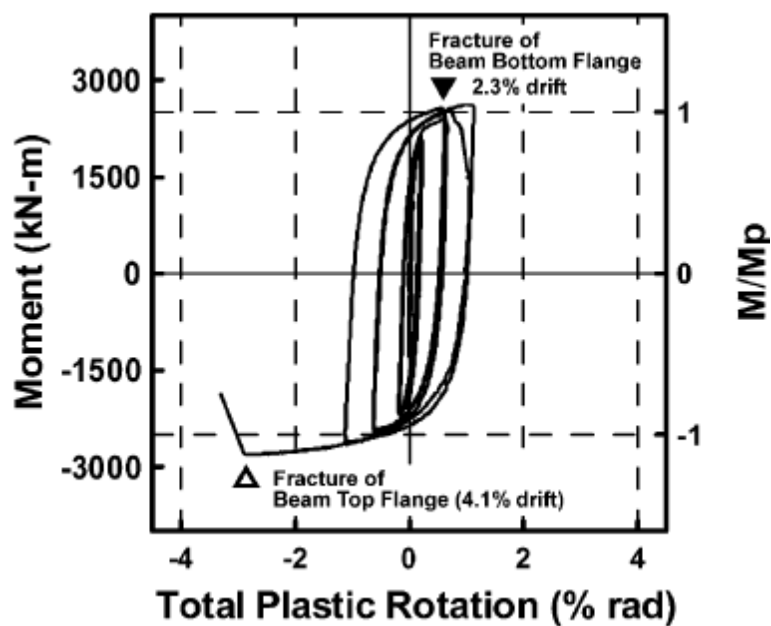
شکل ۳-۷- اتصال تیر به ستون قوطی با روش جوش الکترواسلگ

در این نمونه آزمایشگاهی شکست تردد رخ داد. بدین صورت که ابتدا ترکهائی در جوش CJP در محل لبه‌های بال تیر ایجاد شد (محل تمرکز تنش در آنالیز عددی) و در ادامه این ترکها به

درون بال تیر نفوذ کردند و باعث شکست بال پایینی تیر شدند (شکل ۳-۸). نمودار هیستریزیس این نمونه در شکل ۳-۹ مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۸- شکست ترد در نمونه تقویت نشده

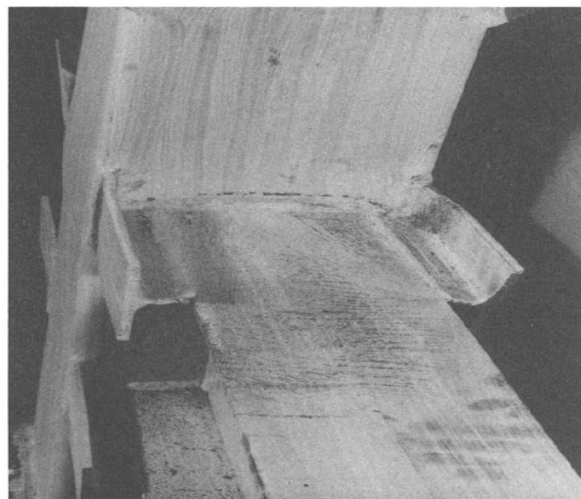
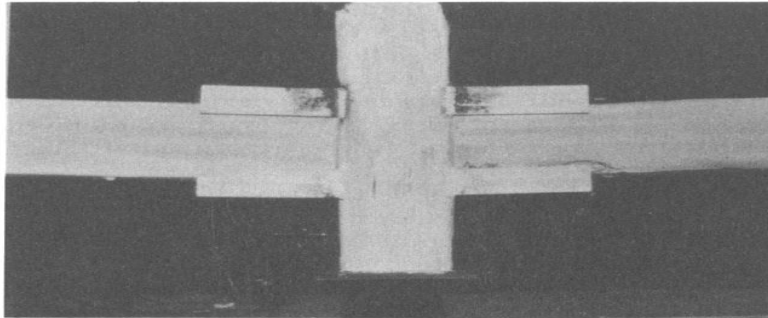


شکل ۳-۹- نمودار هیستریزیس نمونه تقویت نشده

### ۳-۱-۱-۲- تقویت اتصال با سخت کننده T-شکل

در سال ۱۹۹۳ Ting و Shanmugam برای بررسی عملکرد اتصال تیر به ستون قوطی با استفاده از سخت کننده T شکل و نبشی، آزمایشاتی را انجام دادند. در این تحقیق هم سخت کننده‌ها و هم بال‌های تیر به ستون جوش شدند. ایشان نتیجه گرفتند که اتصال با سخت کننده T شکل عملکرد بسیار بهتری نسبت به اتصال با نبشی دارد. شکل ۴-۱۰ میزان

تسلیم شدگی در اتصال با سخت کننده T شکل را نشان می‌دهد [۱۲].

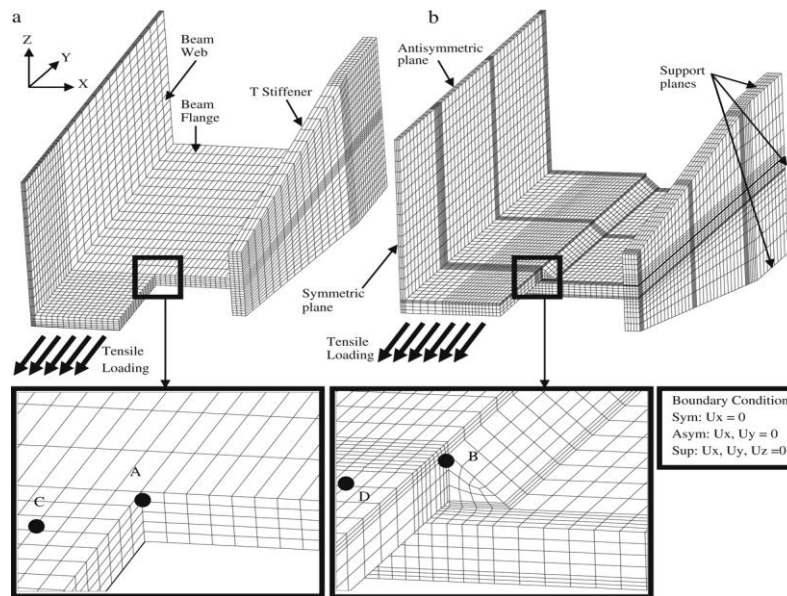


شکل ۳-۱۰- میزان تسلیم شدگی در اتصال با سخت کننده T شکل

در سال ۱۹۹۳ Ting و Shanmugam برای بررسی عملکرد اتصال تیر به ستون قوطی با استفاده از سخت کننده T شکل و نبشی، آزمایشاتی را انجام دادند. در این تحقیق هم سخت کننده‌ها و هم بال‌های تیر به ستون جوش شدند. ایشان نتیجه گرفتند که اتصال با سخت کننده T شکل عملکرد بسیار بهتری نسبت به اتصال با نبشی دارد. شکل ۳-۱۰ میزان تسلیم شدگی در اتصال با سخت کننده T شکل را نشان می‌دهد [۱۳].

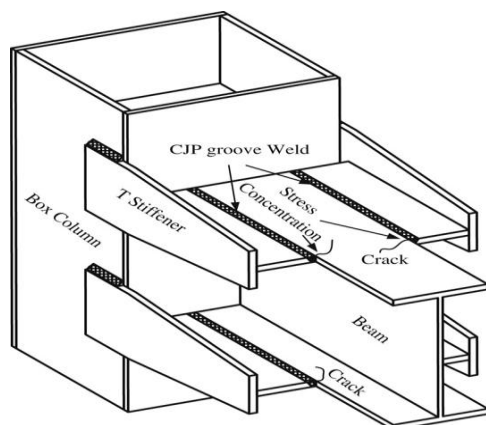
قبادی و همکارانش در سال ۲۰۰۹ عملکرد اتصال تیر به ستون قوطی با استفاده از سخت کننده T شکل را با استفاده از آنالیز عددی بررسی کردند. ایشان برای اتصال سخت کننده T شکل به بال تیر از نوع جوش نفوذی کامل (CJP) و جوش گوشه استفاده کردند. در این تحقیق،

سخت‌کننده‌های T شکل و بال‌های تیر به بال ستون قوطی جوش نشدند و سخت‌کننده‌های T شکل از یک طرف به بال تیر و از طرف دیگر به جان ستون قوطی جوش شده‌اند. قبادی از نرم‌افزار ANSYS برای مدلسازی استفاده کرد. مدل عددی اتصال T شکل به بال تیر از طریق هر دو نوع جوش (جوش نفوذی کامل و جوش گوشه) در تصویر ۱۱-۳ نشان داده شده است.



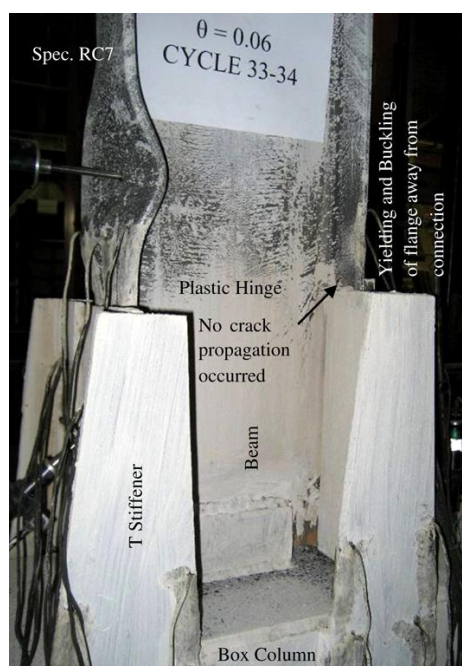
شکل ۱۱-۳- مدل عددی اتصال T شکل به بال تیر از طریق الف) جوش نفوذی کامل، ب) جوش گوشه

ایشان از اندیس گسیختگی برای مقایسه عملکرد جوش نفوذی کامل و جوش گوشه متصل‌کننده سخت‌کننده T شکل به بال تیر استفاده کرد. مکان محتمل برای ایجاد ترک در این نوع اتصالات در شکل ۱۲-۳ نشان داده شده است. قبادی و همکارانش نتیجه گرفتند که پتانسیل برای ایجاد این ترک در مواردی که از جوش گوشه برای اتصال سخت‌کننده T شکل به بال تیر استفاده شود نسبت به مواردی که از جوش CJP استفاده شود، کمتر می‌باشد [۱۴].



شکل ۳-۱۲- مکان محتمل برای ایجاد ترک در اتصال با سخت کننده T شکل

قبادی و همکارانش یک نمونه آزمایشگاهی از اتصال سخت کننده T شکل به بال تیر توسط جوش گوشه را مورد آزمایش قرار داد و در تصویر ۳-۱۳ رفتار این اتصال نشان داده شده است با توجه به این تصویر مشخص است که بدون ایجاد هیچگونه ترکی، مفصل پلاستیک ناشی از تسلیم شدگی و کماتش بال تیر در بیرون از محل اتصال سخت کننده T شکل با بال تیر، ایجاد شده است [۱۴].



شکل ۳-۱۳- نمونه آزمایشگاهی اتصال تیر به ستون قوطی با سخت کننده T شکل

### ۳-۱-۱-۳- تقویت اتصال در وجه ستون

اتصالات تقویت نشده تیر به ستون قوطی عملکرد خیلی ضعیفی از خود نشان دادند و در

این اتصالات، تمرکز تنش ایجاد شده در لبه‌های بال تیر سبب ایجاد ترک و در ادامه شکست اتصال می‌گردد. بنابراین تحقیقاتی برای پیدا کردن روش تقویت مناسب برای این اتصالات انجام شد. در مورد روشهای تقویت اتصال تیر به ستون قوطی میتوان به تقویت تیر در بر ستون با بکارگیری لچکی [۸]، افزایش عرض بال تیر در موضع اتصال [۱۱] اشاره کرد. در ادامه به این تحقیقات اشاره می‌گردد:

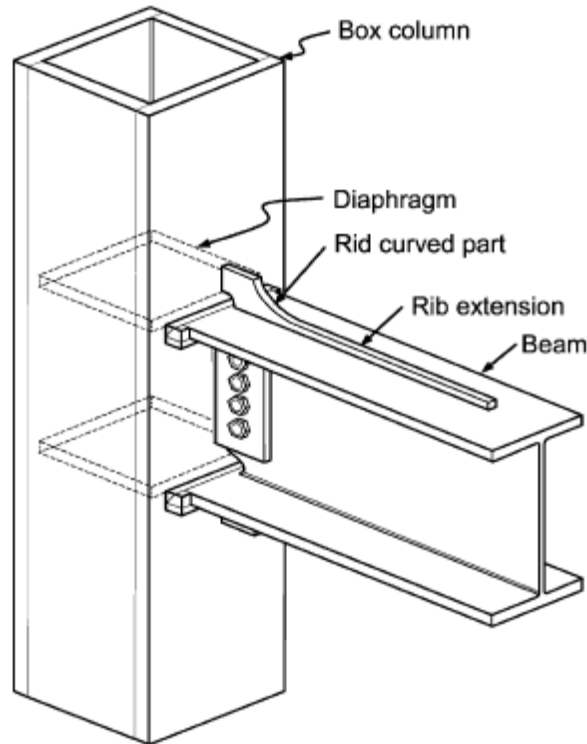
در سال ۲۰۰۴ chin [۱۰]، آزمایشهایی برای مشخص کردن اثر تقویت با لچکی بر روی اتصال تیر I شکل به ستون قوطی انجام داد. ایشان پنج نمونه آزمایشگاهی با مقیاس واقعی آماده کرد. همه نمونه‌ها با تیر I 700×300×13×24 و ستون قوطی B 550×550×35×35 ساخته شده بودند. نحوه تقویت اتصال با لچکی در شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است. قسمت منحنی لچکی (rib curved part) بمنظور انتقال نرم نیروها ایجاد شده است و قسمت امتداد یافته (rib extension) بمنظور جلوگیری از ایجاد تمرکز کرنش در قسمت انتهایی rib Plate در نظر گرفته شده است. در جدول ۳-۳ خصوصیات این پنج نمونه آورده شده است.

جدول ۳-۳- خصوصیات پنج نمونه آزمایشگاهی تقویت شده با لچکی

Specimen <sup>a</sup>	$M_{cap}/M_{den}$ at interface	Rib size (mm)	Backing bar	Note
BUN	-	-	Steel	
BR115SB	1.15	PL22 × 135 × 685	Steel	
BR105SB	1.05	PL22 × 100 × 685	Steel	
BR115SB-FW	1.15	PL22 × 135 × 685	Steel	Extra fillet weld at backing bars
BR115CB	1.15	PL25 × 135 × 790	Ceramic	
BR120CB-WP	1.20	PL25 × 150 × 790	Ceramic	Additional flat wing plates

<sup>a</sup> All specimens consist of a H700 × 300 × 13 × 24 (mm) beam and a □550 × 550 × 35 × 35 (mm) column.





شکل ۳-۱۴- نمونه تقویت شده که در آن rib Plate در محل خط مرکزی تیر قرار گرفته است

همانطور که در جدول ۳-۳ مشاهده می‌شود، ابعاد لچکی در این نمونه‌ها، متفاوت می‌باشد و از نسبت تقویت ۱,۰۵، ۱,۲ و ۱,۱۵ در نمونه‌ها استفاده شده است. نسبت ظرفیت خمشی در محل اتصال  $M_{cap}$ ، به تقاضای لنگر در محل اتصال  $M_{dem}$  را نسبت تقویت می‌نامند. در برخی از نمونه‌ها از قطعه پشت‌بند فولادی،  $B$ ، در برخی دیگر از قطعه پشت‌بند سرامیکی،  $CB$ ، استفاده شده است. در نمونه  $BR1120CB-WP$  علاوه بر لچکی از wing plate نیز برای تقویت اتصال استفاده شده است. تاریخچه بارگذاری چرخه‌ای مطابق ۲۴-ATC می‌باشد. نتایج تحقیق برای نمونه‌ها بصورت زیر ارایه می‌شود.

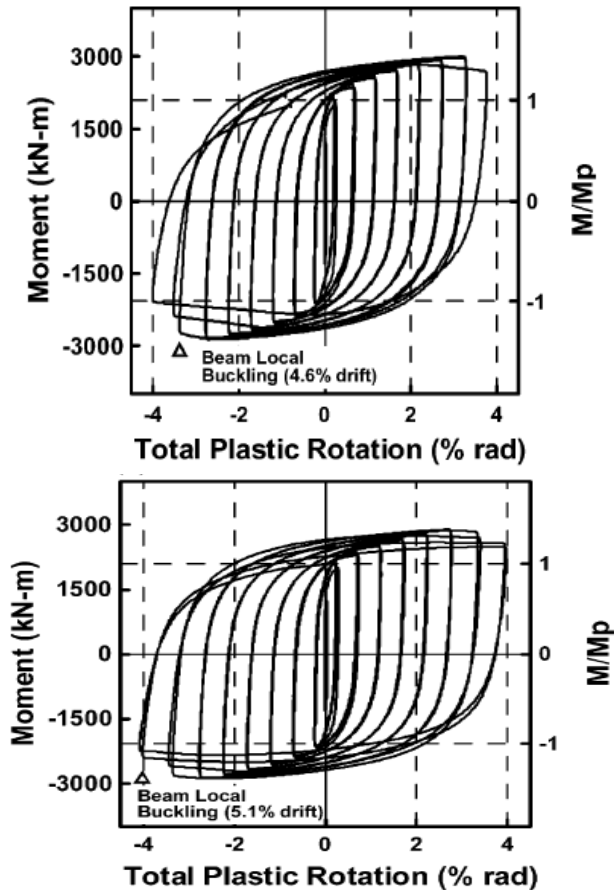
نمونه‌های  $BR115SB$  و  $BR105SB$  ترک‌هایی در لبه‌های بال این دو نمونه ایجاد شد، اما این ترک‌ها گسترش پیدا نکردند و این دو نمونه رفتار شکل‌پذیری از خود نشان دادند. تصاویر ۴-۱۷ و ۴-۱۶ بترتیب نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در نمونه‌های  $BR115SB$  و  $BR105SB$  را نشان می‌دهند. شکل ۳-۱۷ نشان می‌دهد که چرخش پلاستیک این دو نمونه بیشتر از ۰.۳٪ می‌باشد.



شکل ۴-۱۵- کمانش موضعی جان و بال تیر نمونه BR115SB

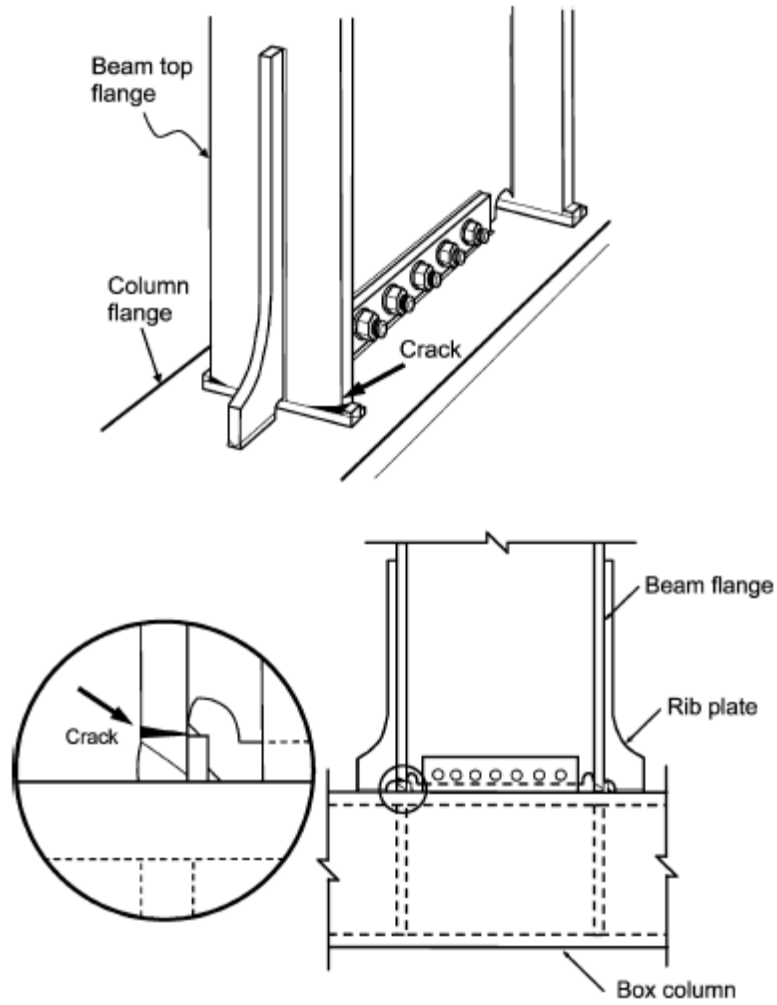


شکل ۴-۱۶- کمانش موضعی جان و بال تیر نمونه BR105SB

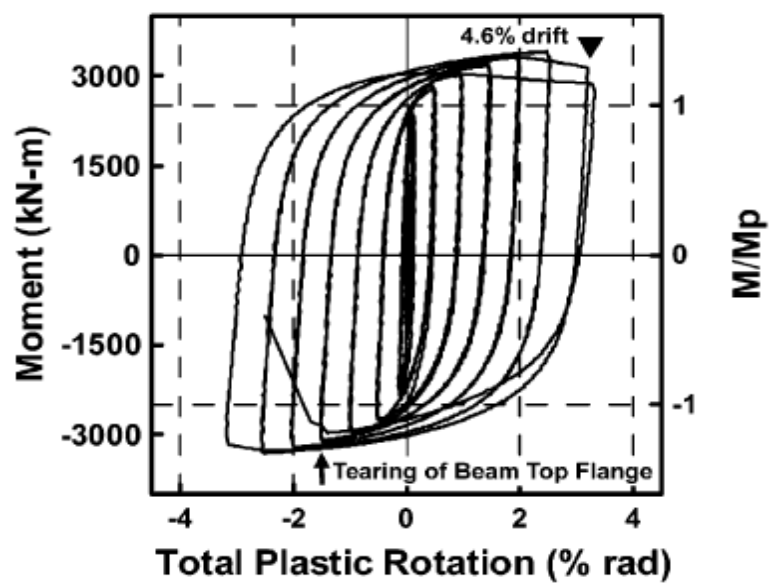


شکل ۳-۱۷- نمودار هیستریزس نمونه‌های BR105SB و BR115SB

نمونه BR115SB-FW - در این نمونه قطعه پشت‌بند فولادی به بال تیر و به بال ستون جوش شده است (در سایر نمونه‌ها قطعه پشت‌بند فولادی فقط به بال ستون جوش شده است). همانطور که در شکل ۳-۱۸ مشاهده می‌شود، در جوش CJP ترک‌هایی ایجاد شد که در دریافت ۴/۶٪ منجر به گسیختگی بال بالایی نمونه گردید. شکل ۳-۱۹ نشان می‌دهد که چرخش پلاستیک این نمونه بیشتر از ۳٪ می‌باشد.

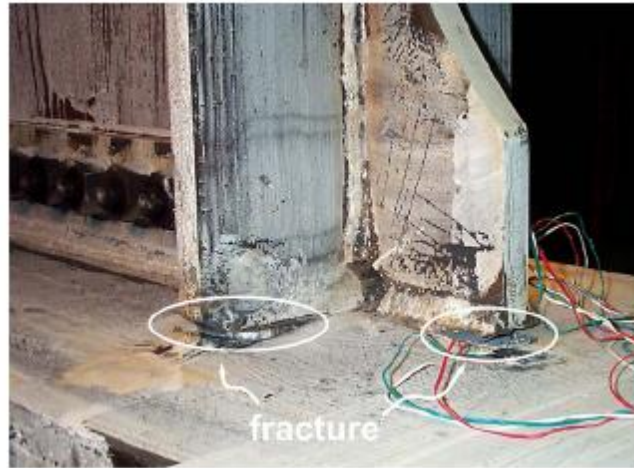


شکل ۳-۱۸- ترک در جوش CJP نمونه BR115SB-FW



شکل ۳-۱۹- نمودار هیستریزیس نمونه BR115SB-FW

نمونه BR115C-CB - بدترین عملکرد را این نمونه داشت. با توجه به شکل ۳-۲۰ ابتدا گسیختگی از نوک جوش در لبه‌های بال تیر و لبه لچکی در محل اتصال با بال ستون شروع شد و سپس این گسیختگی باعث شکست کامل بال تیر در دریافت ۱/۷٪ رادیان شد و هیچگونه تسلیم‌شدگی در نمونه رخ نداد.

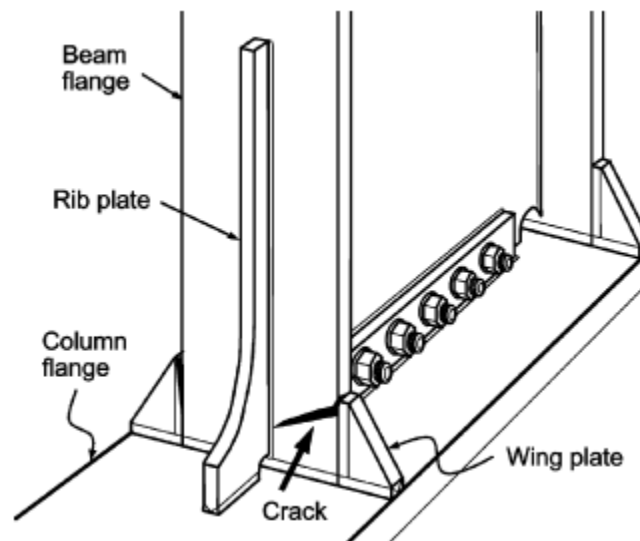


شکل ۳-۲۰- ترک در جوش CJP نمونه BR115C-CB

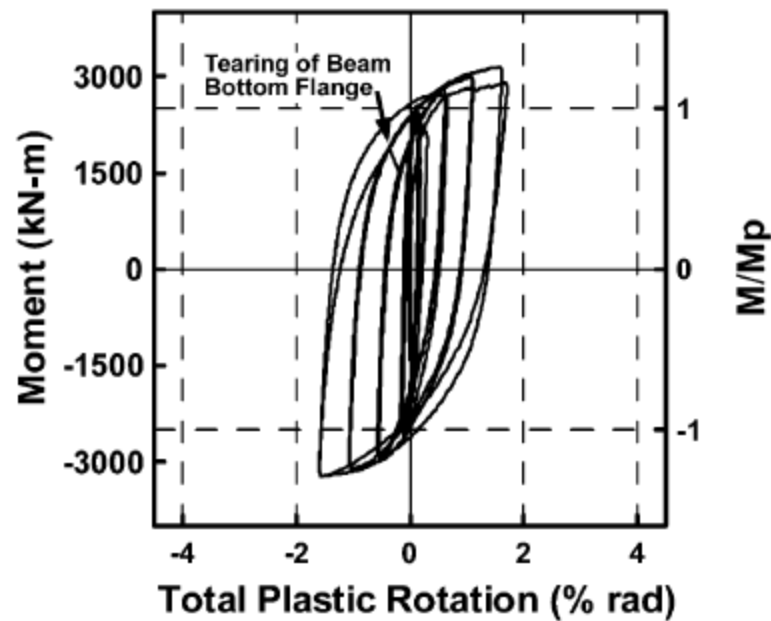
با توجه به این مورد که تنها تفاوت این نمونه با نمونه BR115SB در جنس قطعه پشت‌بند می‌باشد (قطعه پشت‌بند در BR115SB فولادی و در BR115C-CB سرامیکی می‌باشد) عملکرد این نمونه تعجب‌آور بود. بنابراین باید در مورد علت شکست این نمونه جستجویی انجام می‌گرفت. پس از برداشتن ورق‌های ستون قوطی، مشخص شد که کیفیت جوش الکتروسلگ (SESNET) بین دیافراگم داخلی و بال ستون نامناسب بوده و ضعف این جوش، باعث جدا شدن دیافراگم از بال ستون شده است. در نتیجه در بال ستون تحت نیروی‌های کششی و فشاری بال‌های تیر، تغییر شکل خارج صفحه‌ای ایجاد شده است و به علت همین تغییر شکل خارج صفحه‌ای بال ستون، ترک‌هایی از نوک جوش در لبه‌های بال تیر و لبه rib plate در محل اتصال با بال ستون ایجاد شد.

نمونه BR1120CB-WP - این نمونه علاوه بر تقویت شدن توسط لچکی، با استفاده از wing plate نیز تقویت شده بود تا با این تقویت اضافی از تمرکز تنش در لبه‌های بال تیر جلوگیری شود اما مطابق با شکل ۳-۲۱ ترکی در نوک wing plate مشاهده شد که این ترک به درون بال تیر نفوذ کرد و باعث گسیختگی نمونه شد. علت ایجاد ترک در نوک wing plate، ناپیوستگی هندسی می‌باشد. همانطور که در شکل، شکل ۳-۲۲ مشاهده

می‌شود، این نمونه رفتار هیستریزیس ضعیفی از خود نشان داد.

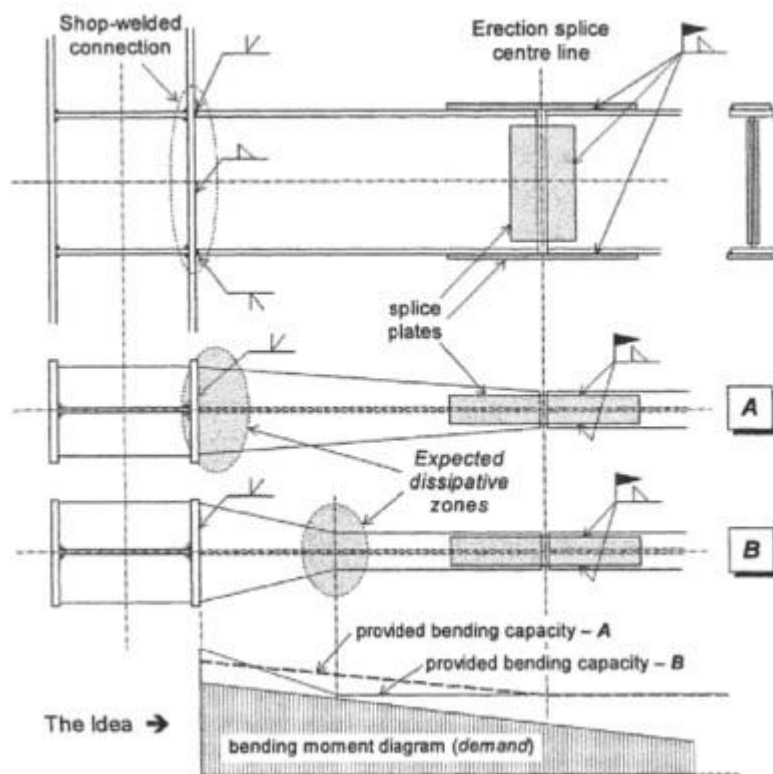


شکل ۳-۲۱- شکست بال تیر نمونه BR1120CB-WP



شکل ۳-۲۲- نمودار هیستریزیس نمونه BR1120CB-WP

Sotirov و همکارانش [۲۰] با بررسی بر روی اتصال تیر به ستون در اتصال صلب ستون درختی را مورد بررسی قرار دادند. طی بررسی انجام شده توسط آنان بر روی وضعیت اتصال ستون درختی در قاب خمشی ۶ نمونه در دو دتایل متفاوت که در شکل ۳-۲۳ مشاهده می‌شود مورد بررسی قرار گرفت.



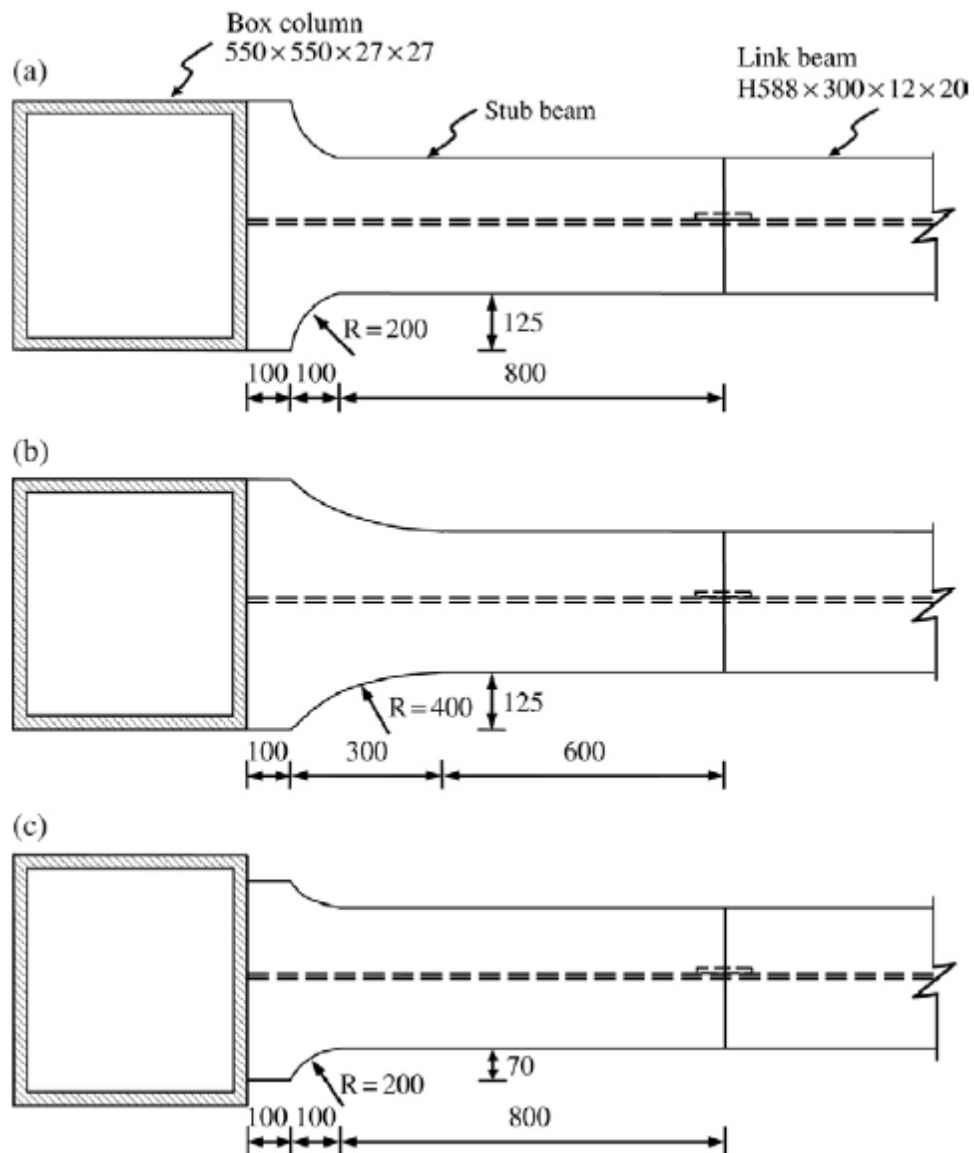
شکل ۳-۲۳- نمونه a و b دو نمونه آزمایشگاهی مورد بررسی توسط Sotirov

آنها با مخروطی کردن و کاهش تدریجی عرض بال ورق تیر رفتار لرزه ای تیر را بهبود بخشیدند. اتصال نوع A با جزئیات اتصال قبل از زلزله نورتریج بوده و اتصال B اتصال با جزئیات پس از زلزله نورتریج بوده که با ایده طراحی برای جابجا کردن مفصل پلاستیک از بال ستون مطابق شکل ۳-۲۳ امکان پذیر شد.

طراحی این اتصالات با هدف مقاوم ساختن اتصال بدون اضافه کردن ورق های پوششی، لچکی سخت کننده و یا افزایش ارتفاع جان تیر بوده، که از طرف دیگر ضعیف کردن مکان از قبل تعیین شده جهت تشکیل مفصل پلاستیک بوده است در شکل ۳-۲۴ نمودار هیستریزس دو نمونه A و B مشاهده می شود. [۲۰]

ظرفیت دوران پلاستیک در نوع A به مقدار زیادی بستگی به انعطاف پذیری در چشمه اتصال دارد. ظرفیت استهلاک انرژی در هر دو نمونه بالا بوده ولی نمونه B ۲۰٪ عملکرد بهتری در مقایسه با نمونه A داشته است. در مقایسه هر دو نمونه A و B اتصال B قابل پیش بینی بوده که نبود فیوز سازه ای در نوع A رفتار متفاوتی از خود نشان داده و نیروی تقاضای بیشتری به چشمه اتصال تحمیل می کند.

در سال ۲۰۰۶ cheng و همکارانش [ ۱۱ ] عملکرد اتصال با مقطع افزایش یافته را توسط سه نمونه آزمایشگاهی بررسی کردند. در شکل ۳-۲۵ مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی آورده شده است. تفاوت این نمونه‌ها در عرض و طول مقطع افزایش یافته است. عملکرد هر سه نمونه در آزمایشات مشابه بود. شکل ۳-۲۶، نمونه W10-L1A را در انتهای دریافت ۴٪ نشان می‌دهد. با توجه به این تصویر مشخص است که بدون ایجاد هیچگونه ترکی، مفصل پلاستیک در تیر ایجاد شده است. چرخش پلاستیک در هر سه نمونه بیشتر از ۳٪ می‌باشد.



شکل ۳-۲۵- مشخصات نمونه‌های آزمایشگاهی الف) W10-L1A ب) W10-L2A ج) W08-L1A





شکل ۳-۲۶- نمونه W10-L1A در انتهای دررفت ۴٪

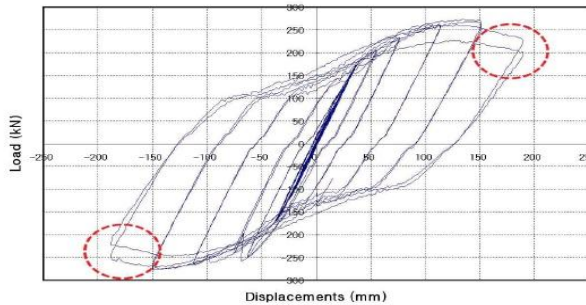
### ۳-۲- بررسی مصالحات پیشین اتصالات فلنجی وستون درختی صلب

در این بخش به بررسی مطالعات پیشین در زمینه اتصالات ستون درختی در اتصال تیر ریشه با تیر اصلی و رفتار آن پرداخته شده است.

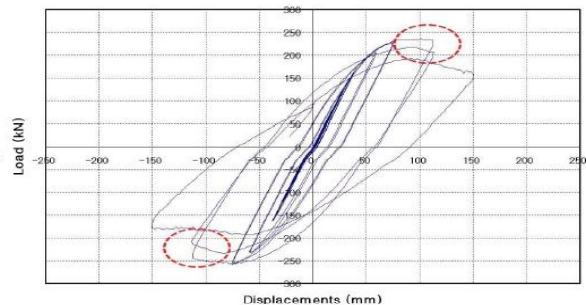
#### ۳-۲-۱- مروری بر تحقیقات پیشین در اتصالات ستون درختی فلنجی

Kang ming Lee و همکاران با مطالعه بر روی رفتار لرزه ای اتصال خمشی ستون درختی بال جوش شده و جان پیچ شده به ستون I-شکل (WUF-B),(CR-W) در محور ضعیف ستون پرداخته شده است، در مدل آزمایشگاهی اتصال تحت بارگذاری چرخه ای قرار گرفت. کنترل دررفت طبقه با توجه به لغزش ورق اتصال تیر میانی به دستک در نمونه CR-W در ۰,۰۵ رادیان در بال تیر کمانش مشاهده شد. طبق آیین نامه AICS 2000 اتصال ۰,۰۴ رادیان جابجایی و ۰,۸۰ لنگر پلاستیک مقاومت کند تا در رده قابهای خمشی ویژه قرار گیرد. با توجه شکل ۳-۲۷ و ۳-۲۸ اتصال WUF-B در

۰,۰۳ رادیان جابجایی طبقه کمانش در بال تیر مشاهده شده است که در رده قابهای خمشی معمولی قرار می گیرد [۱۵].

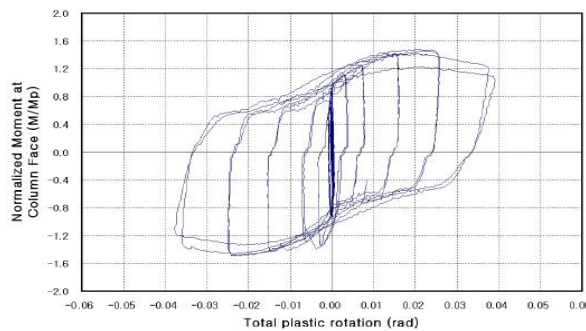


Load-displacement Curve for CT-W

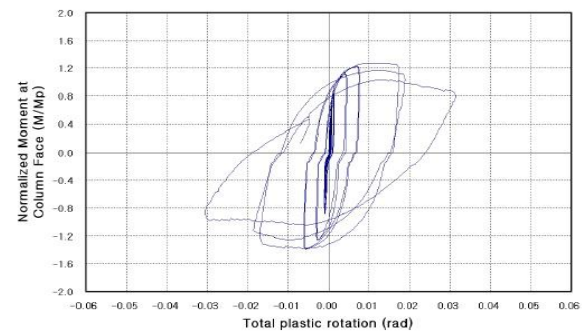


Load-displacement Curve for WUF-B

شکل ۳-۲۷- مقایسه گراف بار-جابجایی بین نمونه CR-W , WUF-B شکل



(a) Moment-rotation of CR-W



(b) Moment-rotation of WUF-B

شکل ۳-۲۸- مقایسه گراف لنگر-چرخش بین نمونه CR-W , WUF-B شکل

Yuping Sun به بررسی رفتار لرزه ای اتصالات ستون درختی با اتصال جان پیچ شده وبال

جوش شده پرداخت. وی با توجه روش طراحی S-F (مقاومت معادل) که انتقال بار به صورت مستقیم

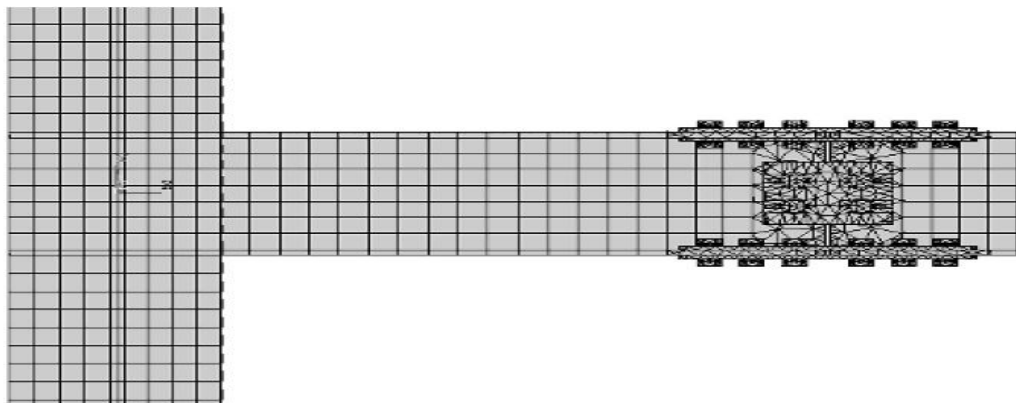
بوده است، روش طراحی ساده بوده و صرفه اقتصادی مواد و کوتاه شده زمان طراحی با توجه تئوری

المان محدود به شبیه سازی المان محدود پرداخته شده است که در شکل ۳-۲۹ مشاهده می شود. اساس

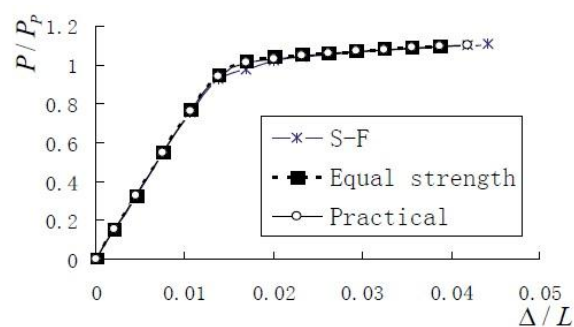
کار بر روی شبیه سازی المان محدود است وی با استفاده از روش طراحی بر اساس Cross Section

به محاسبه ورق وصله بال وجان را محاسبه نموده که با استفاده از پیچ های رده مقاومتی ۹,۱۰ و با

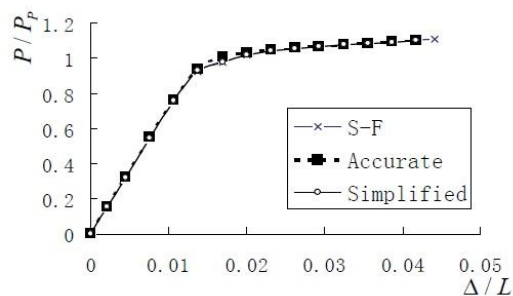
استفاده از ضریب اصطکاک با توجه به آیین نامه AISC2005 به بررسی المان محدود پرداخته است



شکل ۳-۲۹- مدل شبیه سازی شده در نرم افزار توسط Yuping



الف- روش طراحی مقاومت یکسان و روش طراحی کاربردی توسط Yuping



ب- روش طراحی دقیق و روش طراحی ساده شده

شکل ۳-۳۰- منحنی بار تغییر مکان تحت بار یکنواخت

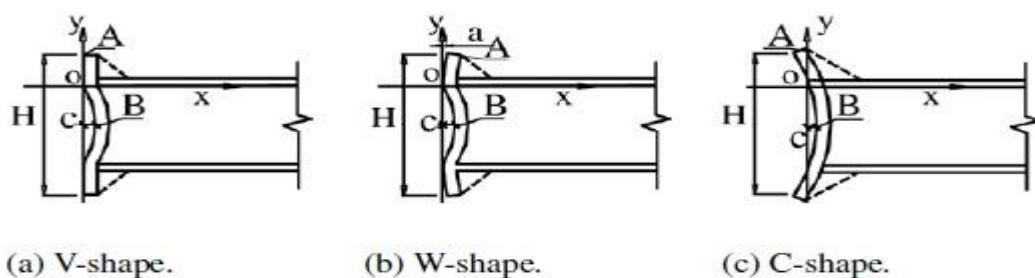
طی بررسی های انجام شده در این تحقیق بر روی سه روش طراحی واقعی، روش طراحی ساده شده مقاومت و روش S-F مطابق شکل ۳-۳۰، ۵ تفاوت بسیار کوچک در ظرفیت نهایی وجود داشت که در روش مقاوت برابر لغزش تحت بار رخ نداد اما در جابجایی نهایی در کمترین حالت خرابی در اتصال رخ

داد ولی در روش S-F لغزش زودتر اتفاق افتاده است و در جابجایی نهایی مقاومت در گسیختگی ۱۳,۶٪ بیشتر از حداقل مقدار در روش مقاومت بوده که روش بهتری به نظر می رسد [۱۶].

### ۳-۳- مروری بر تحقیقات پیشین در اتصالات فلنجی با نقص اولیه

Liu با بررسی اثرات نقص اولیه بر رفتار اتصالات ورق انتهایی فلنجی پرداخت. اساس تحقیقات Liu بر مبنای تحلیل اجزا محدود بر روی پیچ و فلنج در محدوده غیر خطی الاستوپلاستیک بوده است. وی اتصال تیر به ستون کاملاً صلب در نظر گرفته و دسته بندی نقص اولیه را بر اساس ضخامت فلنج در نظر گرفت، نقص اولیه ۲ میلیمتر تا ۴ میلیمتر برای ضخامت ۱۶ میلیمتر و میزان نقص ۳-۶ میلیمتری برای ضخامت ۲۰ میلیمتری را به عنوان رواداری در نظر گرفت. بررسی انجام شده میزان نقص و رواداری فوق نشان از حساسیت در نقص فلنج است و افزایش نیرو باعث افزایش نقص اولیه هندسی خواهد شد [۱۷].

Shiming chen , Gang Du در سال ۲۰۰۵ با بررسی بر روی نقص اولیه در اتصالات ورق انتهایی فلنجی پیچی که عمدتاً به علت تغییر شکلهای پسماند حاصل از جوشکاری بود پرداختند.



شکل ۳-۳۱- نقص اولیه در اتصال فلنجی ورق انتهایی گسترده

Du , Chen بر روی ۳۰ نمونه فلنجی مطالعات خود را انجام داد و نقص اولیه ورق فلنج گسترده را به سه دسته C-شکل , V-شکل , W-شکل مطابق شکل ۳-۳۱ دسته بندی کرد. در مدلسازی آزمایشگاهی تمامی مدل ها دارای ۸ پیچ ۲۰ از رده مقاومتی ۱۰,۹ بوده که با نیروی ۱۵۵ KN مطابق شکل ۳-۳۲ پیش تنیده شده است . بار منوتونیک به صورت مرحله ای اعمال شده که در هر مرحله ۱۰ KN افزایش می یابد تغییر مکان ها در ۱۰ میلیمتر افزایش جابجایی در انتهای تیر کنترل شده

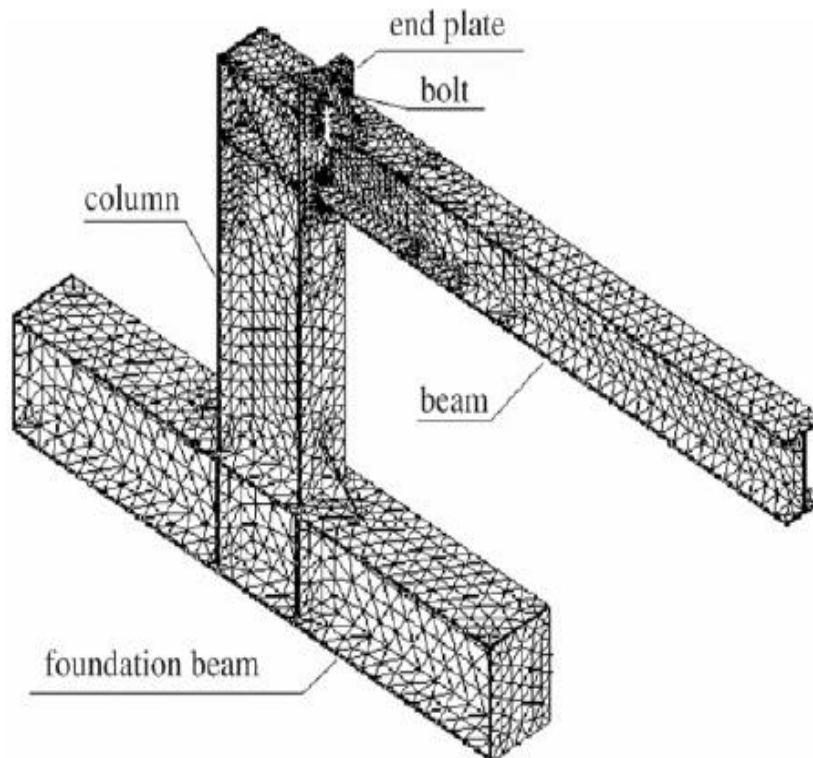
است و این افزایش نیرو تا زمان جاری شدن مدل ادامه خواهد داشت. مدلسازی عددی شکل ۳-۳۳ در نرم افزار Ansys به صورت خطی و با المان های Solid انجام شده است .



شکل ۳-۳۲-مدلسازی آزمایشگاهی نقص اولیه در اتصال ورق انتهایی فلنجی

طبق بررسی انجام شده توسط Chen و Liu کمترین میزان تاثیر بروی نمونه V-شکل بوده و حداکثر میزان تاثیر بر روی سختی دورانی نمونه C-شکل خواهد بود افزایش ضخامت باعث کاهش چشمگیر در سختی دورانی اتصال مورد نظر خواهد بود . برای نقص هندسی در نمونه V-شکل بارگذاری اثر کمتری نسبت به حد مجاز تعیین شده آیین نامه چین دارد. نقص اولیه W-شکل محدود به آیین نامه چین

قبول خواهد بود . اثر سختی دورانی بر نقص اولیه C-شکل طبق رواداری میزان نقص اولیه قابل قبول خواهد بود [۱۸].

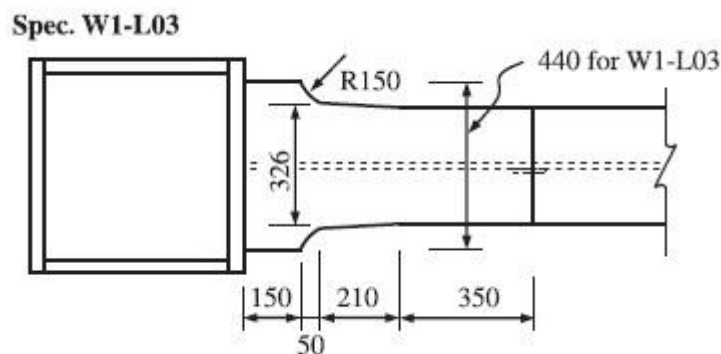


شکل ۳-۳۲-مدلسازی عددی نقص اولیه در اتصال فلنجی

در این پایان نامه برای مدلسازی عددی از نرم افزار اجزای محدود غیر خطی ABAQUS 6-13 برای استفاده شده است. در ادامه شرح مختصری درباره هندسه مدل ها، المان های بکار گرفته شده مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی، نحوه مش بندی، شرایط مرزی و تکیه گاه ها داده شده است [۲۱].

## ۴-۱- طراحی نمونه‌ها

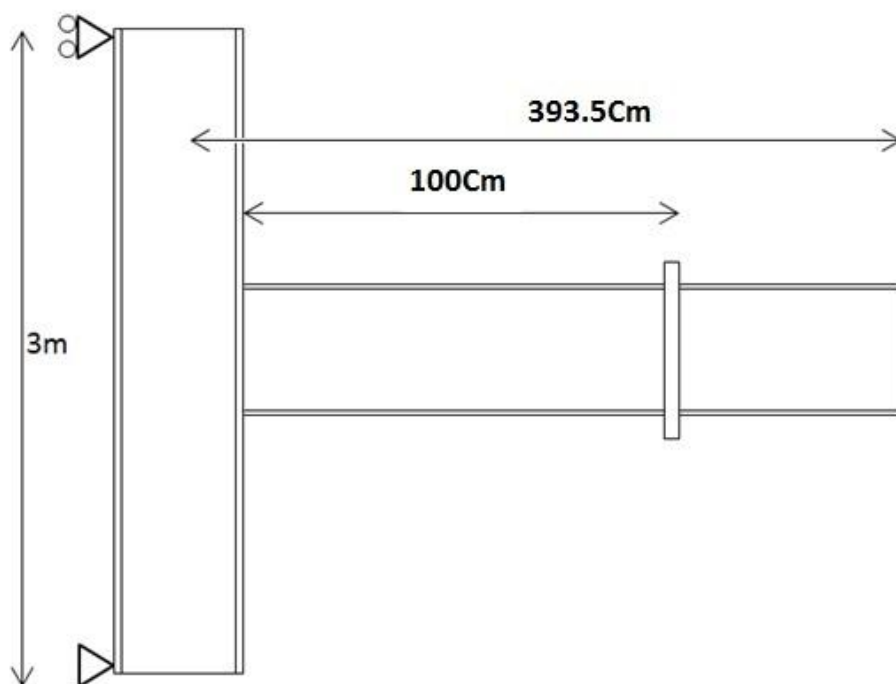
شکل ۴-۱ یک اتصال عریض شده و مخروطی شعاعی در بال تیر را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- اتصال

در مدل سازی با استفاده از یک تیر با بال مخروطی شده که طول عریض شدگی نمونه انتخاب شده بر اساس نمونه W1-L03 از مدل آزمایشگاهی Cheng [۱۲] استفاده شده که با مشخصات شکل ۴-۱ مطابقت دارد. ابعاد کلی اتصال در شکل ۴-۲ مشاهده می شود. در این مدل سازی ستون دارای اتصال گیر دار بوده. مقاطع تیر I با مشخصات  $H700 \times 300 \times 13 \times 24$  میلیمتر و ستون قوطی به طول و عرض ۵۵ سانتیمتر و ضخامت ۲,۸ سانتیمتر به کار گرفته شده در جهت مهار جانبی تیر و محدود کردن حرکت آن به بالا و پایین در یک صفحه عمودی فرضی، مهار جانبی به فاصله ۱,۵ متر از بر ستون اعمال گردید. فلنج مورد استفاده به ابعاد  $1000 \times 500 \times 3$  که با ۲۰ پیچ پر مقاومت به روش ۴ پیچ اجرا شده است.





شکل ۴-۲- مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه

#### ۴-۲- مدل‌سازی و تحلیل اجزاء محدود

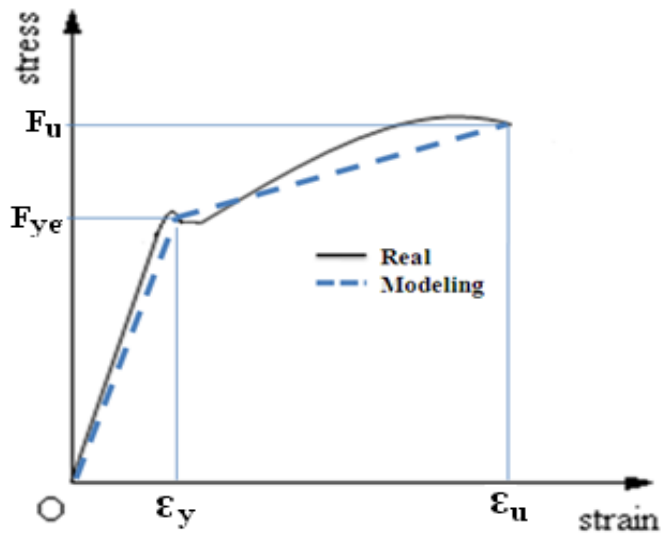
تحلیل‌ها با استفاده از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS [۲۰] انجام گرفت. این نرم افزار قادر به در نظر گرفتن تغییر شکل‌های بزرگ غیر خطی به همراه غیر خطی هندسی و مصالح در حالت تحلیل سه بعدی است. برای مدل‌سازی تیر و ستون از المان برای مقاطع فولادی به کار رفته در این پروژه از فولاد نوع A36 و با مقاومت تسلیم  $2400 \text{ kg/cm}^2$  و مقاومت نهایی  $3700 \text{ kg/cm}^2$  استفاده گردید. برای مدل کردن رفتار فولاد و جوش از مدل تنش کرنش دوخطی استفاده شده است. منحنی رفتار تنش-کرنش دوخطی مصالح در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. مشخصات رفتار دوخطی فولاد توسط نتایج نمونه‌های استاندارد تهیه شده از نمونه‌های آزمایشگاهی تعیین شده است. قانون سخت‌شوندگی در نظر گرفته شده، قانون سخت‌شوندگی جنبشی می‌باشد و معیار تسلیم فون میسز<sup>۱</sup> و با ضریب پواسون<sup>۲</sup> ۰٫۳ انجام گرفت در نظر گرفته شده است مدل‌سازی رفتار فولاد با استفاده از منحنی فولاد دو خطی با

<sup>۱</sup> Von mises

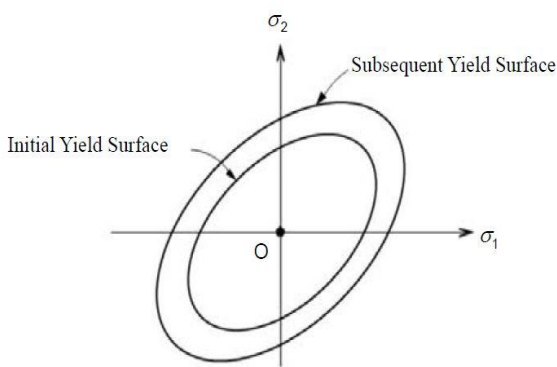
2. poisson's ratio



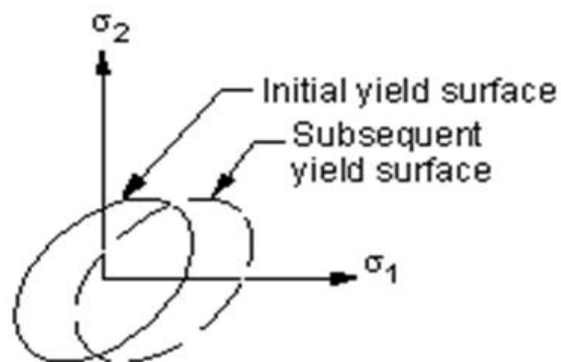
سخت شوندگی سینماتیک<sup>۱</sup> استفاده گردید که در شکل ۴-۴ مشاهده میشود. عملکرد نمونه‌ها در این سری تحلیل‌ها به صورت جدول با یکدیگر مقایسه و نهایتاً طرح ایده آل بر اساس معیارهای فوق‌الذکر انتخاب می‌گردد.



شکل ۴-۳ - مقایسه نمودار تنش- کرنش واقعی و تئوری مصالح



سخت شدگی ایزوتروپیک



سخت شدگی جنبشی

شکل ۴-۴ - سخت شوندگی کرنشی

1. kinematic hardening

ویژگی مصالح به کار رفته در مدلسازی در نرم افزار المان محدود Abaqus بر مبنای مدل آزمایشگاهی chen [۱۲] برای مدلسازی مصالح پیچ از ضوابط آیین نامه AISC2005 [۶] استفاده و از پیچ و مهره پر مقاومت با رده مقاومتی ۱۰,۹ استفاده است.

#### ۴-۳- المان مورد استفاده در مدلسازی

در نرم افزار المان محدود ABAQUS از المان های مختلفی می توان برای مدلسازی استفاده نمود. شاید بتوان گفت یکی از مهمترین مراحل مدلسازی اجزاء محدود، کاربرد المان مناسب می باشد. در نرم افزار ABAQUS هر المان دارای یک اسم منحصر به فرد می باشد. نام المان مورد استفاده در مدل های اجزای محدود این پایان نامه، C3D8I است که بیانگر پنج ویژگی است :

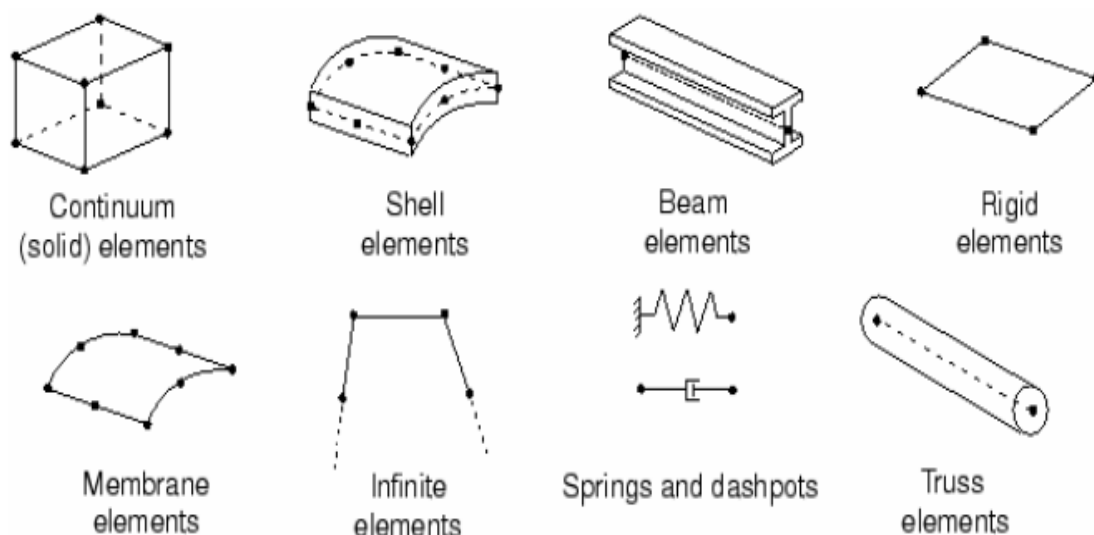
- خانواده: اولین حرف که در نام یک المان مشاهده می شود، بیانگر خانواده آن المان است. در المان C3D8I حرف C بیانگر این است که این المان از خانواده Continuum یا Solid می باشد.  
در شکل (۴-۵) انواع المان های موجود در ABAQUS که در مسائل تحلیل تنش کاربرد دارند، نشان داده شده است.

- درجات آزادی : یکی از متغیرهای اصلی در تحلیل اجزای محدود، درجات آزادی می باشد. در المان C3D8I عدد ۳ بیانگر این است که هر گره از این المان دارای ۳ درجه آزادی می باشد (هر گره می تواند در ۳ جهت اصلی جابجا شود).

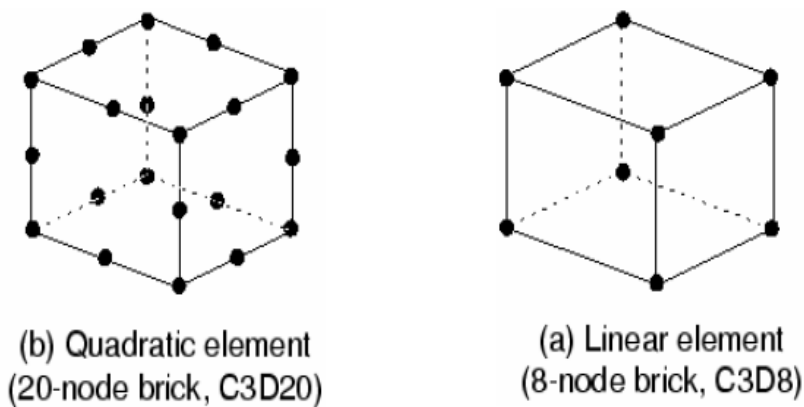
- تعداد گره ها : المان C3D8I، ۸ گره دارد (فقط در گوشه های خود دارای گره می باشد). در نتیجه این المان از میان یابی خطی در هر جهت استفاده می کند و از این رو المان خطی یا مرتبه اول نامیده می شود (شکل ۴-۶-الف). المان هایی که دارای گره در وسط هر لبه خود نیز می باشند مانند المان

C3D20 که در شکل ۴-۶-ب نشان داده شده است، از میان یابی سهموی ( مرتبه دوم ) استفاده می

کنند و از این رو به این المان ها سهموی یا مرتبه دوم می گویند.



شکل ۴-۵- انواع المان های موجود در ABAQUS



(ب)

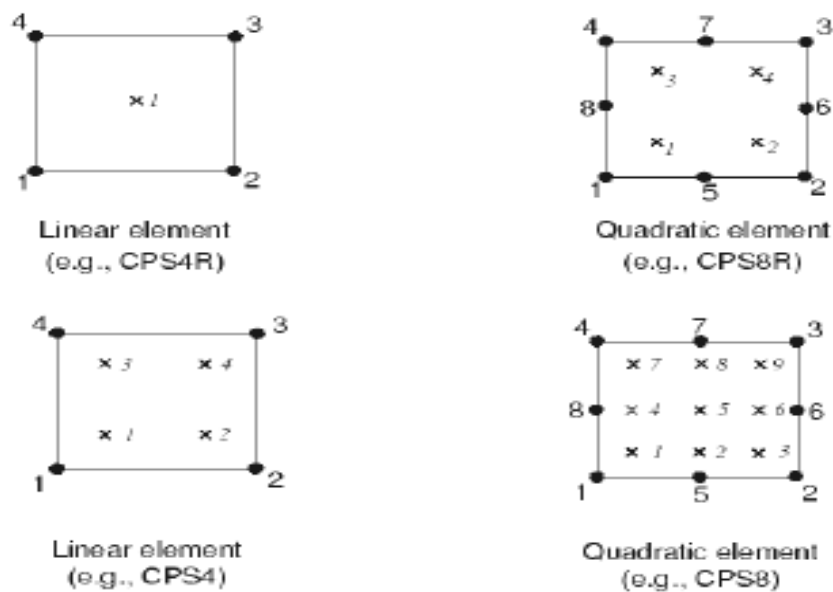
(الف)

شکل ۴-۶- المان های سه بعدی الف ( ۸ گرهی ب ) ۲۰ گرهی

- فرمول بندی ( Formulation ) : فرمول بندی یک المان به تئوری ریاضی تعیین رفتار المان باز می گردد. همهی المان های مورد استفاده در تحلیل تنش - تغییر مکان از فرمول بندی لاگرانژ استفاده

می کنند. در این نوع فرمول بندی، ماده داخل المان تا انتها، داخل المان باقی می ماند و نمی تواند از مرز المان خارج شود.

- انتگرال گیری (Integration): نرم افزار ABAQUS از روش های عددی جهت انتگرال گیری کمیت های مختلف در حجم یک المان استفاده می کند. رفتار ماده را در هر Integration Point یک المان با استفاده از روش مربع سازی گوس محاسبه می کند. مرتبه المان (خطی یا مرتبه دوم) و نحوه انتگرال گیری روی دقت جواب در یک تحلیل تنش-تغییر مکان تأثیر می گذارد. بسیار واضح است که هر قدر تعداد نقاط گوس بیشتر باشد، حل عددی دقیق تر خواهد بود. شکل ۴-۷ نقاط گوس را در المان دو بعدی نشان می دهد.



شکل ۴-۷- تعداد نقاط گوس در المان دو بعدی

گزینه های موجود برای نحوه انتگرال گیری در ABAQUS عبارتند از:

الف) انتگرال کامل<sup>۱</sup>

ب) انتگرال کاهش یافته<sup>۲</sup>

<sup>1</sup> Fully Integration

<sup>2</sup> Reduced Integration

## پ ( مدهای ناسازگار ۱

برای تحلیل تنش - تغییر مکان در مکان‌هایی از مدل که در آنها خمش همراه با تغییر شکل وجود دارد، بهترین گزینه، مدهای ناسازگار می باشد.

گزینه انتگرال کاهش یافته کمی سختی مصنوعی برای المان ها در نظر می گیرد در این حالت، برای بالا بردن دقت جواب ها بایستی المان ها را ریزتر کرد. المان هایی که با این گزینه انتگرال گیری می شوند، تحمل زیادی در برابر اعوجاج دارند.

در مکان‌هایی از مدل که خمش در آنها زیاد است، استفاده از گزینه انتگرال کامل زیاد قابل اطمینان نمی باشد. چرا که تحت تنش های پیچشی، المان هایی که با این گزینه انتگرال گیری می شوند، قفل می شوند و در آنها سختی کاذب ایجاد می شود و در نتیجه سختی آنها افزایش می یابد. همچنین قفل شدگی برشی کارآیی این المان ها را در برابر بارهای خمشی کاهش می دهد.

در المان C3D8I حرف I بیانگر این است که در این المان از گزینه مدهای ناسازگار استفاده می شود. این روش انتگرال گیری جهت غلبه بر قفل شدگی برشی که ناشی از عدم توانایی میدان جابجایی المان در مدلسازی سینماتیک خمش می باشد، درجات اضافی که گرادیان تغییر شکل المان را افزایش می دهند، به المان های مرتبه اول الحاق می کند. این افزایش گرادیان تغییر شکل، سبب می شود که یک المان مرتبه اول بتواند دارای تغییرات خطی گرادیان تغییر شکل در فضای المان باشد. المان های مرتبه اول که از روش مدهای ناسازگار استفاده می کنند، در مسائل خمش نتایجی تولید می کنند که می توان آنها را با نتایج بدست آمده از المان مرتبه دوم مقایسه کرد، با این تفاوت که وقت صرف شده در این المان های مرتبه اول کمتر است. همچنین المان هایی که با روش مدهای ناسازگار انتگرال گیری

---

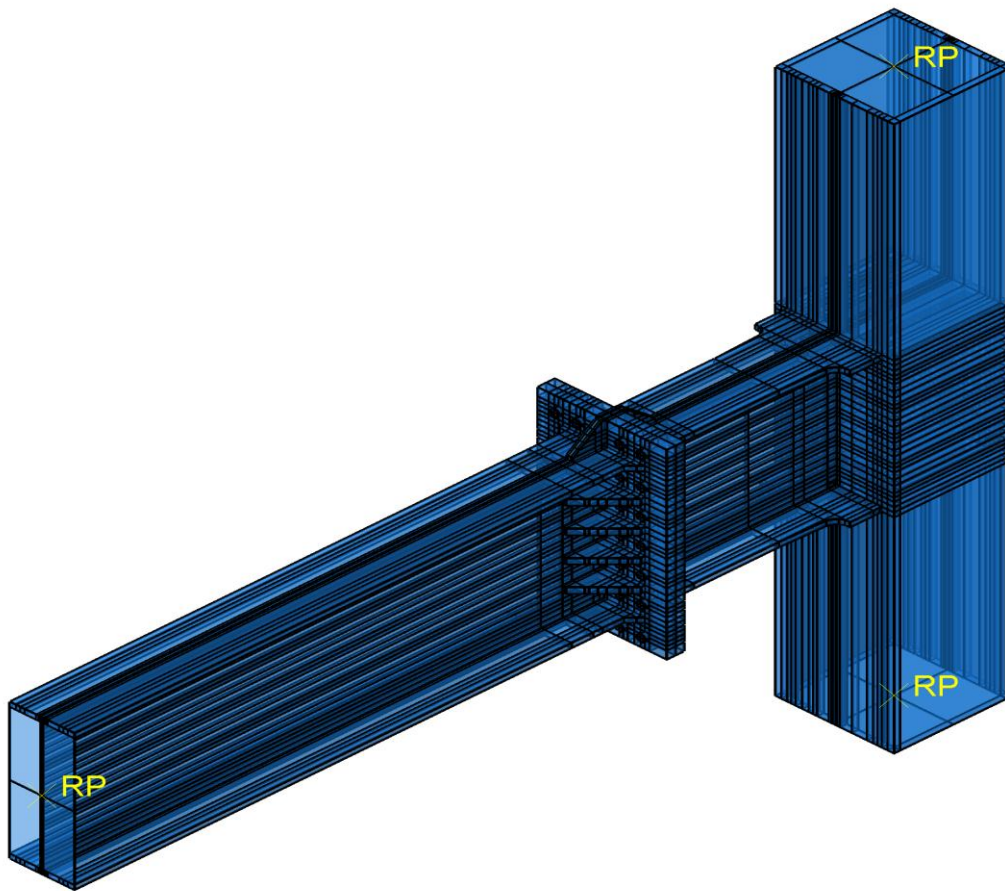
<sup>1</sup> Incompatible Modes

می‌شوند، به اعوجاج حساس می‌باشند و تنش برشی اضافی که سبب سخت تر شدن غیر واقعی المان در خمش می‌شود، در آن‌ها حذف می‌شود [۲۵].

#### ۴-۴- مش بندی مدل‌ها

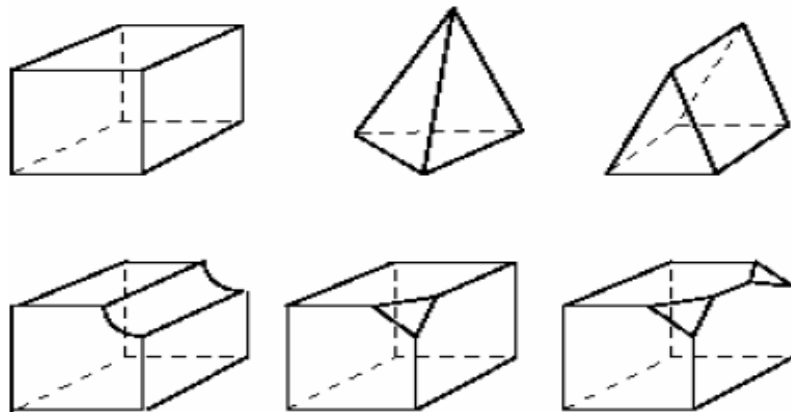
در نرم افزار ABAQUS روش‌های مختلفی برای مش بندی مدل وجود دارد. یک مدل را می‌توان به صورت Free یا به صورت دستی مش بندی کرد. در حالت Free نرم افزار به صورت اتوماتیک اجزای مدل را مش بندی می‌کند که ممکن است منجر به ایجاد المان‌های نامناسب شود و پاسخ درست را در نهایت ندهد. با توجه به اینکه در مدل‌ها تکنیک مش بندی بسیار مهم است، تمامی مدل‌ها به صورت دستی مش بندی شده‌اند. بهترین تکنیک مش بندی در روش دستی، Structure می‌باشد چرا که کاربر بیشترین کنترل را بر المانها دارد. در این تکنیک اجزای مدل بایستی قبل از مش بندی مطابق

شکل ۴-۸ به طور دقیق پارتیشن‌بندی شوند تا مدل به اشکال ساده‌تری تبدیل شود.

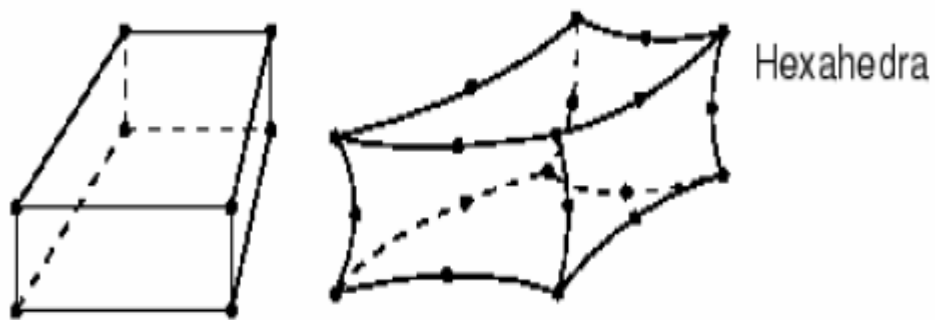


شکل ۴-۸- مدل سه بعدی پارتیشن‌بندی شده مدل قبل از تعریف سطح و مش بندی

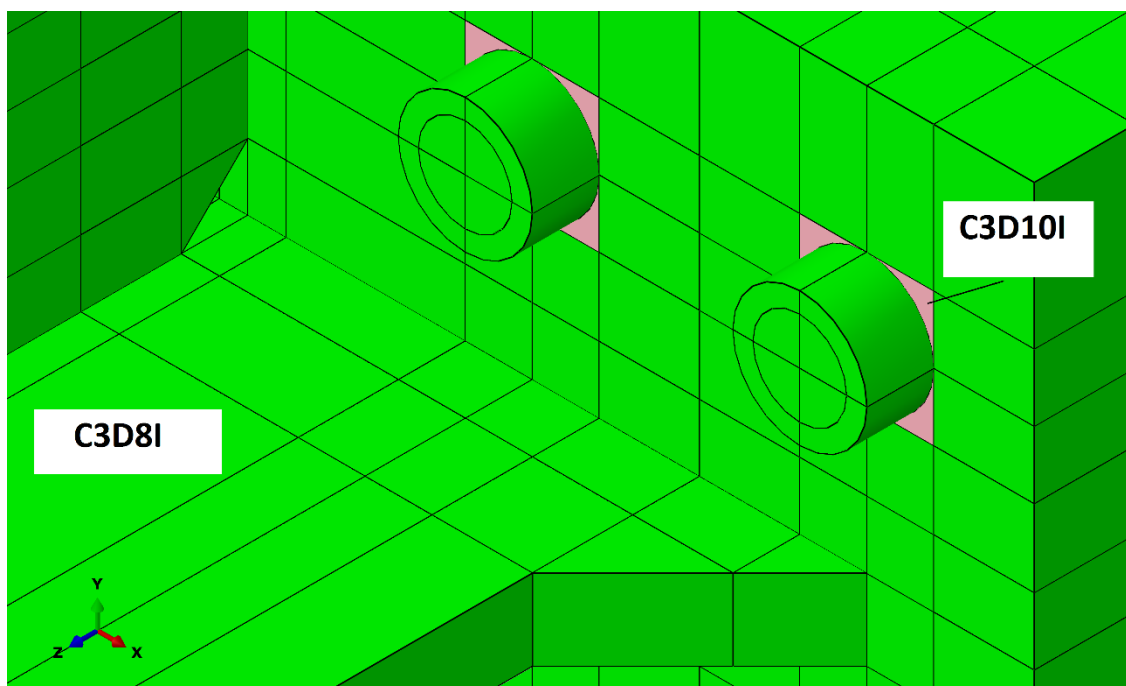
اشکال سه بعدی که مش Structure می‌خورند در شکل ۴-۹ نشان داده شده‌اند. در المان C3D8 بهترین شکل المان مش‌بندی در تکنیک Structure از نوع Hex می‌باشد که در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است. اما از آنجایی که در برخی از قطعات مانند فلنج و پیچ‌ها که از لحاظ هندسی نامنظم بوده و امکان مش‌بندی به صورت Structure نمی‌باشد مطابق شکل ۴-۱۱ می‌توان بصورت Free و از مش C3D10 مش‌بندی کرد.



شکل ۹-۴ اشکال سه بعدی با مش Structure



شکل ۱۰-۴- بهترین شکل المان مش بندی در تکنیک Structure



شکل ۱۱-۴- نمونه با مش همزمان با مش C3D10I و C3D8I



#### ۴-۵- تعریف سطح تماس

در مدل سازی سه مدل سطح تماس تعریف شد ، سطح تماس برای سطوح که تنها انتقال نیرو را انجام میدهند

در مدل سازی سه سطح تعریف میشود:

سطوح اصطکاکی

سطوح فاقد اصطکاک

سطوح به هم جوش شده

برای تعریف سطوح فوق بایستی نوع اصطکاک موجود در سطح را تعریف کنیم که دارای چه میزان اصطکاک است. به این منظور از دو گونه رفتار تانژانتی و رفتار معمولی استفاده میشود. در رفتار تانژانتی سطح اصطکاک ، روش اعمال اصطکاک نرخ تغییر اصطکاک و ضریب اصطکاک تعریف میشود. در رفتار معمولی رفتار فاقد اصطکاک وسختی سطح را تعریف می کنیم. در سطوحی که به هم جوش شده و چسبیده اند با تعریف میزان سختی این اتصال بین سطوح و تعریف درجه آزادی چرخشی روش تحلیل مدلسازی می شود. در تماس سخت، هنگامی که سطوح با هم در تماس هستند، می توانند به هم فشار وارد کنند.

#### ۴-۶- تعریف بارگذاری

این بخش شامل اختصاص دادن قیدهای لازم به تکیه گاه های مدل مورد نظر و همچنین بارگذاری بر روی نمونه ها می باشد.

#### ۴-۶-۱- شرایط مرزی مدل ها

انتهای ستون: در قسمت پایینی ستون قوطی شرایط مرزی به گونه ای تعریف شده تا از حرکت در جهت قائم ، افقی و هم در جهت عمود بر صفحه جلوگیری به عمل آید که در اصطلاح تکیه گاه از نوع

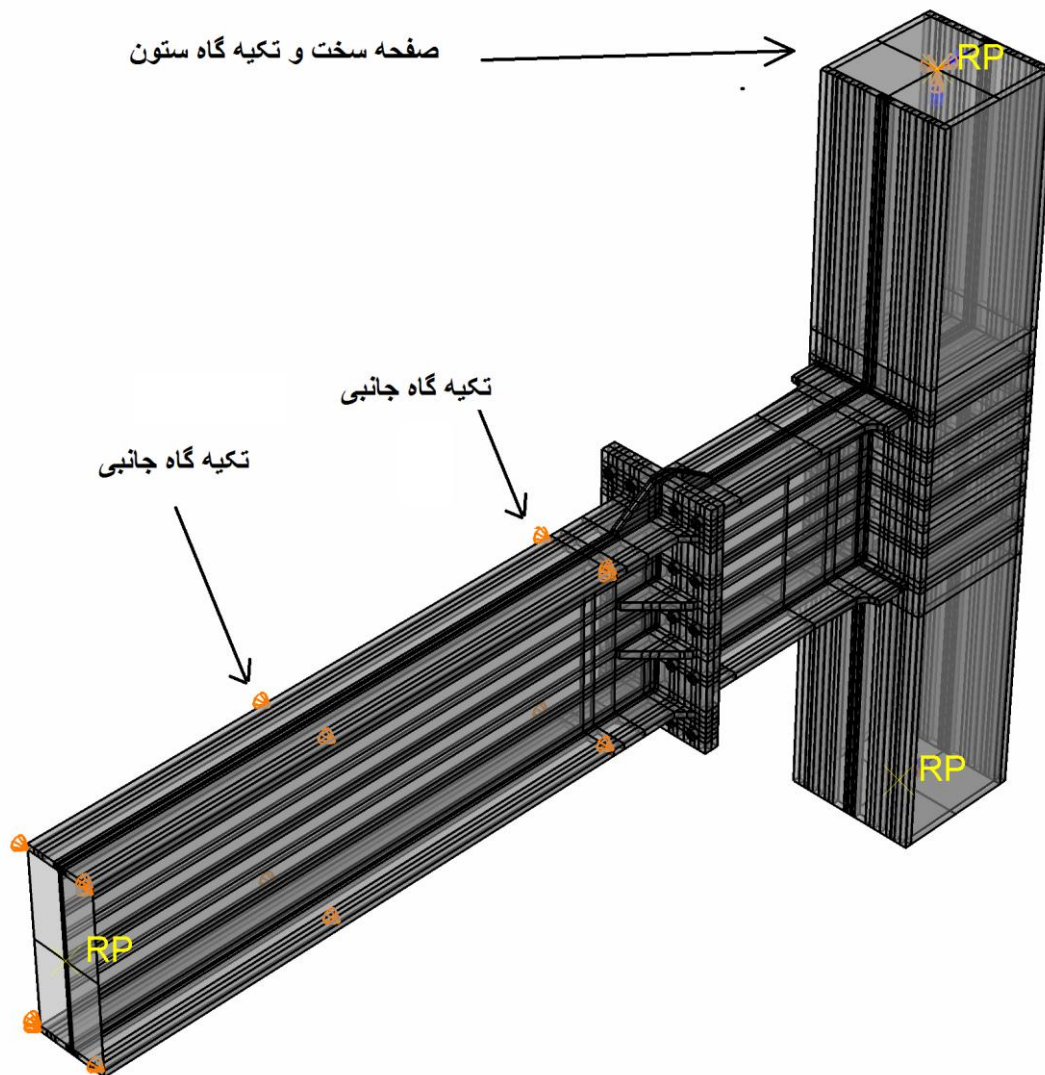
مفصلی پین شده باشد. در این تکیه گاه فقط حرکت دورانی حول محور عمود بر صفحه آزاد می باشد. برای این کار از یک صفحه صلب جهت عدم تمرکز تنش در نقاط تکیه گاهی ستون استفاده شده که این صفحه به لبه مقطع ستون Tie شده است .

بالای ستون: در قسمت بالایی ستون قوطی شرایط مرزی به گونه ای تعریف شده که حرکت در جهت قائم آزاد باشد ولی از حرکت در جهت افقی و در جهت عمود بر صفحه جلوگیری به عمل آید که در اصطلاح تکیه گاه از نوع مفصلی غلطکی باشد. برای این کار از یک صفحه صلب جهت عدم تمرکز تنش در نقاط تکیه گاهی ستون استفاده شده که این صفحه به لبه مقطع ستون Tie شده است .

انتهای تیرها: بارگذاری سیکلی به انتهای تیر طره وارد می شود. 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 .

تکیه گاه جانبی تیرها: برای جلوگیری از کمانش جانبی - پیچشی تیر، تعدادی از گره های کناری بال تیر در انتهای تیر و در محل اتصال فلنج ها و در فواصل میانی تیر در جهت عمود بر صفحه مقید شده اند. در شکل ۴-۱۲ نمونه ای از اختصاص شرایط تکیه گاهی و تکیه گاه های جانبی بر روی نمونه را

نشان داده شده است

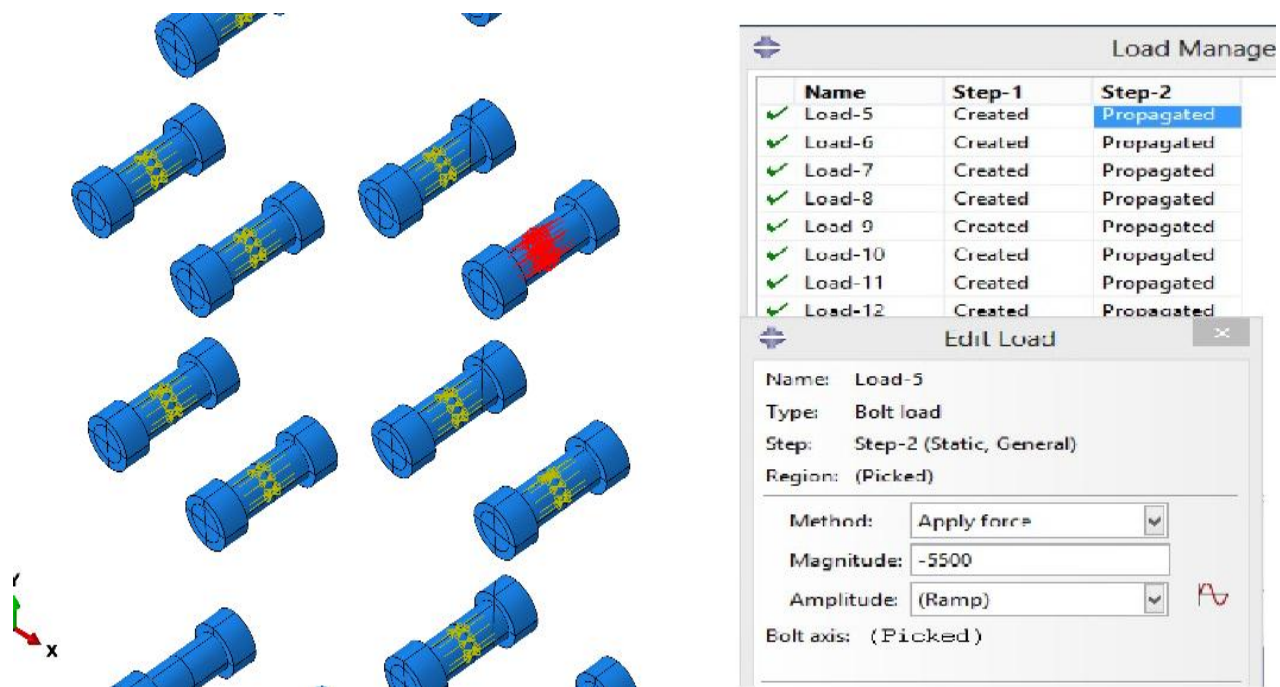


شکل ۴-۱۲- نحوه اختصاص تکیه‌گاه به نمونه‌ها

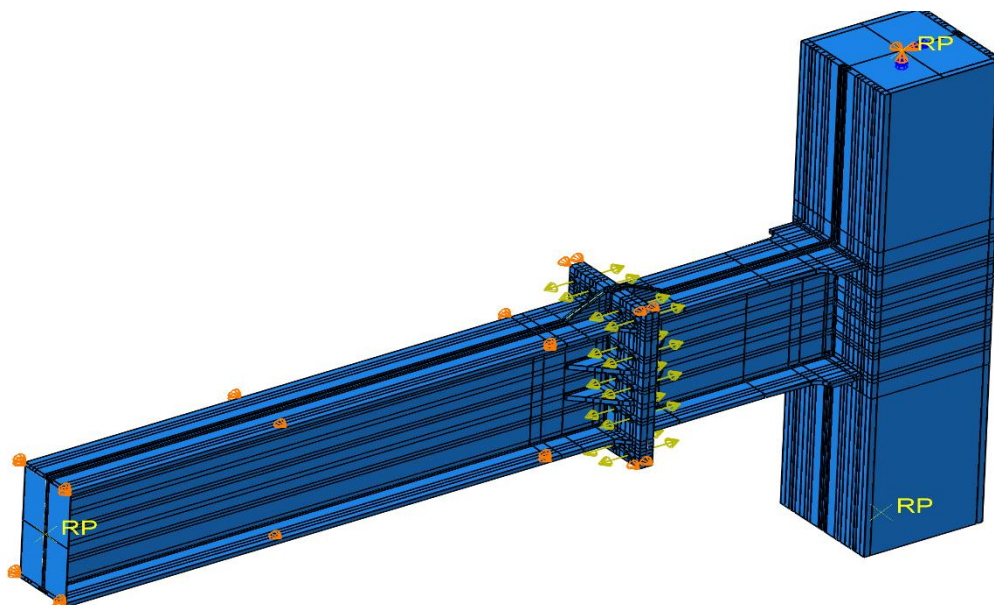
#### ۴-۶-۲- بارگذاری روی مدل

بارگذاری مدلها در دو مرحله انجام خواهد شد در هر مرحله اول بارگذاری بایستی بارگذاری پیچ را انجام و در مرحله دوم بار استاتیکی اعمال می شود. بارگذاری اعمال شده در پیچ ها به صورت bolt load بوده به این صورت که طبق آیین نامه AISC2005 نیروی کششی اعمال شده برای پیش تنیدگی باید دارای نیروی 155KN باشد تا نیروی کششی لازم را در پیچ های پر مقاومت را تامین کند. در بارگذاری پیچ راستای اعمال نیرو که در امتداد محور پیچ بوده و محل اعمال کل نیرو بر روی بدنه پیچ است و در

نهایت جهت اعمال نیروی پیش تنیدگی که به دو صورت درونگرا کششی و برونگرا فشاری اعمال میشود. شکل ۴-۱۳ و شکل ۴-۱۴ نشاندهنده اعمال بار پیچ پیش تنیده است که بار کششی را به صورت درونگرای کششی به پیچ اعمال میشود.



شکل ۴-۱۳- نحوه اعمال بار bolt load در هر پیچ

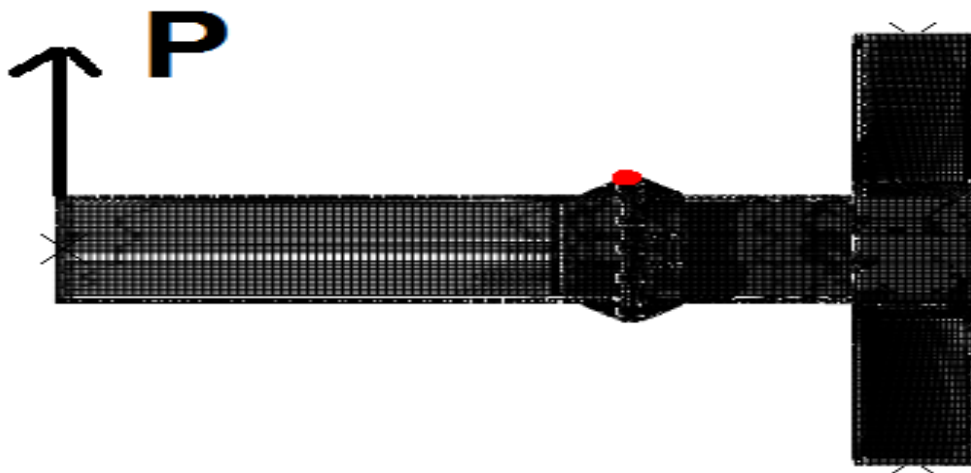


شکل ۴-۱۴- نحوه اعمال بار bolt load به صورت شماتیک

مرحله دوم اعمال بار استاتیکی سیکلی به انتهای تیر است که مطابق شکل ۴-۱۵ و ۴-۱۶ به انتهای تیر طره وارد شده است. بار اعمالی مطابق جدول ۴-۱ به انتهای تیر وارد می شود.

جدول ۴-۱- نحوه اعمال تغییر مکان انتهای تیر

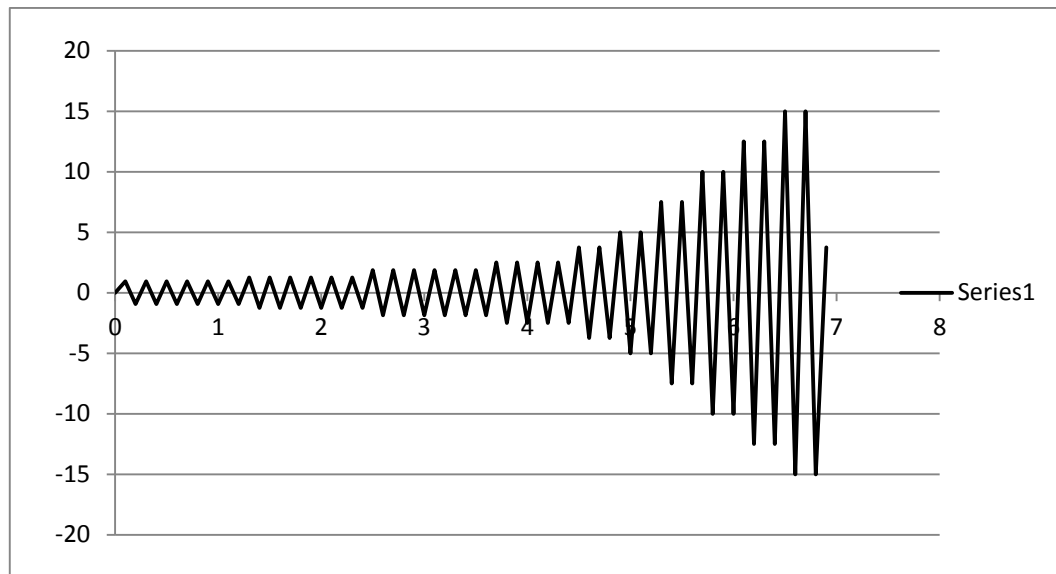
Load step #	Total inter-story Drift angle (radian $\times 10^{-2}$ )	Number of load cycles	Beam end Displacement (cm)
۱	۰,۳۷۵	۶	$\pm 1,۳۵$
۲	۰,۵	۶	$\pm 1,۸$
۳	۰,۷۵	۶	$\pm ۲,۷$
۴	۱	۴	$\pm ۳,۶$
۵	۱,۵	۲	$\pm ۵,۴$
۶	۲	۲	$\pm ۷,۲$
۷	۳	۲	$\pm ۱۰,۸$
۸	۴	۲	$\pm ۱۴,۴$
۹	۵	۲	$\pm ۱۸$
۱۰	۶	۲	$\pm ۲۱,۶$



شکل ۴-۱۵- نحوه اعمال بار استاتیکی بصورت جابجایی در انتهای تیر

همانگونه که از جدول مشاهده می شود، این نوع بارگذاری بر اساس زاویه چرخش محل اتصال تیر به ستون تعریف می شود که البته این چرخش را می توان بر اساس تغییر مکان انتهای آزاد تیر تعریف کرد، به گونه ای که در هر مرحله از بارگذاری تغییر مکان اعمال شده، دوران تعریف شده در آن مرحله

را ایجاد کند. این نوع بارگذاری تا مرحله‌ای ادامه می‌یابد که در آن، مدل مورد نظر وارد مرحله رفتار پلاستیک شود تا بتوان در آن مرحله رفتار لرزه‌ای اتصال را به خوبی مورد ارزیابی قرار داد. آیین نامه بار گذاری چرخه‌ای اعضا فولادی همچنین تصریح می‌کند برای اتصالات تیر به ستون مورد نظر، رسیدن به دوران ۰,۰۶ رادیان رفتار پلاستیک اتصال را به خوبی تضمین می‌کند.



شکل ۴-۱۶- نمودار بارگذاری چرخه‌ای

#### ۴-۶- روش های تحلیل

در این پایان نامه، تحلیل غیرخطی انجام شده است. تحلیل غیرخطی انجام شده شامل تحلیل غیرخطی مصالح و تحلیل غیرخطی هندسی می باشد.

تحلیل غیرخطی مصالح: غیرخطی بودن مصالح به حالتی اطلاق می‌شود که با رسیدن به یک سطح تنش معلوم، کرنش برگشتناپذیر می‌شود. کرنش پلاستیک در این حالت به مقدار تنش و تاریخچه تنش بستگی دارد. تحلیل غیرخطی هندسی: از جمله عواملی که باعث غیرخطی شدن تحلیل مسائل می‌شود تغییرشکل‌های بزرگ است. در مواردی مانند کمانش، تغییرشکلها بقدری بزرگ هستند که معادلات تعادل باید برحسب هندسه تغییرشکل یافته تشکیل داده شوند. هندسه مدل به روشهای گفته شده در بخش های قبل ایجاد می شود

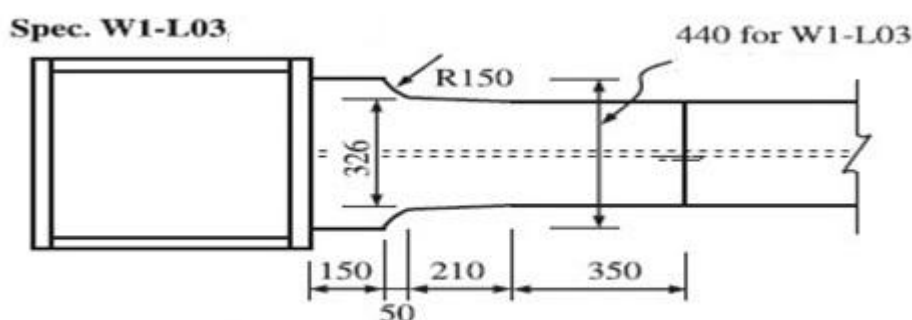
## فصل پنجم: نتایج حاصل از مدل های عددی

## مقدمه

در این فصل به معرفی مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار آباکوس پرداخته، معیارهای انتخاب پارامتر بهینه را شرح می‌دهیم و به ارزیابی و مقایسه رفتار نمونه‌ها بر اساس پارامترهای ذکر شده خواهیم پرداخت.

### ۵-۱- معرفی مدل پیشنهادی

در این بخش به بررسی اتصال پیشنهادی مدل آزمایشگاهی chen [۱۲] پرداخته شده است این اتصال با تقویت در وجه خارجی تیر به ستون است. Chen ۷ مدل آزمایشگاهی را مورد بررسی قرار داده است که نمونه W1-L03 به علت رفتار لرزه ای و توزیع تنش بهتر، به عنوان نمونه مرجع انتخاب شده است. شکل ۱-۷ نشان‌دهنده اجزا تشکیل دهنده این اتصال است که ستون باکس به طول و عرض ۵۵ سانتیمتر و ضخامت ۲٫۸ سانتیمتر است و تیر I با مشخصات  $H700 \times 300 \times 13 \times 24$  میلیمتر و در بخش تقویت شده اتصال عریض شدگی به طول ۱۵ سانتیمتر و عرض ۴۴ سانتیمتر بوده است

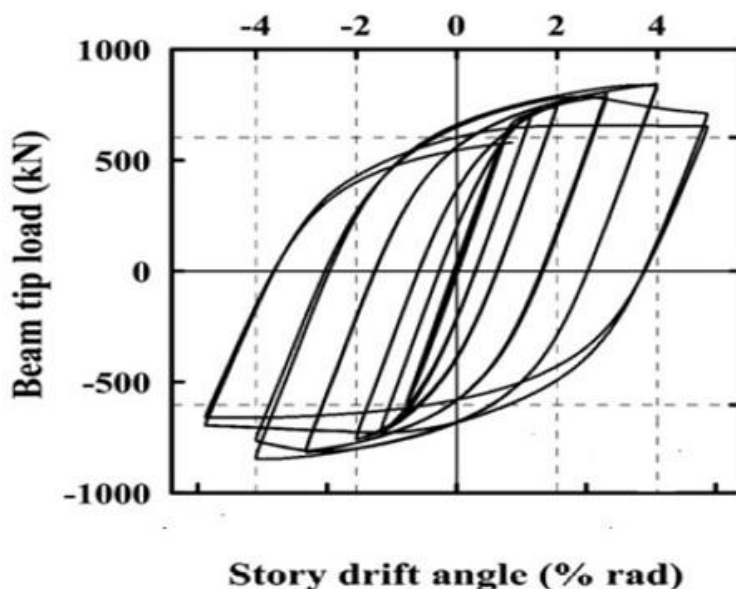


شکل ۵-۱- شکل نمونه W1-L03 در مدل آزمایشگاهی Chen

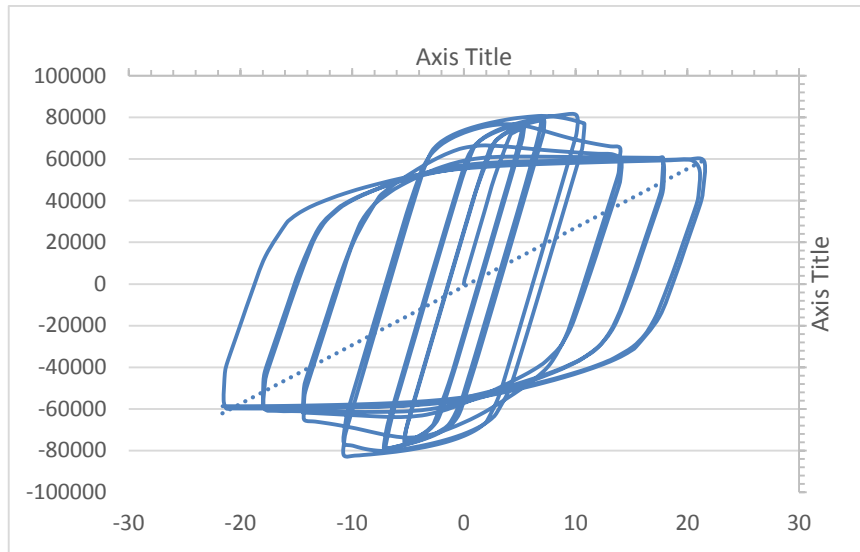


## ۲-۵- بررسی صحت سنجی اتصال تیر به ستون

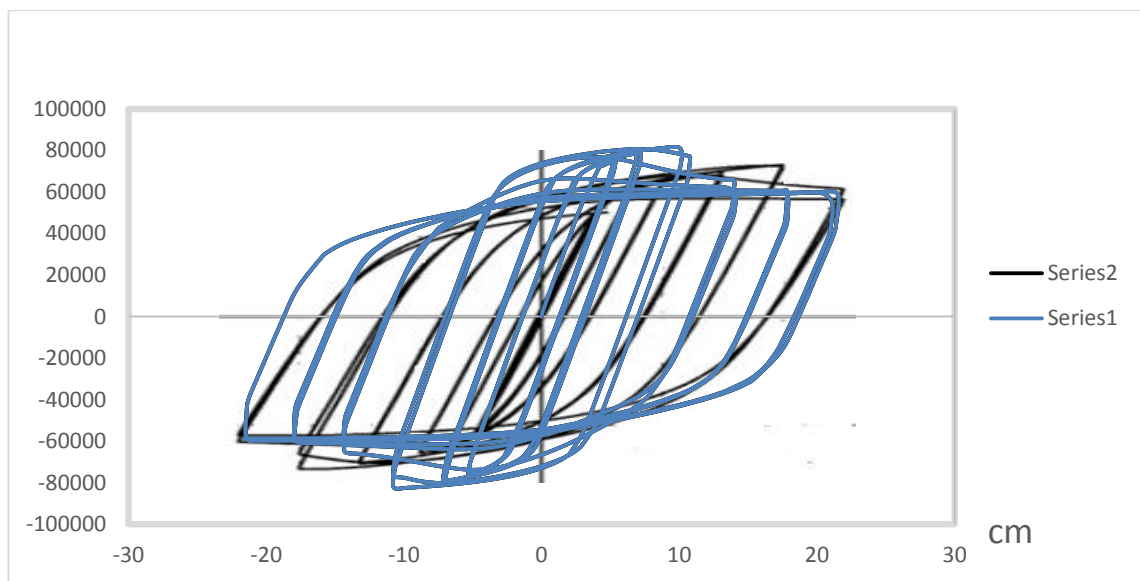
جهت صحت سنجی مدل مورد استفاده واقع شده است نخست مدل مطالعه شده توسط chen و همکاران است که بر روی نمونه ای ستون درختی تحت عریض شدگی بال در وجه اتصال بال تیر به بال ستون باکس (نمونه W1-L03) است، بارگذاری در این نمونه به صورت چرخه ای صورت گرفته و نمودار تغییر مکان-جابجایی نمونه در شکل ۲-۵ باید طبق آیین نامه فولاد اتصال به دوران  $0,04$  رادیان و  $80\%$  از ظرفیت لنگر پلاستیک خود رسیده است [۱۱]. جهت تایید مدل سازی اجزا محدود این پایان نامه و اعمال ناکاملی ها بر روی جوش نفوذی بال تیر به بال ستون باکس مقایسه انجام شده است نمودار بار-تغییر مکان مدل آزمایشگاهی Chen است که در شکل ۳-۵ مشاهده میشود. مدل سازی انجام شده در نرم افزار المان محدود Abaqus6.13 انجام پذیرفته است در شکل ۵-۵ تغییر شکل یافته مدل، در تنش های فن میسز، شکل ۶-۵ تغییر شکل های پلاستیک اتصال مشاهده میشود. بررسی بر روی تطابق و صحت سنجی دو اتصال آزمایشگاهی و اتصال مدل عددی در شکل ۴-۵ نشان داده شده است.



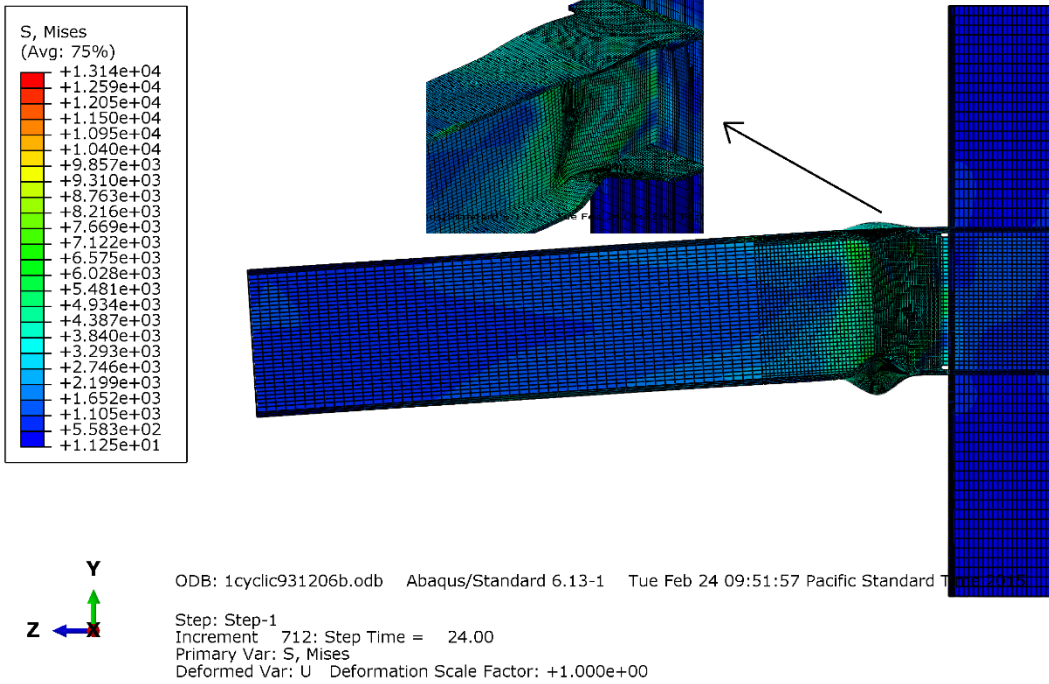
شکل ۲-۵ نمودار تغییر مکان-بار در نمونه W1-L03



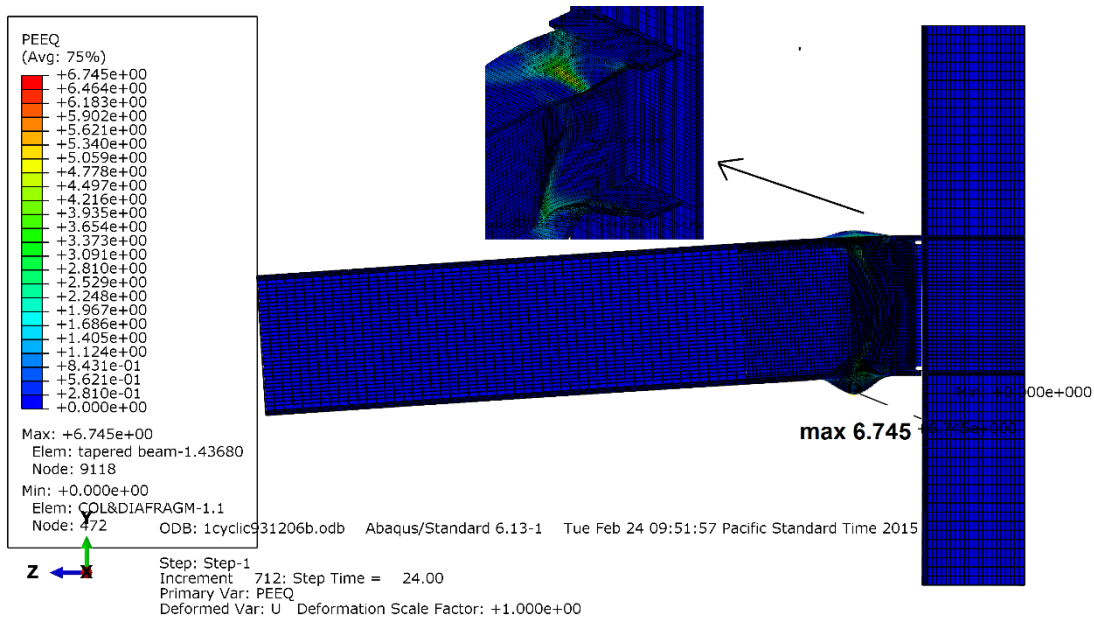
شکل ۳-۵ نمودار تغییر مکان-بار در نمونه W1-L03



شکل ۴-۵ نمودار تغییر مکان-بار در نمونه W1-L03



شکل ۵-۵ نمودار تغییر مکان-بار در نمونه W1-L03



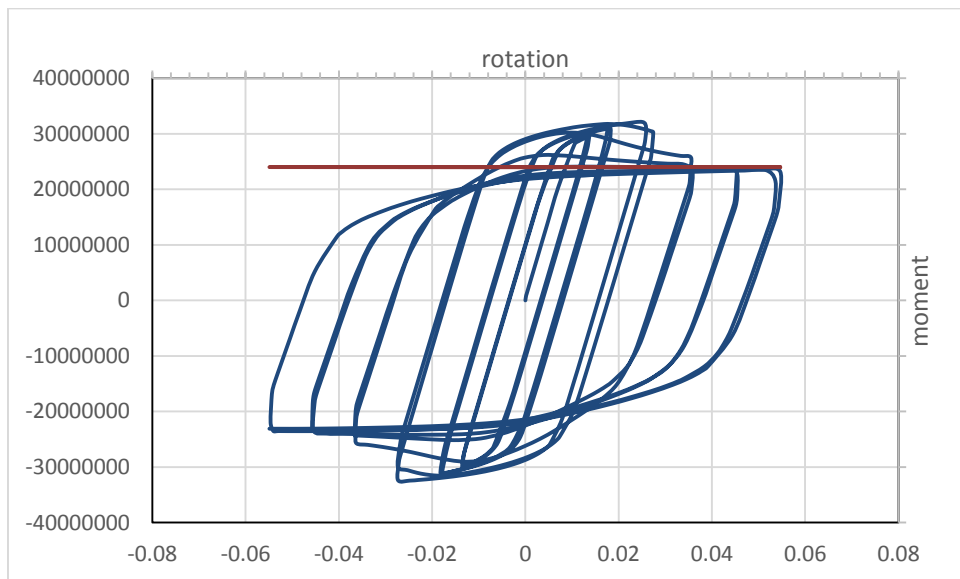
شکل ۶-۵ نمودار تغییر مکان-بار در نمونه W1-L03

بررسی بر روی رفتار هیستریزیس اتصال مدل سازی شده فاقد فلنج در نمودار لنگر- دوران در شکل ۷-۵ و اتصال دارای فلنج در نمودار لنگر- دوران در شکل ۸-۵ مشاهده میشود. در شکل ۷-۵ و شکل ۸-۶ اتصال مطابق ضوابط AISC 2005 نمونه باید بتواند حداقل ۳ درصد رادیان زاویه تغییر مکان نسبی طبقه را تحمل نماید و در زاویه ۴ درصد رادیان، ظرفیت اتصال از ۸۰ درصد مقدار ظرفیت نهایی اسمی تیر کمتر نگردد. شکل ۹-۶ انطباق دو نمودار شکل ۷-۵ و ۸-۵ مشاهده می شود. ظرفیت نهایی اسمی تیر بصورت زیر محاسبه می شود:

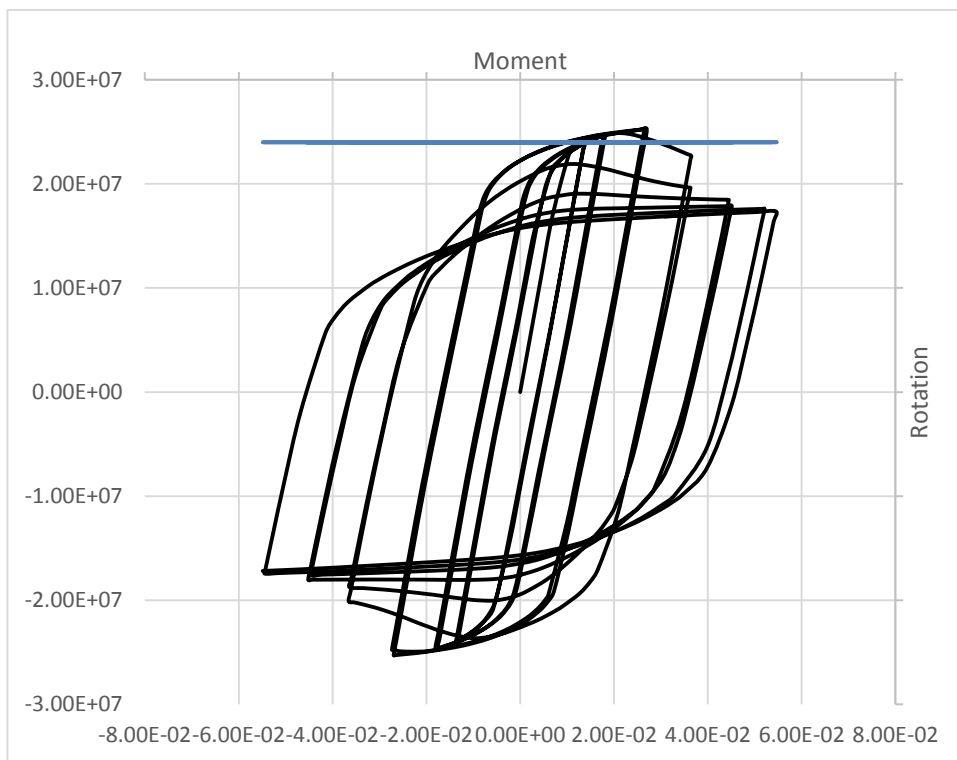
$$M_{P-beam} = Z_p F_y = 1000 * 3600 = 360.0 \text{ KN.m}$$

$$0.8 M_{P-beam} = 280 \text{ KN.m}$$

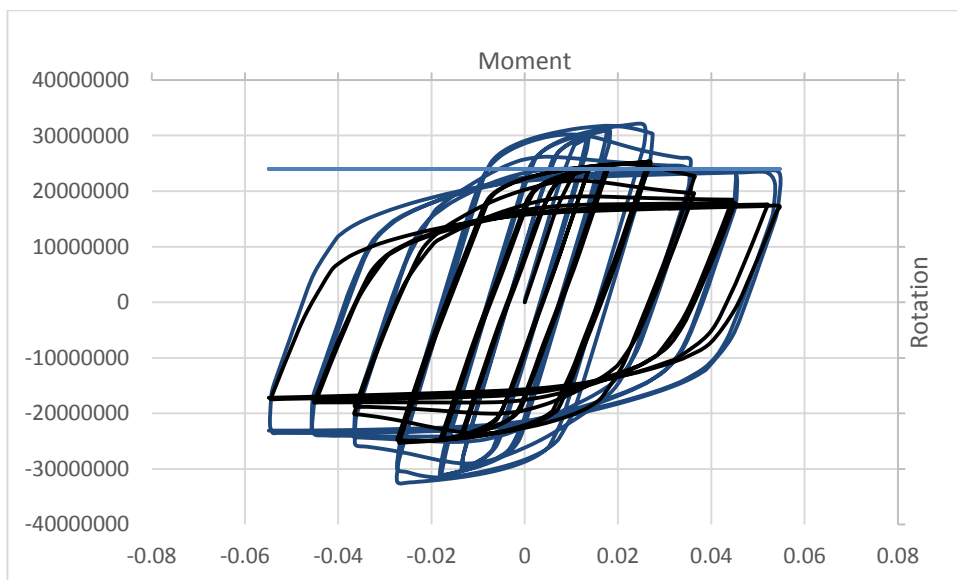
$F_y$  تنش تسلیم اسمی (مشخصه) مصالح تیر می باشد. ورق های تیر از نوع فولاد A36 هستند.



شکل ۷-۵-نمودار لنگر-دوران اتصال فاقد فلنج



شکل ۵-۸- نمودار لنگر دوران اتصال فلنژی

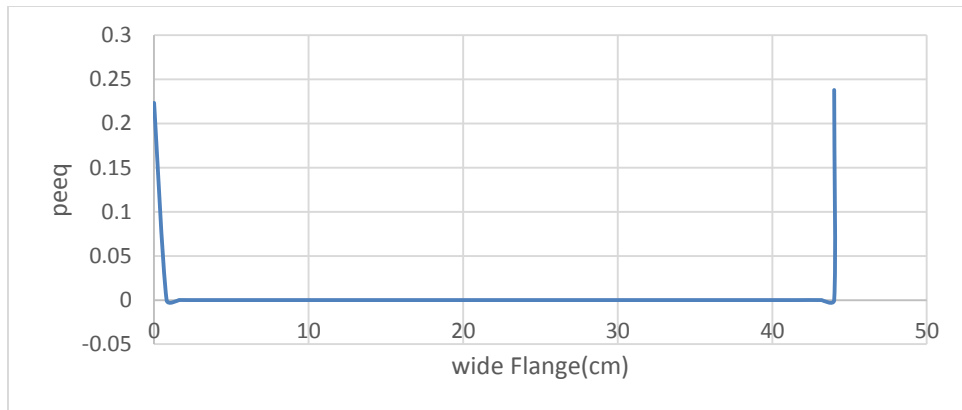


شکل ۵-۹- مقایسه اتصال عددی اتصال فلنژی و نمونه فاقد فلنچ

مطابق نمودارهای اشکال ۵-۷ و ۵-۸ و ۵-۹ مقاومت نمونه‌های W1-L03 در ۴ درصد رادیان بیشتر

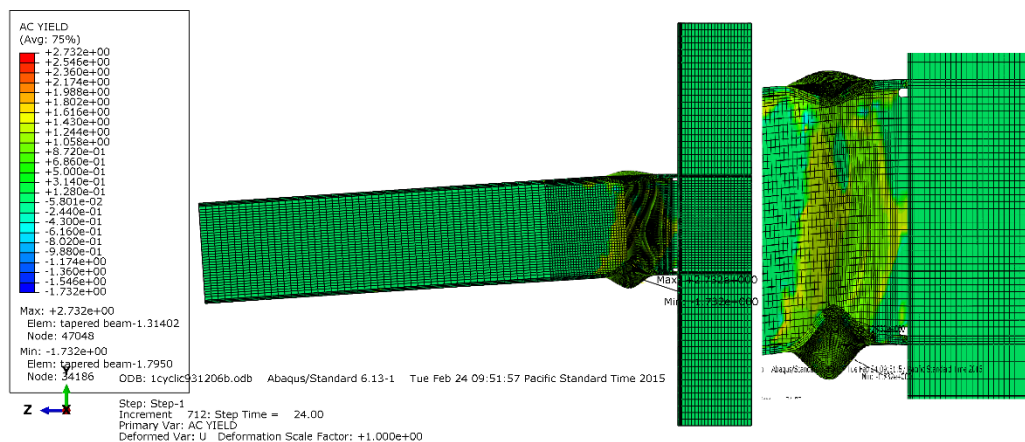
از ۸۰ درصد ظرفیت اسمی تیر می‌باشد. بنابراین در نمونه فاقد فلنچ ضوابط AISC2005 در خصوص

تأیید اتصال قاب خمشی معمولی را برآوردنموده است ولی در نمونه فلنجی ضوابط لرزه ای برای قاب خمشی ویژه را برآورده نموده است. در بررسی رفتار لرزه ای بر روی اتصال فاقد فلنج توزیع تنش کرنش پلاستیک در اتصال فاقد فلنج در شکل ۵-۱۰ مشاهده می شود.



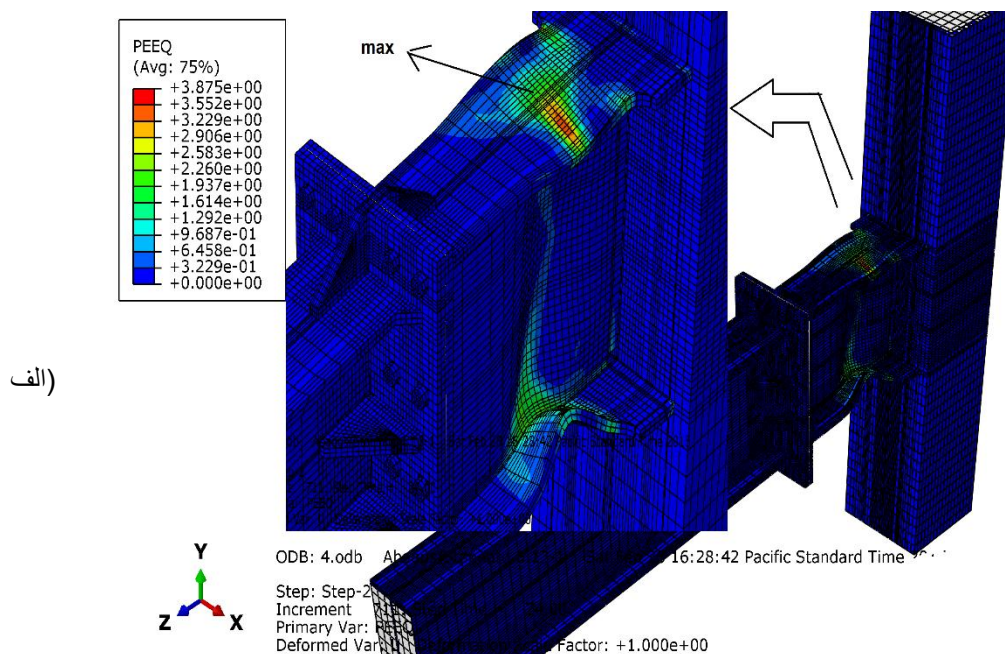
شکل ۵-۱۰- نمودار توزیع PEEQ در عرض تیر در اتصال تیر به ستون اتصال فاقد فلنج

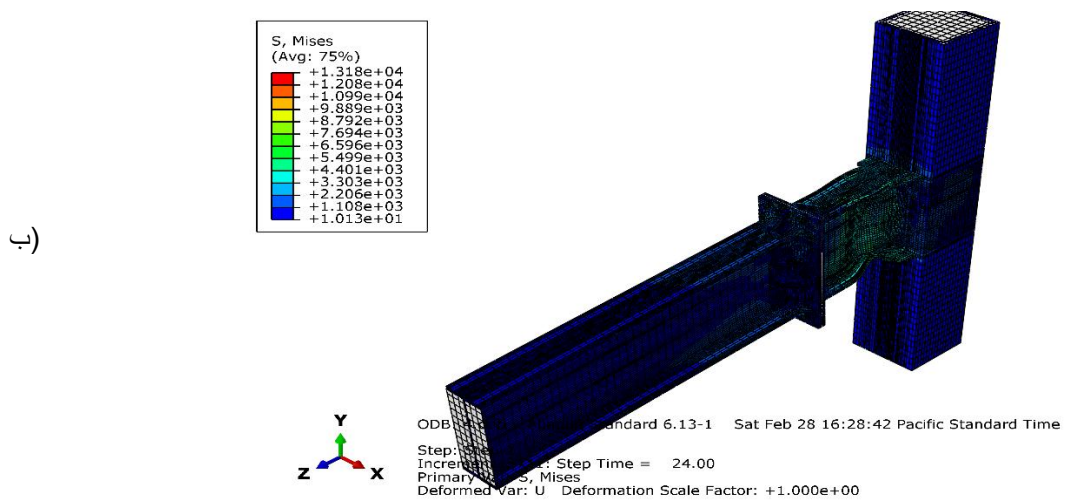
مطابق شکل مشاهده می شود توزیع کرنش پلاستیک در اتصال تیر به ستون با مقطع عریض شده در کناره ها بیشترین مقدار خود را دارا می باشد. در این اتصال در چشمه اتصال تنش ها مطابق شکل ۵-۱۱ از مقدار تنش جاری شدن کمتر بوده است. و محل پلاستیک شدگی در اتصال و محل تشکیل محل مفصل پلاستیک خارج از محدوده عریض شدگی در اتصال می باشد.



شکل ۵-۱۱- کانتور تنش و تغییر شکل اتصال در حالت جاری شدن

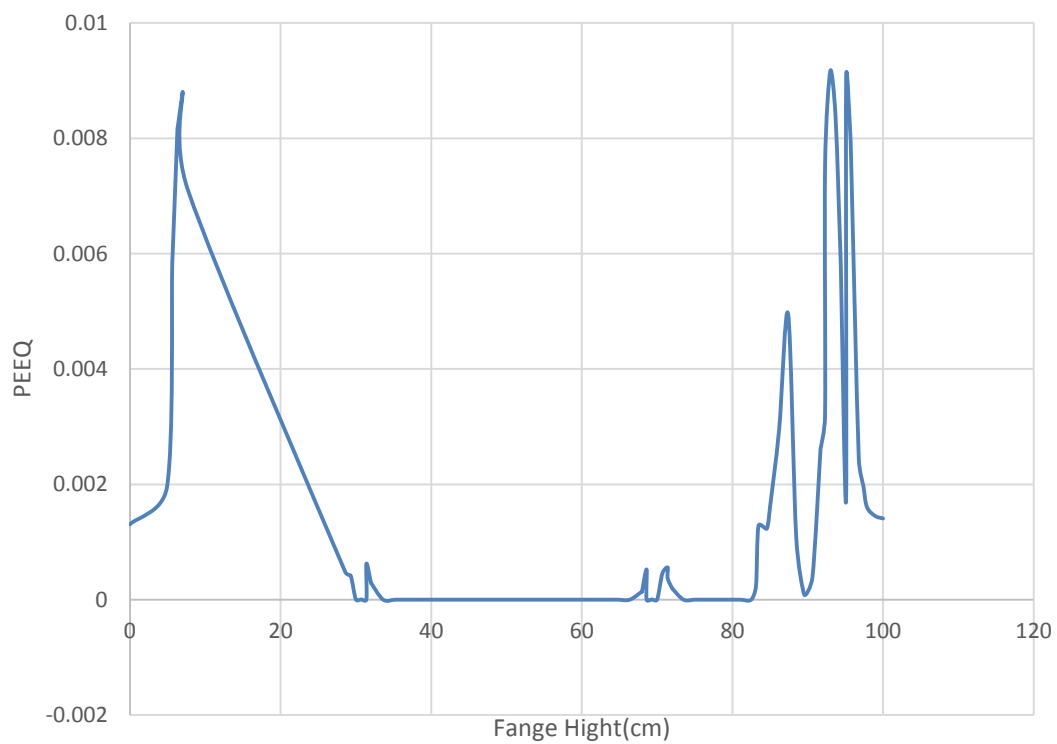
مدل شکل ۵-۱۲ به عنوان نمونه ای با فلنج بوده که برای مطالعه ناکاملی ها و ایرادات بر روی فلنج استفاده شده است. با بررسی رفتار لرزه ای این اتصال در فلنج مشاهده می شود این اتصال در طی دوره های سیکل بارگذاری به تدریج اتصال باز شده و کرنش در پیچ ها به وجود می آید. در این اتصال کرنش پیچ ها به کرنش پلاستیک نخواهند رسید. در شکل ۵-۱۳ نمودار توزیع کرنش پلاستیک معادل و در شکل ۵-۱۴ نمودار توزیع تنش فن میسر در ارتفاع فلنج مشاهده میشود. در نمودار شکل ۵-۱۳ همانگونه که مشاهده می شود کرنش معدل در پیچ ها کمتر از ۱٪ بوده است در این اتصال در دوران های متفاوت اعمال شده میزان جابجایی دو فلنج نسبت به یکدیگر (باز شدگی فلنج) در نمودار شکل ۵-۱۵ مشاهده میشود در این اتصال تا رسیدن به دوران ۰,۰۳ کرنش پیچ ها در اتصال در حد صفر بوده و اتصال دچار باز شدگی نمی شود از ۰,۰۳ رادیان تا ۰,۰۶ را در نمودار ۵-۱۵ مشاهده می شود.





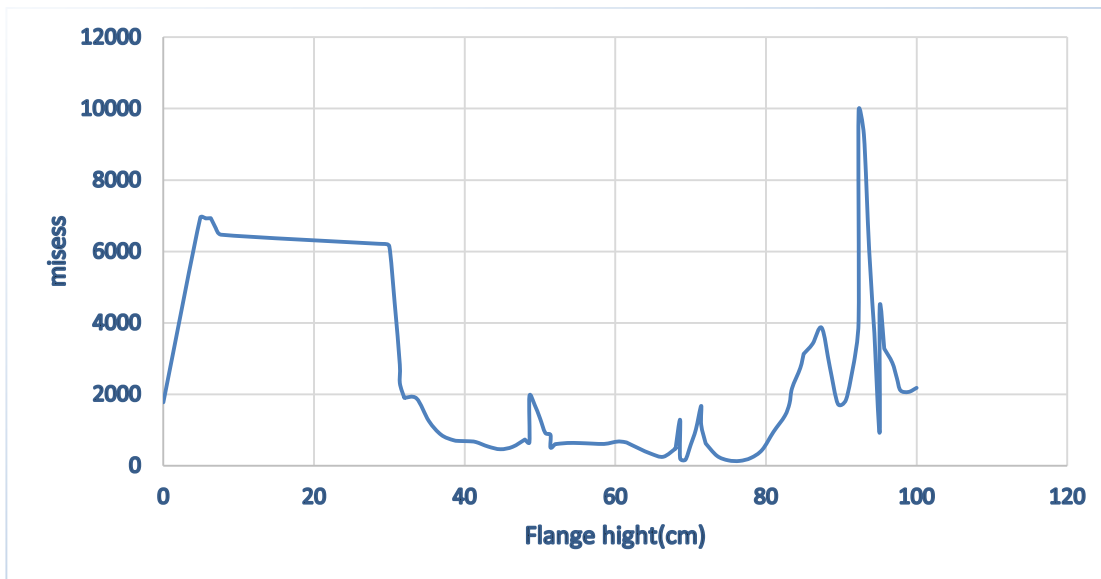
شکل ۵-۱۲ الف) نمونه توزیع کرنش معادل پلاستیک (PEEQ) - ب) توزیع تنش (کانتر تنش) فن

میسز در اتصال فلنجی

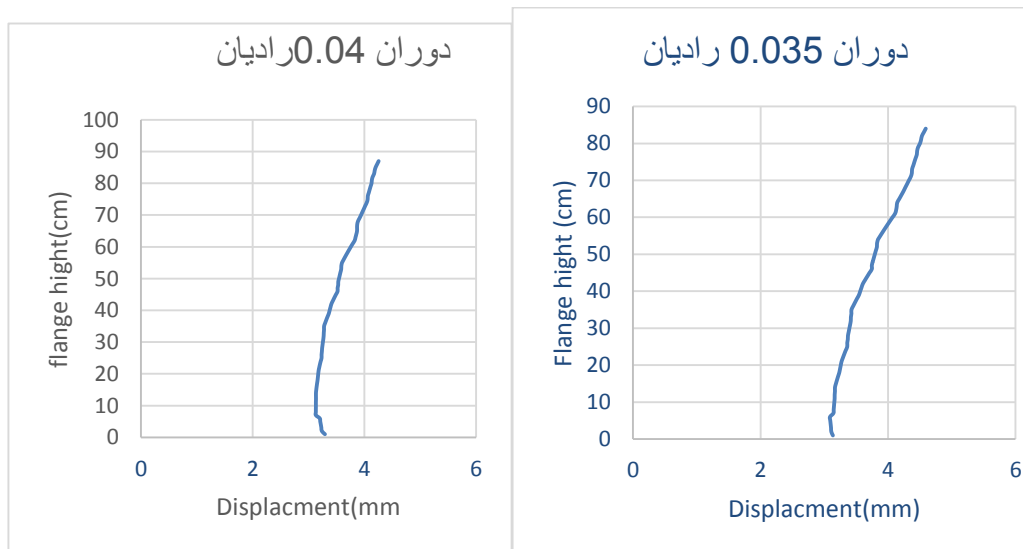


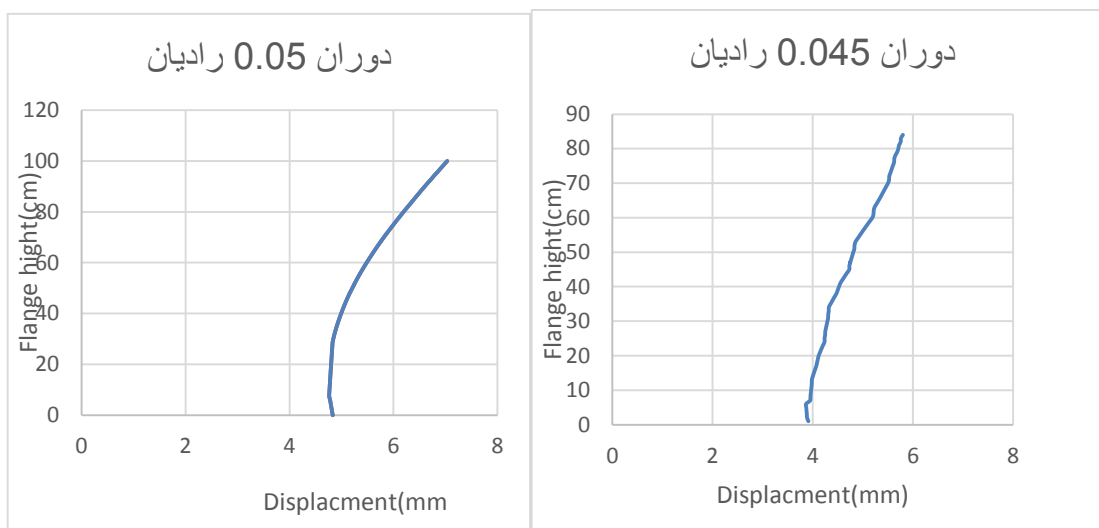
شکل ۵-۱۳ - توزیع شاخص PEEQ در ارتفاع فلنج





شکل ۵-۱۳- توزیع تنش فن میسز در ارتفاع فلنج

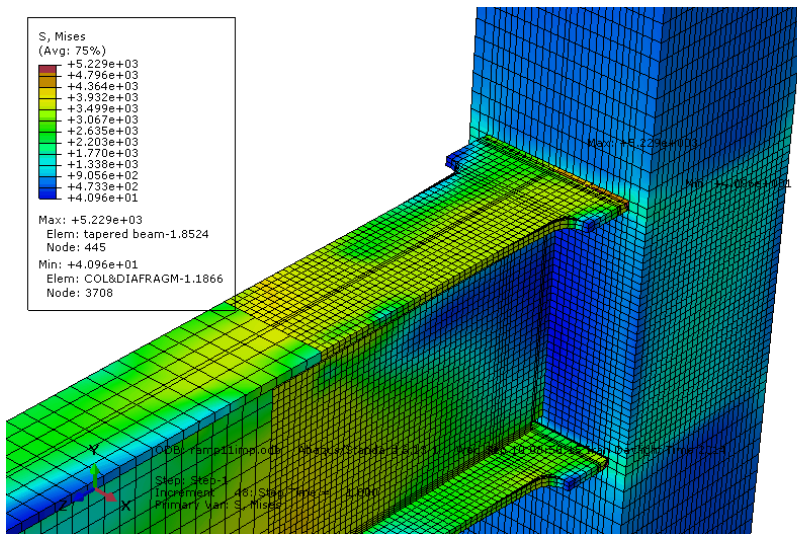




شکل ۵-۱۵- نمودار تغییر مکان اتصال در دوران بیش از ۰,۰۳ رادیان

### ۳-۵ بررسی نقص اولیه در اتصال بال تیر به ستون

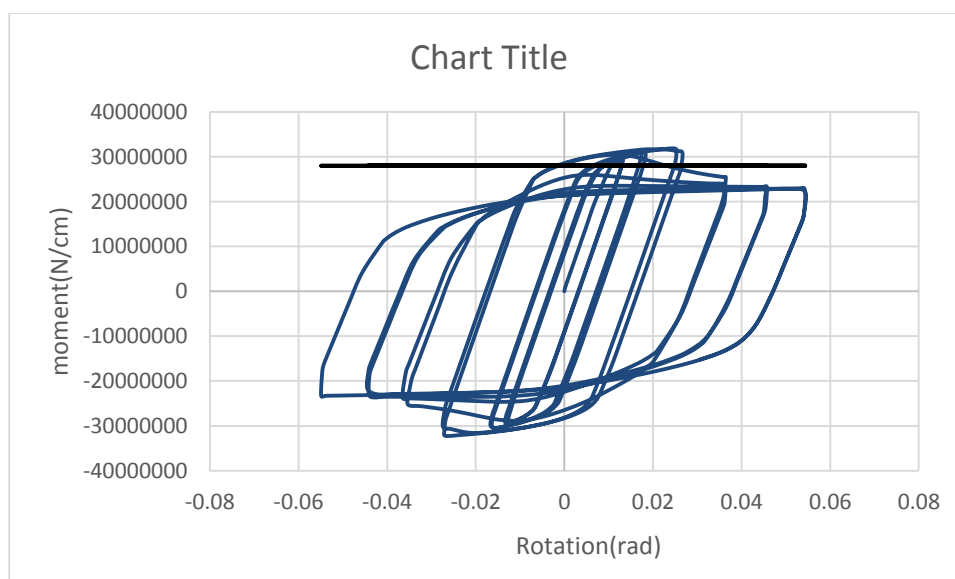
در اتصال تیر به ستون بدلیل وجود خطا در ساخت امکان اشکال در هندسه جوش نفوذی تیر به ستون (کسر بعد جوش) و یا کاهش مقاومت مصالح به علت خطا در استفاده از مصالح (نوع سیم جوش با رده مقاومتی پایین تر) یا ایرادات اجرایی به علت سهل انگاری مجری که باعث کاهش مقاومت و ایجاد عیوب جوشکاری نظیر تخلخل، کسر بعد، لبه ایراد جوش و ... وجود دارد. از این رو در ادامه نقص هندسی و نقص در رده مقاومتی جوش نفوذی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. شکل ۵-۱۶ نمونه مدل سازی اتصال تیر به ستون با کسر بعد را نشان می دهد. نتایج فوق قابل تعمیم به اتصال تیر اتصال در اتصال ستون درختی است.



شکل ۵-۱۶- نمونه مرجع W1-L03 مدلسازی شده در نرم افزار Abaqus

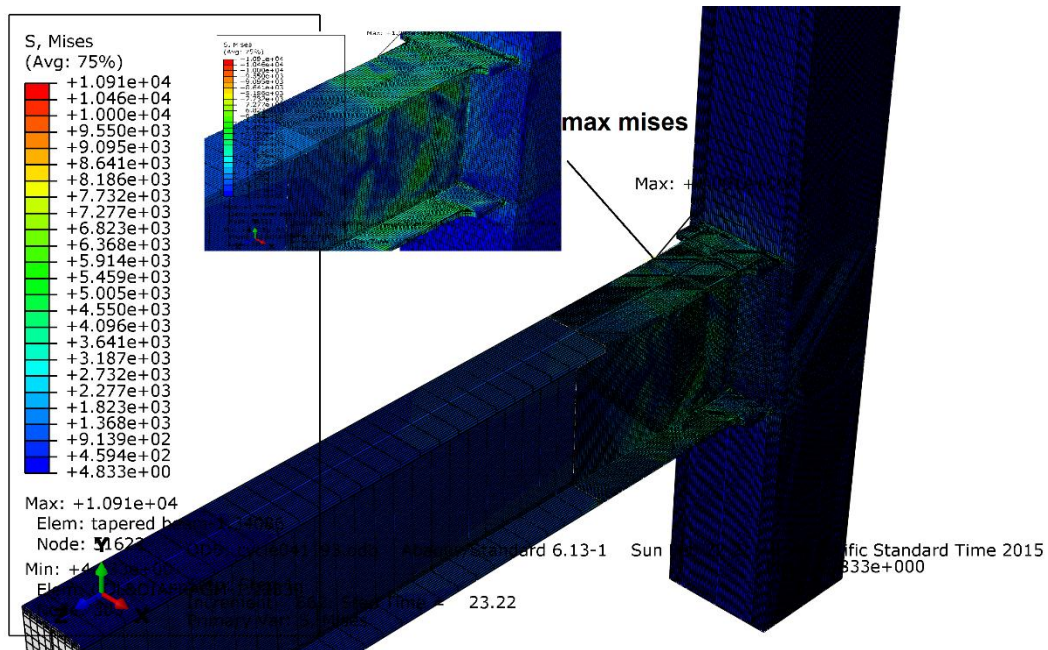
### ۵-۳-۱ بررسی نقص هندسی در جوش نفوذی اتصال تیر به ستون

برای بررسی نقص هندسی بعد جوش نفوذی در اتصال تیر به ستون، درصدی از هندسه جوش کسر شد. درصد کسر بعد جوش و تنش های بحرانی ایجاد شده بررسی و در جدول ۷-۱ برای ۳۰ نمونه ارائه شده است. در جدول ۷-۱ نتایج مدل های دارای نقص بعد جوش با نمونه سالم بدون نقص قابل مقایسه است. منحنی های لنگر-دوران در نمونه های دارای خطای ساخت در شکل های ۵-۱۷، ۵-۱۸، ۵-۱۹، ۵-۲۰، ۵-۲۱ نمودار هیستریزس اتصال با کسر بعد ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵٪ را نشان داده شده است.

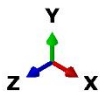
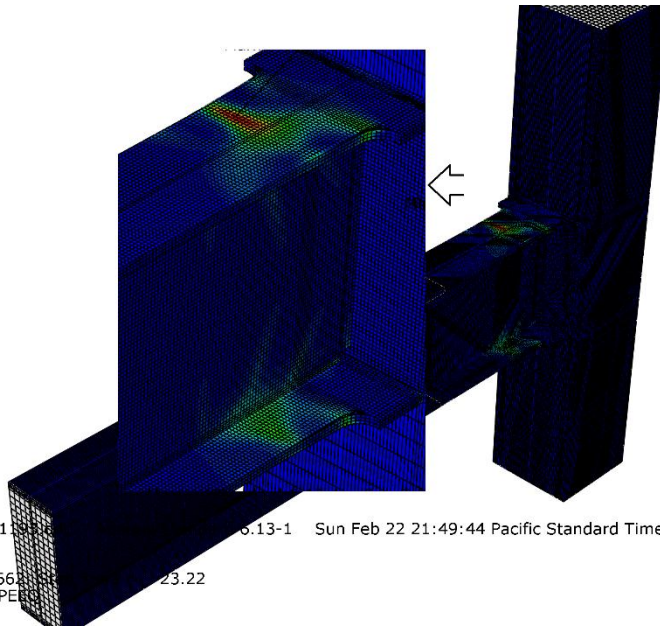
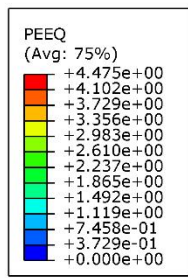


شکل ۵-۱۷- نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۰.۵٪

بررسی بر روی حداکثر تنش وارد بر روی مقطع جوش تا رسیدن به میزان معینی از تغییر مکان میزان تنشها به صورت صعودی رو به افزایش داشته در نمودار شکل ۵-۱۷ اتصال با کسر بعد ۰.۵٪ اتصال توانایی تحمل ۰.۰۴ را ندارد در این اتصال حداکثر تنش فن میسر در اتصال مطابق شکل ۵-۱۸ در محل تشکیل مفصل پلاستیک بوده است. شکل ۵-۱۹ محل تشکیل مفصل پلاستیک را نشان می دهد کرنش معادل پلاستیک نیز در این اتصال در محل اتصال تیر به ستون رخ نمی باشد. در اتصال تیر به ستون با ۰.۵٪ کسر بعد در محل اتصال تیر به ستون تنها در گوشه این اتصال بعد جوش به حد جاری شدن میرسد که در شکل ۵-۲۰ مشاهده می شود.

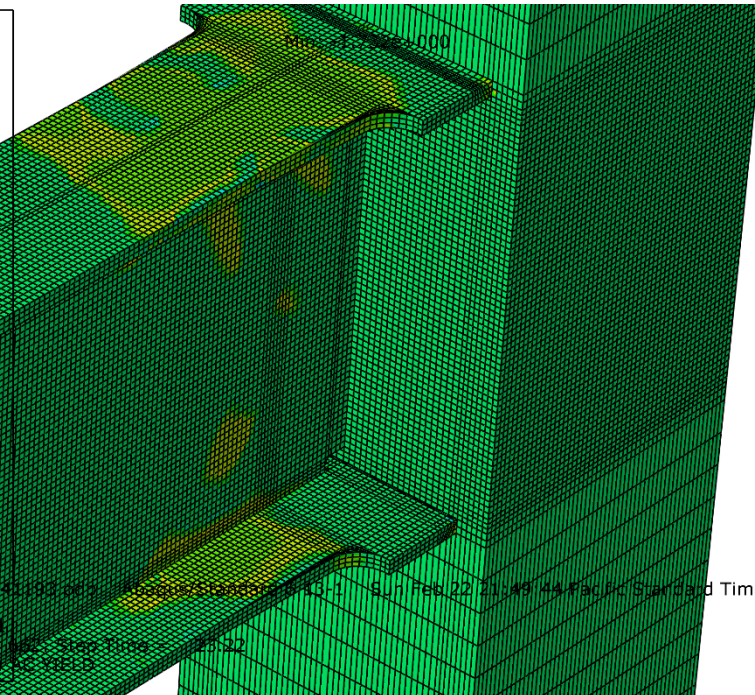
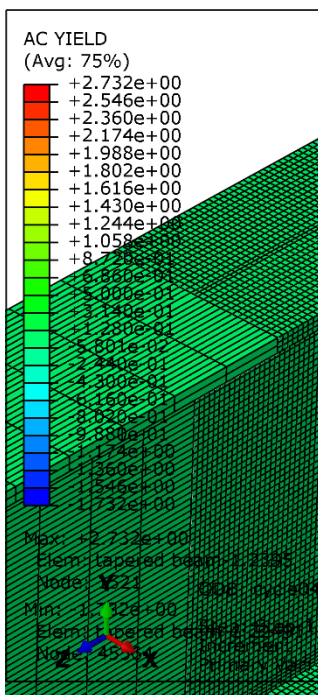


شکل ۵-۱۸- توزیع تنش فن میسر در اتصال با کسر بعد جوش تیر به ستون ۰.۵٪

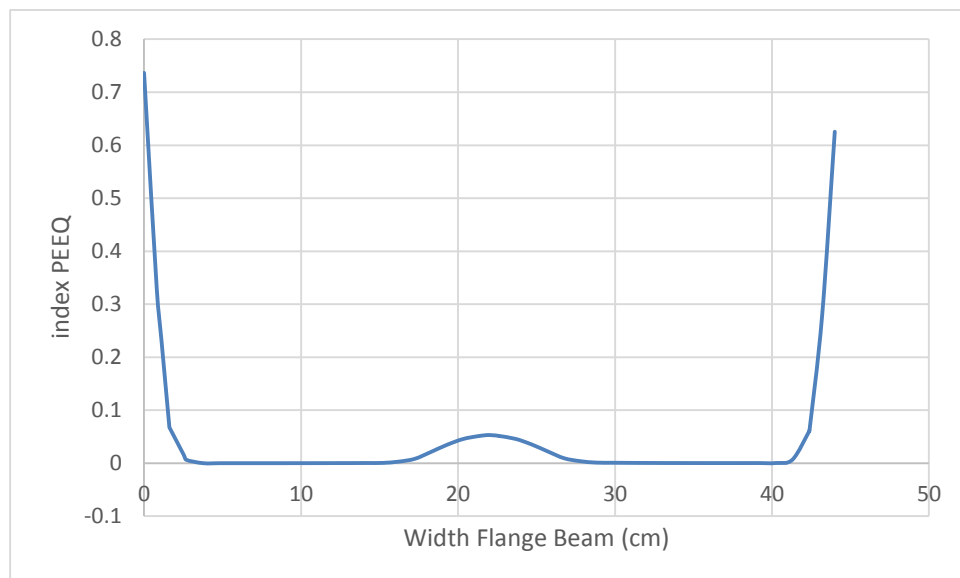


ODB: cycle041... 6.13-1 Sun Feb 22 21:49:44 Pacific Standard Time 2015  
 Step: Step-1  
 Increment: 66  
 Primary Var: PEEQ

شکل ۵-۱۹- کانتور توزیع کرنش معادل پلاستیک در اتصال با کسر بعد ۰.۵٪



شکل ۵-۲۰- اتصال با کسر بعد ۰.۵٪ در تنش های جاری شدن

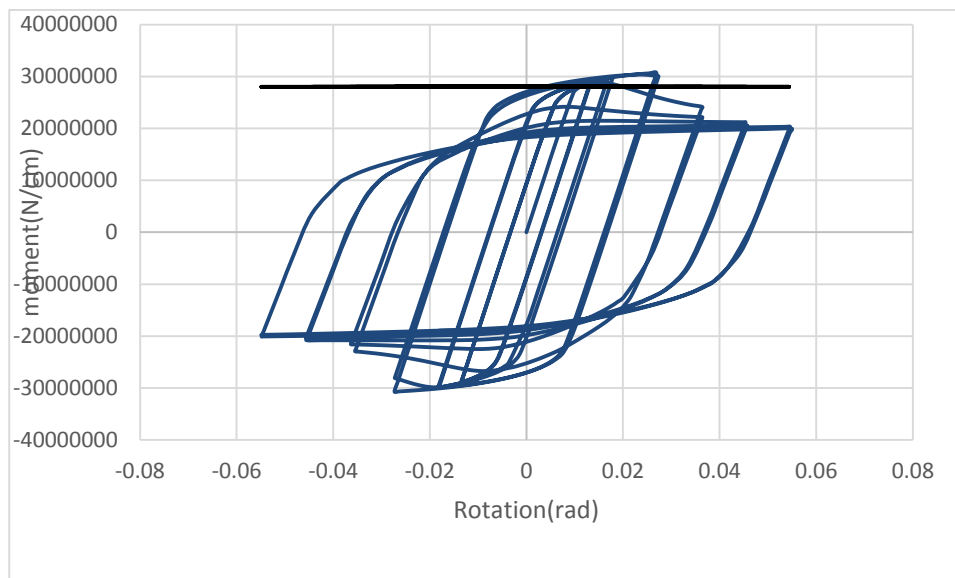


شکل ۵-۲۱- نمودار توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۰.۵٪

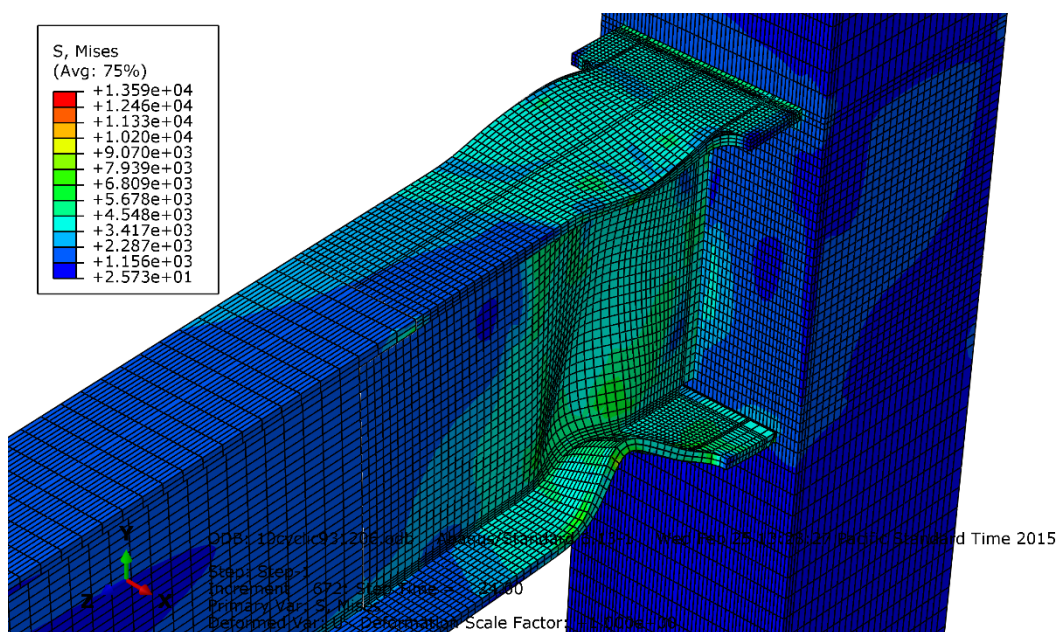
شکل ۵-۲۱ توزیع کرنش معادل پلاستیک را در اتصال با کسر بعد ۰.۵٪ نشان میدهد. در این نمودار در لبه های بال تیر بسیار زیاد شده که بیش از ۰.۷ خواهد بود که در لبه هایی که جاری شده اتصال به مرز پلاستیک خواهد رسید.

در بررسی روی نمودار هیستریزیس شکل ۵-۲۲ بر روی اتصال با کسر بعد ۱۰٪ مشاهده میشود اتصال توانایی تحمل ۰.۰۴ را ندارد در این اتصال حداکثر تنش فن میسر در اتصال مطابق شکل ۵-۲۳ به میزان ۱۳۹۵۰ مگا پاسکال در محل تشکیل مفصل پلاستیک بوده است.



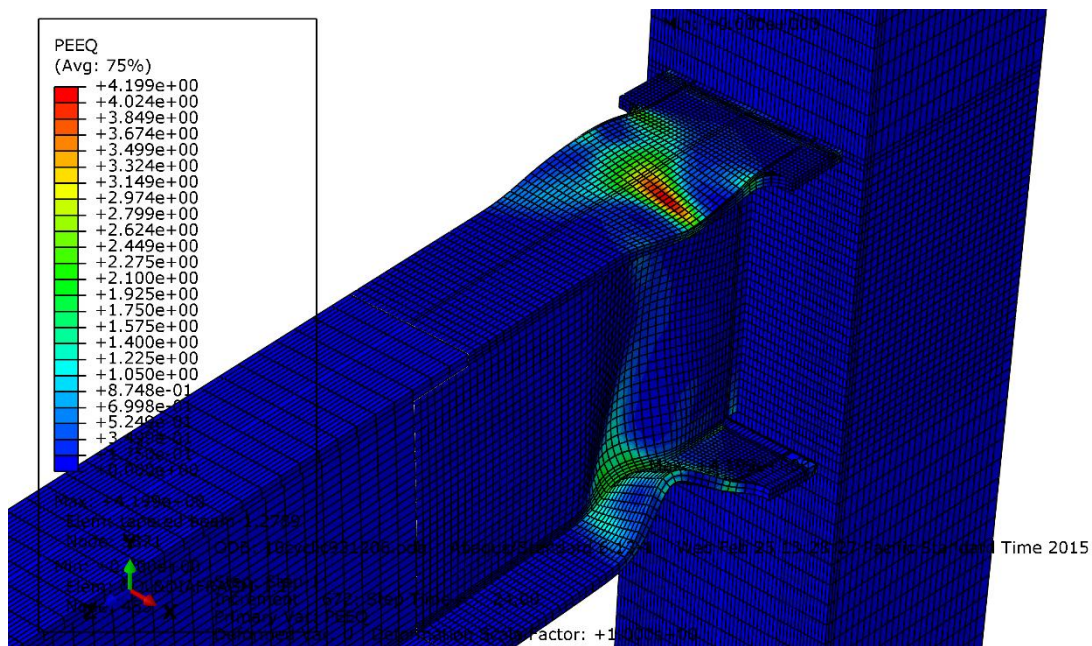


شکل ۵-۲۲- نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۱۰٪



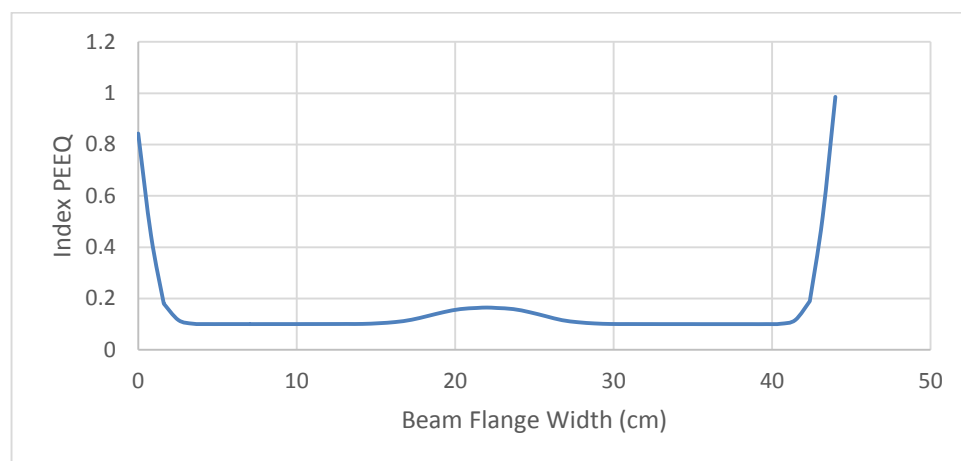
شکل ۵-۲۳- تصویر توزیع اندیس تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۱۰٪

برسی روی توزیع کرنش معدل پلاستیک در اتصال که در شکل ۵-۲۴ مشاهده می شود نیز در این اتصال در محل اتصال تیر به ستون رخ نمی باشد. در اتصال تیر به ستون با ۱۰٪ کسر بعد در محل اتصال تیر به ستون تنها در گوشه این اتصال بعد جوش به حد جاری شدن میرسد



شکل ۵-۲۴- تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۱۰٪.

شکل ۵-۲۵ توزیع کرنش معادل پلاستیک را در اتصال با کسر بعد ۱۰٪ نشان می‌دهد. در این نمودار در عرض تیر رشد بسیار داشته که این میزان در عرض تیر ۱۰ درصد شده، در لبه های بال تیر بسیار زیاد شده که در لبه ها بیش از ۰,۷ خواهد بود که در لبه هایی که جاری شده اتصال به مرز پلاستیک خواهد رسید.

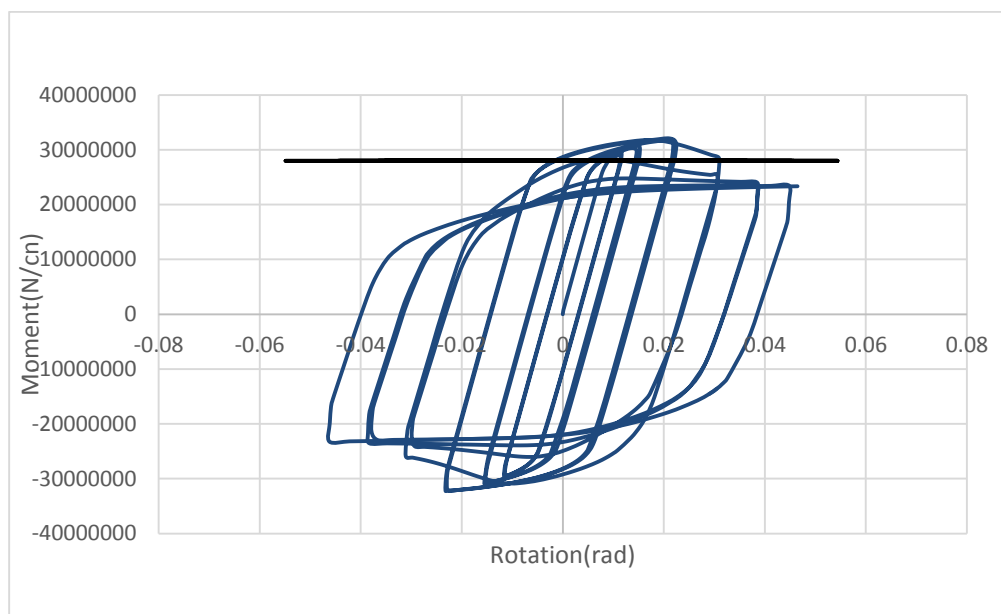


شکل ۵-۲۵- نمودار توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۱۰٪.

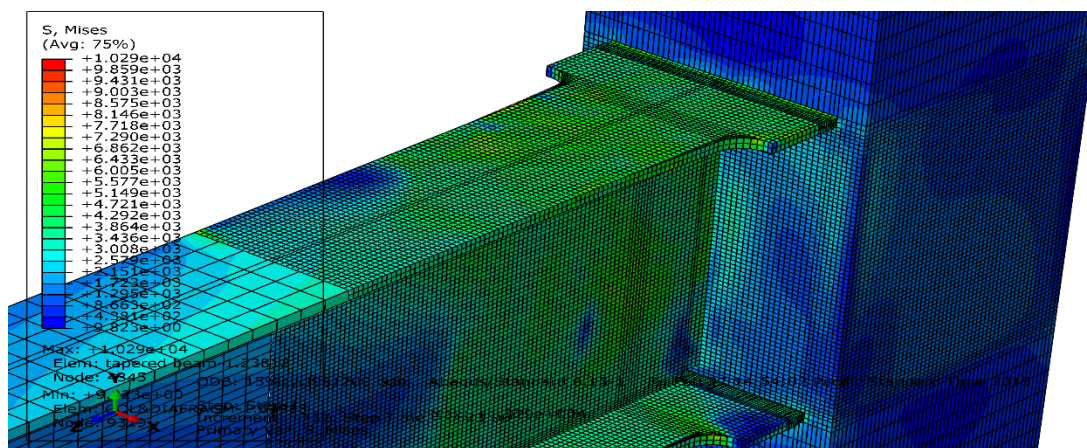
بررسی بر روی حداکثر تنش وارد بر روی مقطع جوش تا رسیدن به میزان معینی از تغییر مکان میزان تنشها به صورت صعودی رو به افزایش داشته در نمودار شکل ۵-۲۶ اتصال با کسر بعد ۱۵٪ اتصال توانایی



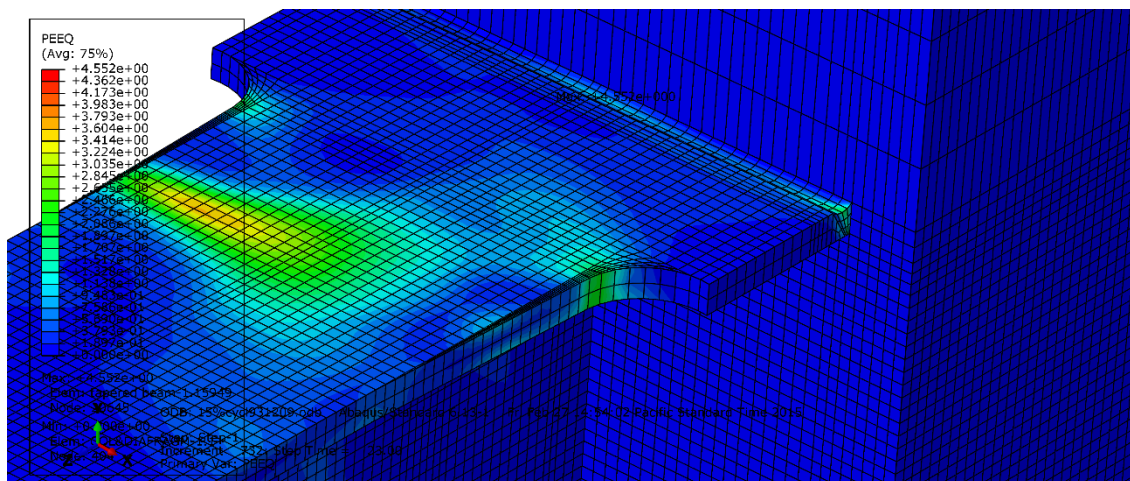
تحمل  $0,04$  را ندارد در این اتصال حداکثر تنش فن میسز در اتصال مطابق شکل ۵-۲۷ محل تشکیل مفصل پلاستیک بوده است. شکل ۵-۲۸ محل تشکیل مفصل پلاستیک را نشان می دهد کرنش معادل پلاستیک نیز در این اتصال در محل اتصال تیر به ستون رخ نمی باشد. در اتصال تیر به ستون با  $15\%$  کسر بعد در محل اتصال تیر به ستون در عرض تیر این اتصال بعد جوش به حد جاری شدن میرسد که در شکل ۵-۲۹ مشاهده می شود.



شکل ۵-۲۶ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت  $15\%$

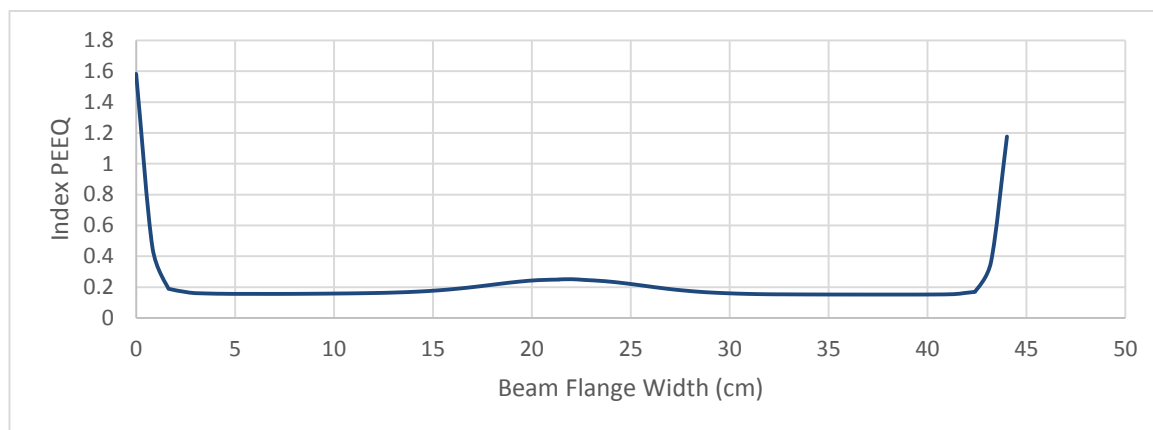


شکل ۵-۲۷-تصویر توزیع اندیس تنش Mises در اتصال با کسر بعد  $15\%$



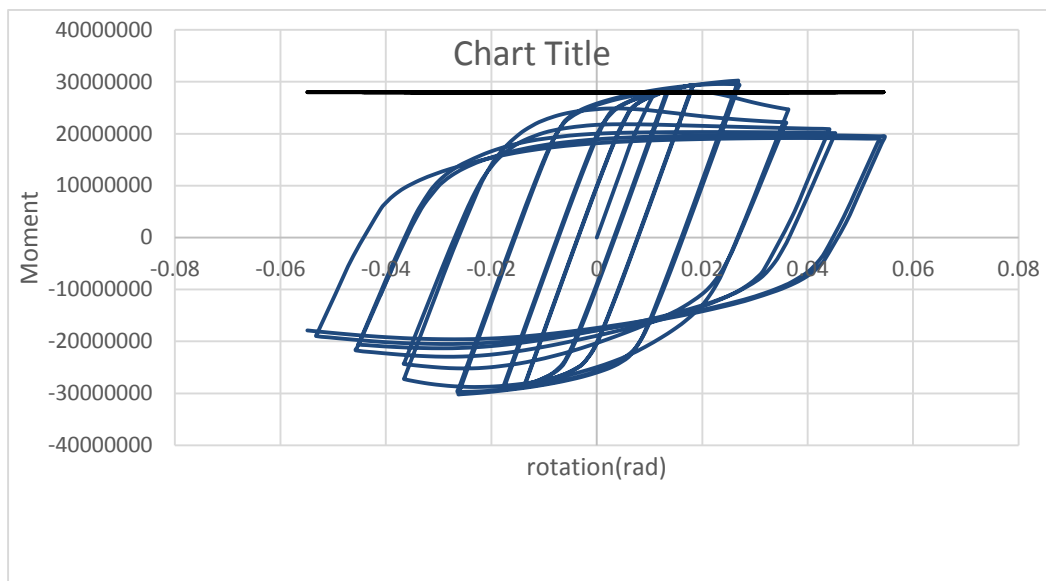
شکل ۵-۲۸- تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۱۵٪.

بررسی روی توزیع کرنش معادل پلاستیک در اتصال که در شکل ۵-۲۸ مشاهده می شود نیز در این اتصال در محل اتصال تیر به ستون رخ نمی باشد. در اتصال تیر به ستون با ۱۵٪ کسر بعد در محل اتصال تیر به ستون در گوشه این اتصال بعد جوش از حد پلاستیک عبور کرده و در وسط تیر ۲۰٪ این حد می رسد. شکل ۵-۲۹ نمودار توزیع کرنش معادل پلاستیک را در عرض تیر نشان میدهد.

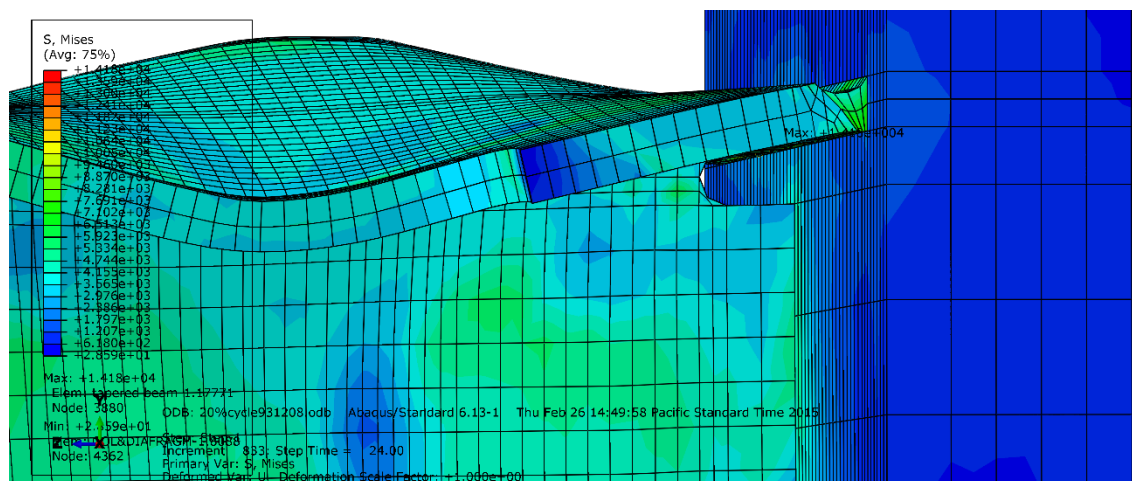


شکل ۵-۲۹- نمودار توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۱۵٪.

بررسی بر روی حداکثر تنش وارد بر روی مقطع جوش در نمودار شکل ۵-۳۰ اتصال با کسر بعد ۲۰٪ اتصال توانایی تحمل ۰,۰۴ را ندارد در این اتصال حداکثر تنش فن میسر در اتصال مطابق شکل ۵-۳۱ در محل اتصال تیر به ستون رخ بوده است. در این حالت اتصال تیر به ستون مانند لولا عمل کرده و محل تشکیل مفصل پلاستیک را به جوش اتصال تیر به ستون رسیده است.

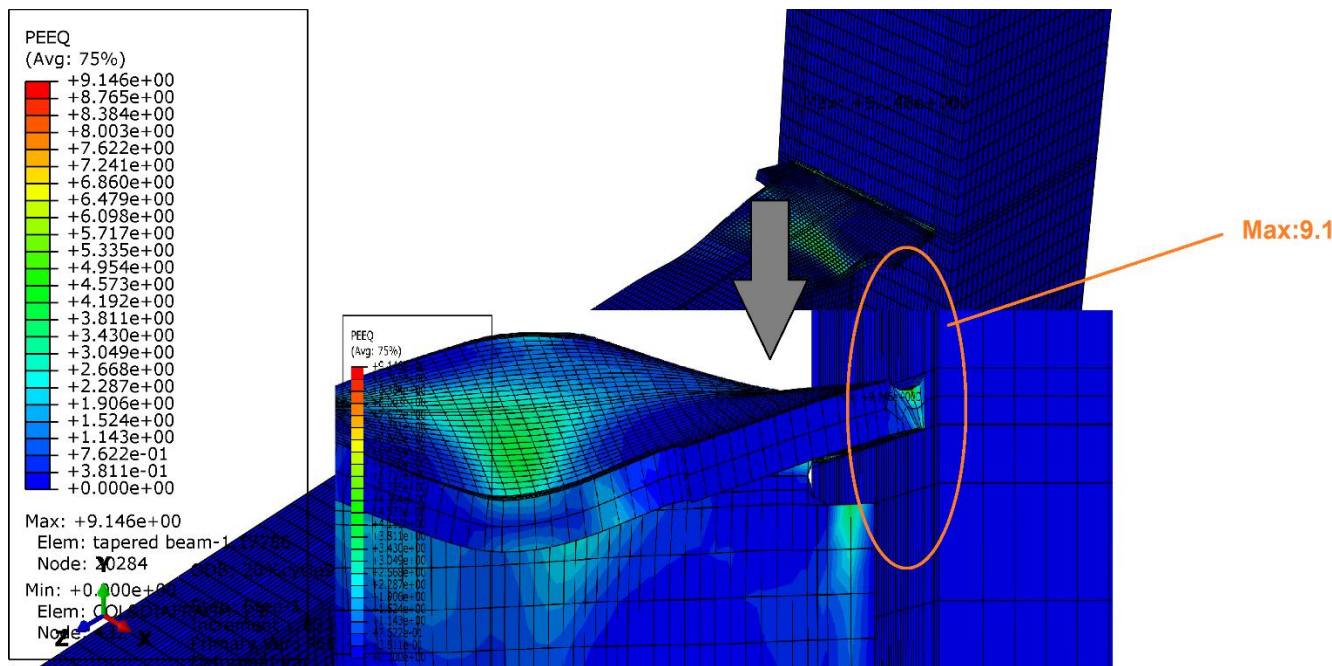


شکل ۵-۳۰- نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۲۰٪

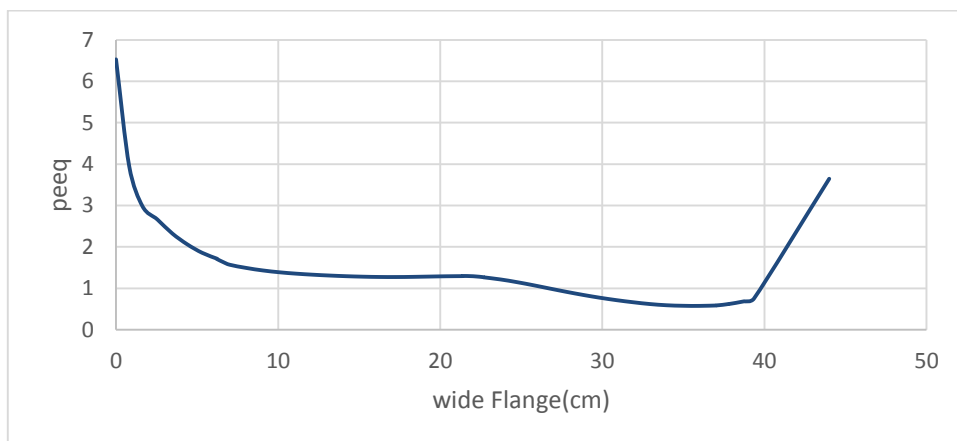


شکل ۵-۳۱- تصویر توزیع اندیس تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۲۰٪

شکل ۵-۳۲ محل تشکیل مفصل پلاستیک را نشان می دهد کرنش معادل پلاستیک نیز در این اتصال در محل اتصال تیر به ستون رخ نمی باشد. در اتصال تیر به ستون با ۲۰٪ کسر بعد در محل اتصال تیر به ستون تنها در گوشه این اتصال بعد جوش به حد جاری شدن میرسد که در شکل ۵-۳۲ مشاهده می شود. شکل ۵-۳۳ توزیع کرنش معادل پلاستیک را در اتصال با کسر بعد ۲۰٪ نشان میدهد. در این نمودار در عرض تیر رشد بسیار داشته که این میزان در عرض تیر به میزان بسیار زیادی رشد داشته و از میزان کرنش معادل پلاستیک نزدیک شده است در درلبه های بال تیر بسیار زیاد شده که بیش از حد پلاستیک در جوش اتصال تیر به ستون خواهد بود.



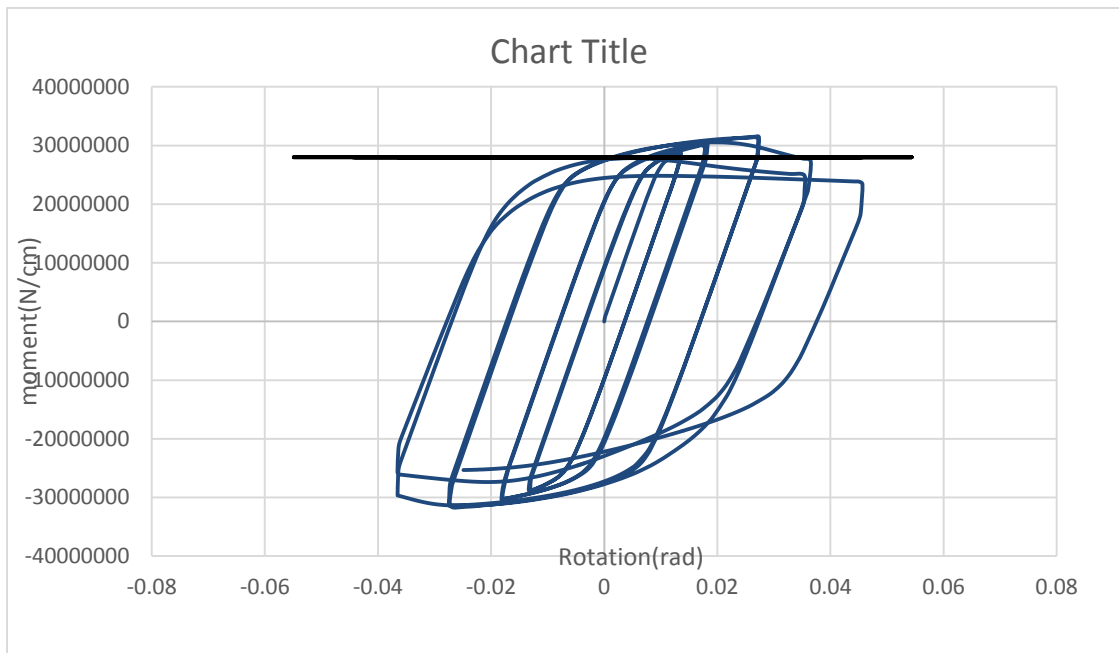
شکل ۵-۳۲- تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۲۰٪



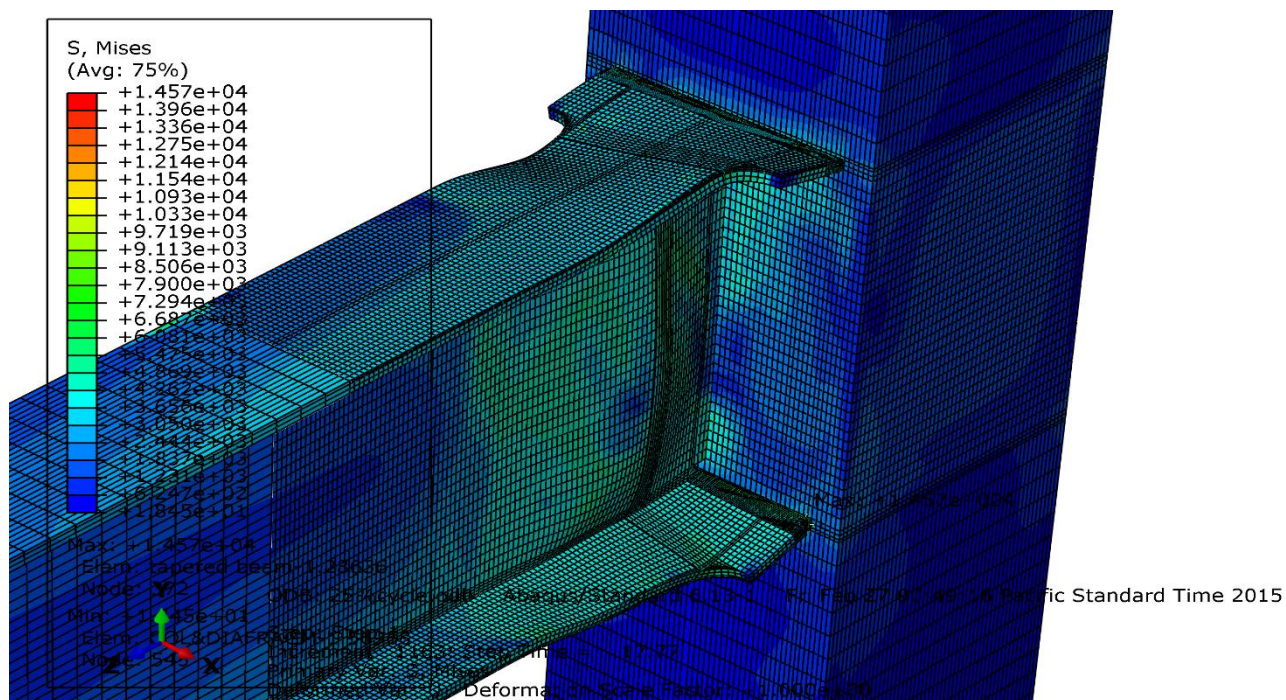
شکل ۵-۳۳- نمودار توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۰٪

بررسی بر روی حداکثر تنش وارد بر روی مقطع جوش در نمودار شکل ۵-۳۴ اتصال با کسر بعد ۲۰٪  
 اتصال توانایی تحمل ۰,۰۴ را ندارد در این اتصال حداکثر تنش فن میسر در اتصال مطابق شکل ۵-۳۵  
 در محل اتصال تیر به ستون رخ بوده است. در این حالت اتصال تیر به ستون مانند لولا عمل کرده و  
 محل تشکیل مفصل پلاستیک را به جوش اتصال تیر به ستون رسیده است.





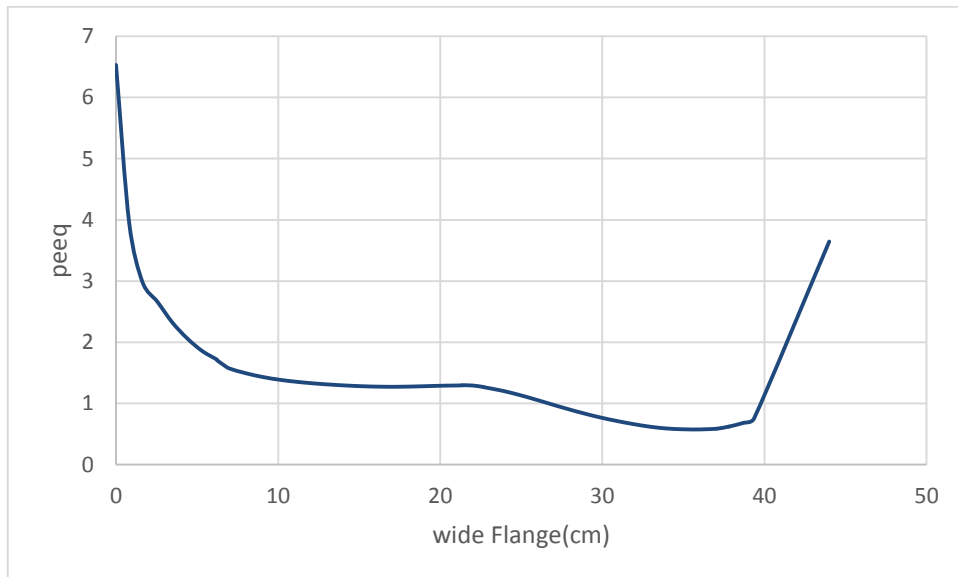
شکل ۵-۳۴ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۰.۲۵٪



شکل ۵-۳۵ - تصویر توزیع تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۰.۲۵٪

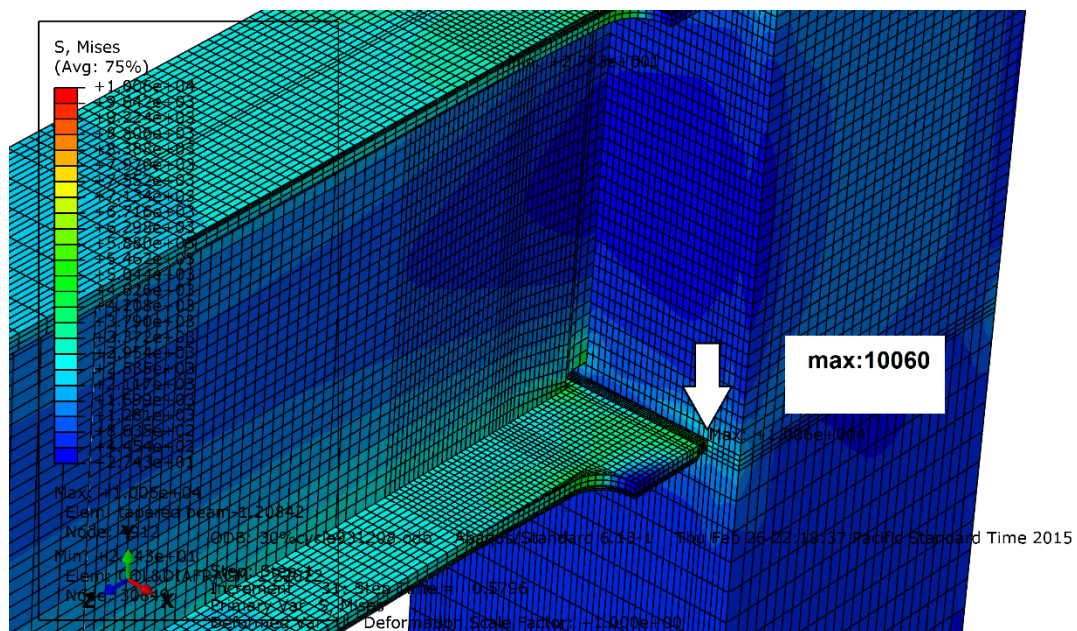
شکل ۵-۳۶ توزیع کرنش معادل پلاستیک را در اتصال با کسر بعد ۰.۲۵٪ نشان میدهد. در این نمودار در عرض تیر رشد بسیار داشته که این میزان در عرض تیر به میزان بسیار زیادی رشد داشته و از میزان

کرنش معادل پلاستیک در بیش از ۷۰٪ عرض تیر عبور کرده است. در درلبه های بال تیر بسیار زیاد شده که بیش از ۶ برابر حد پلاستیک در جوش اتصال تیر به ستون خواهد بود.



شکل ۵-۳۶- نمودار توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۵٪.

در اتصال با کسر بعد ۳۰٪ اتصال در بارگذاری قادر به تحمل ۰٫۰۱ رادیان دوران را نبوده و در ۰٫۶٪ در محل اتصال تیر به ستون به پلاستیک رسیده است. شکل ۵-۳۷ کحل حداکثر مقدار تنش میسر را نشان میدهد که در محل جوش اتصال تیر به ستون بوده است .

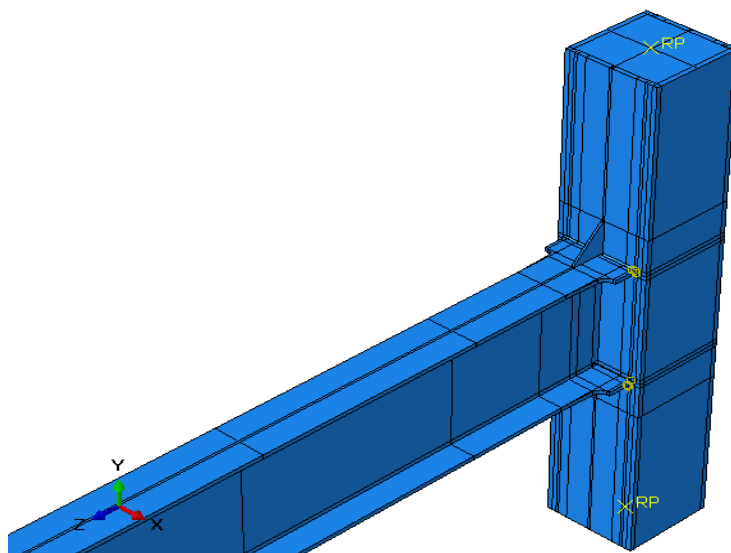


شکل ۵-۳۷- تصویر توزیع اندیس تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۳۰٪.

در تمام اتصالات مورد بررسی دوران  $0,04$  در  $80\%$  لنگر پلاستیک را ارضا نکرده و در کسر بعد جوش  $10\%$  از میزان جوش نفوذی که با بیشتر کردن نقص اولیه میزان تنش نیز افزایش می یابد. مشاهدات نشان میدهد از نقص  $12\%$  میزان تحمل جوش کاهش می یابد و تا مقدار معینی از تغییر مکان میتوان بار را افزایش داد بعد از این تغییر مکان تنشها از حد الاستیک اتصال عبور می کند همانطور که در گراف مشاهده می شود. در بارگذاری چرخه انجام شده بر این دسته از نقص ها تا رسیدن به  $0,06\%$  رادیان تنها تا  $9\%$  از خطای ساخت امکان صحت سازه را ارضا می نماید از این میزان تنشهای به بعد شکنی در جوش از بخش خارجی به سمت مرکز بال تیر رخ میدهد.

### ۵-۳-۲- رفع نقص در اتصال تیر به ستون

برای بررسی رفع نقص دو حالت میتواند انجام شود بررسی قرار گرفت مورد اول رفع نقص با استفاده از جوش و پرکردن کسری اتصال با جوش و حالت دوم، استفاده از لچکی سخت کننده به عنوان تقویت در اتصال است.

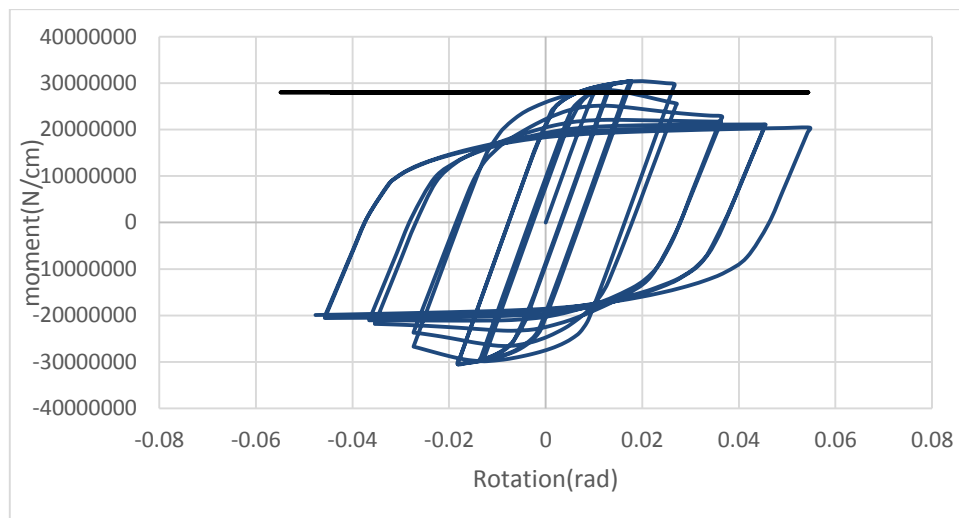


شکل ۲-۳۸- مدل نقص اولیه با لچکی تک

بررسی تقویت اتصال با استفاده از لچکی سخت کننده پرداخته شده است شکل ۵-۳۸ مدلسازی آن را نشان می دهد. ابعاد لچکی تک استفاده شده در بال بالا و پایین اتصال  $1.3 \times 20 \times 20 \times \frac{1}{2}$  بوده

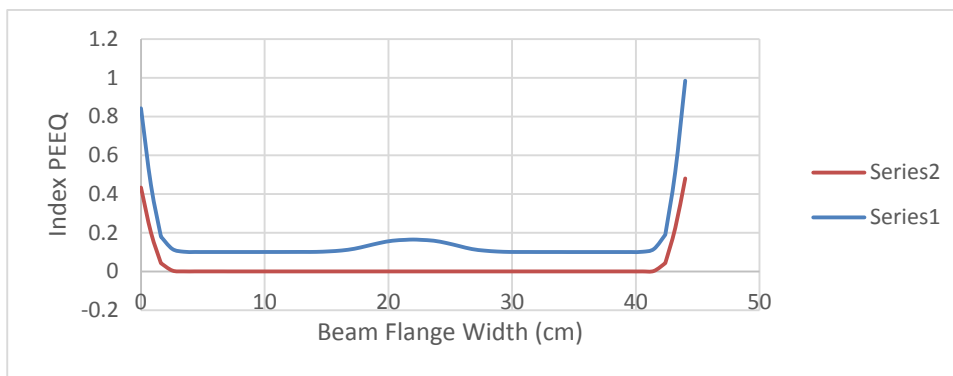
است که ضخامت آن حداقل برابر ضخامت جان تیر می باشد. در این بررسی با استفاده از یک لچکی به طول و ارتفاع ۲۰ سانتیمتر و لچکی دوبله استفاده در بال با طول و عرض ۲۰ سانتیمتر بوده است. در این تحقیق به بررسی و مقایسه اتصال با لچکی تک و دوبله پرداخته شده است.

با بررسی بر روی حداکثر تنش وارد بر روی مقطع جوش در اتصال با تقویت لچکی تک در نمودار شکل ۵-۳۹ اتصال با کسر بعد ۱۰٪ اتصال توانایی تحمل ۰,۰۴ را ندارد در این اتصال حداکثر تنش فن میسر در اتصال مطابق شکل ۵-۴۱ در محل تشکیل مفصل پلاستیک بوده است. شکل ۵-۴۲ محل تشکیل مفصل پلاستیک را نشان می دهد کرنش معادل پلاستیک نیز در این اتصال در محل اتصال تیر به ستون رخ نمی باشد. در اتصال تیر به ستون با تقویت لچکی با ۵٪ کسر بعد در محل اتصال تیر به ستون تنها در گوشه این اتصال بعد جوش به حد جاری شدن میرسد که در شکل ۵-۴۰ نمودار مقایسه کرنش معادل پلاستیک در اتصال با نقص اولیه و رفع نقص با لچکی تک را نشان میدهد و مشاهده می شود که در عرض تیر کرنش معادل پلاستیک در حد صفر شده و تنها در لبه های اتصال تیر به ستون تا ۴۰٪ کرنش معادل پلاستیک خواهد رسید.

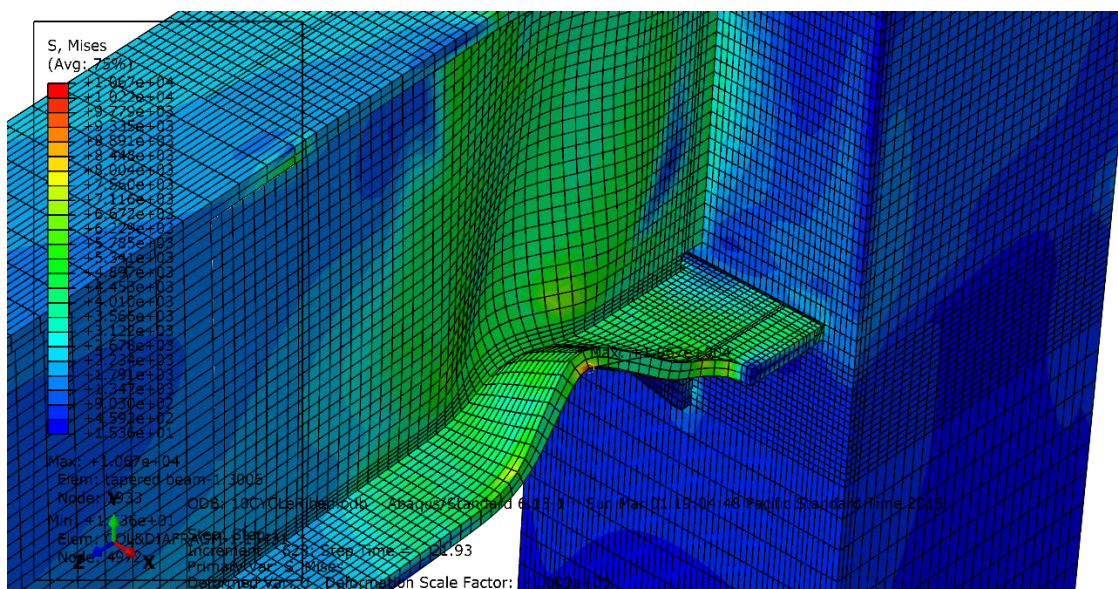


شکل ۵-۳۹ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۱۰٪ و با تقویت لچکی تک

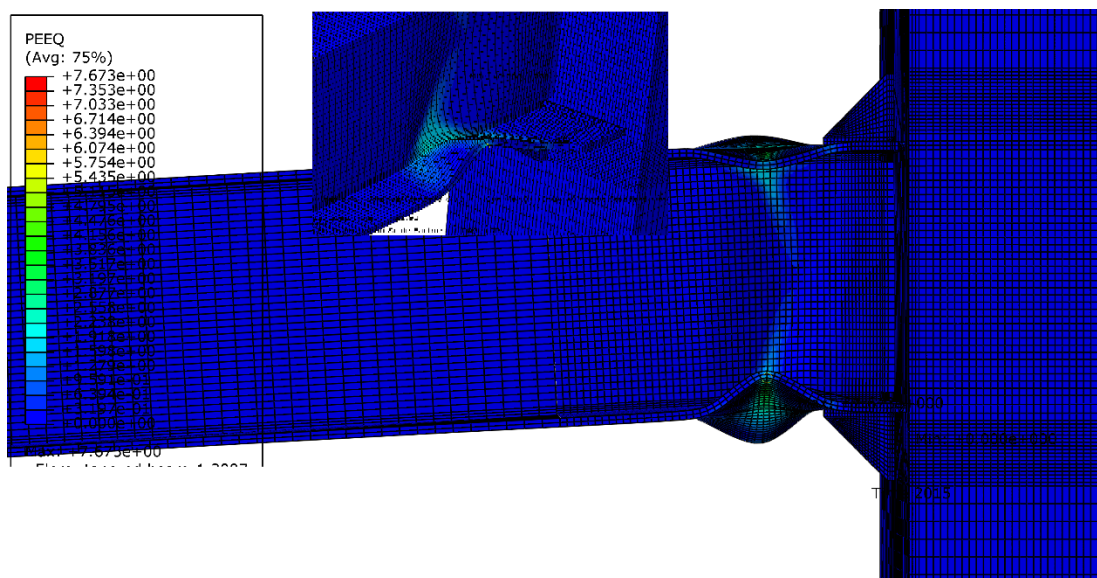




شکل ۵-۴۰- توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۱۰٪ با تقویت لچکی سری ۱ اتصال با تقویت لچکی تک، سری ۲ اتصال با تقویت لچکی

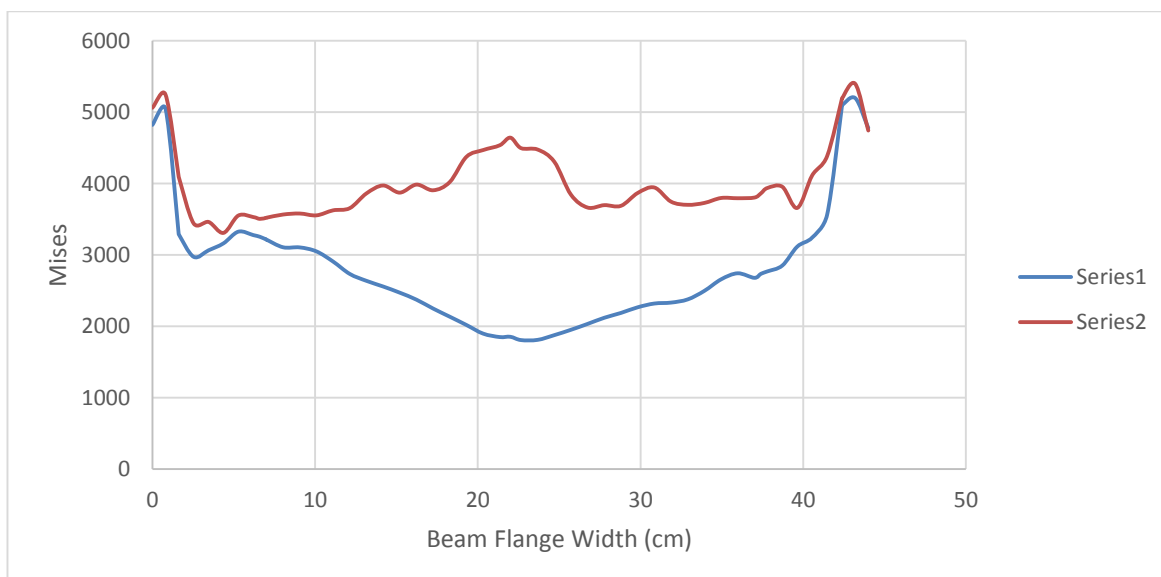


شکل ۵-۴۱- توزیع تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۱۰٪ با تقویت لچکی

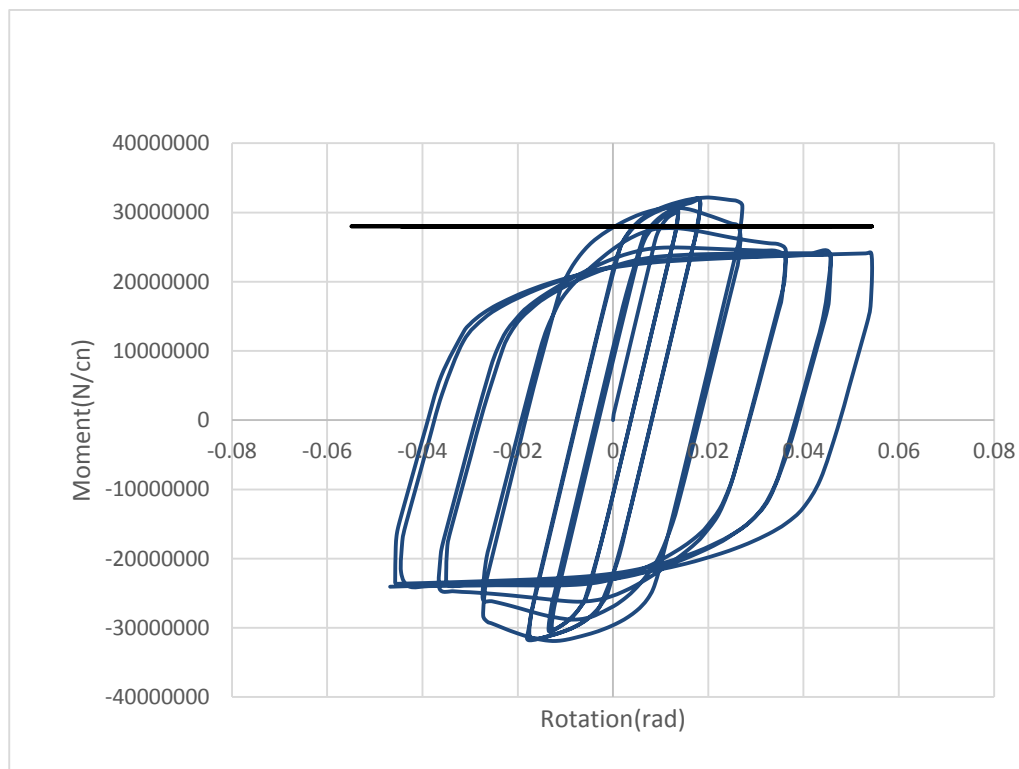


شکل ۵-۴۲- تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۱۰٪ با تقویت لچکی تک

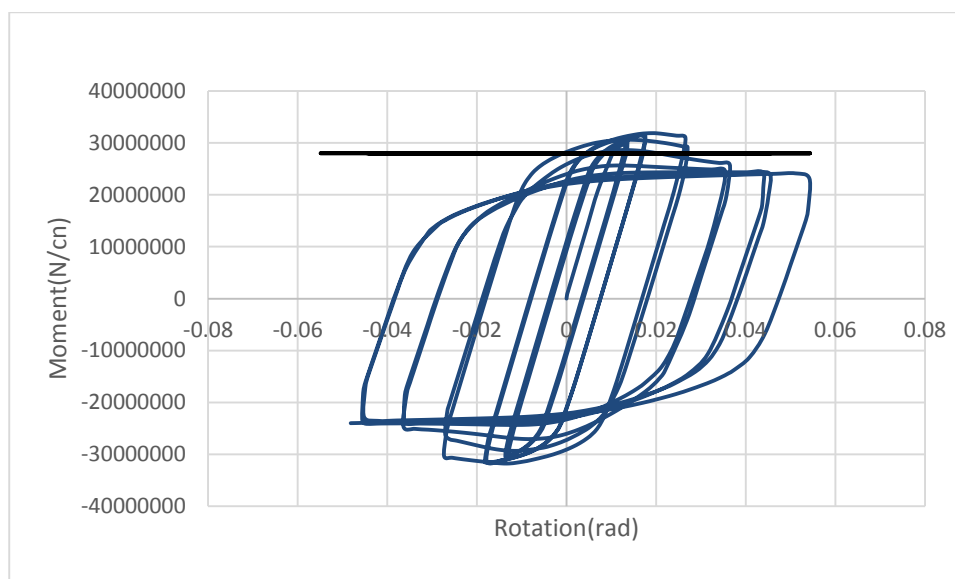
توزیع تنش میسز در عرض بال در دو نمونه با کسر بعد ۱۰٪ و نمونه با کسر بعد و تقویت لچکی در شکل ۵-۴۳ مقایسه شده است، در اتصال با لچکی تقویت تک میزان تنش فن میسز دز تیر ۷٪ کاهش یافته است. در عرض تیر تقویت با لچکی تک باعث کاهش تنش در عرض تیر شده ، میزان این کاهش در مرکز تیر بیشتر بوده است.



شکل ۵-۴۳- توزیع تنش فن میسز در عرض بال تیر در کسر بعد ۱۰٪ با تقویت لچکی سری ۱ اتصال با تقویت لچکی تک ، سری ۲ اتصال فاقد تقویت



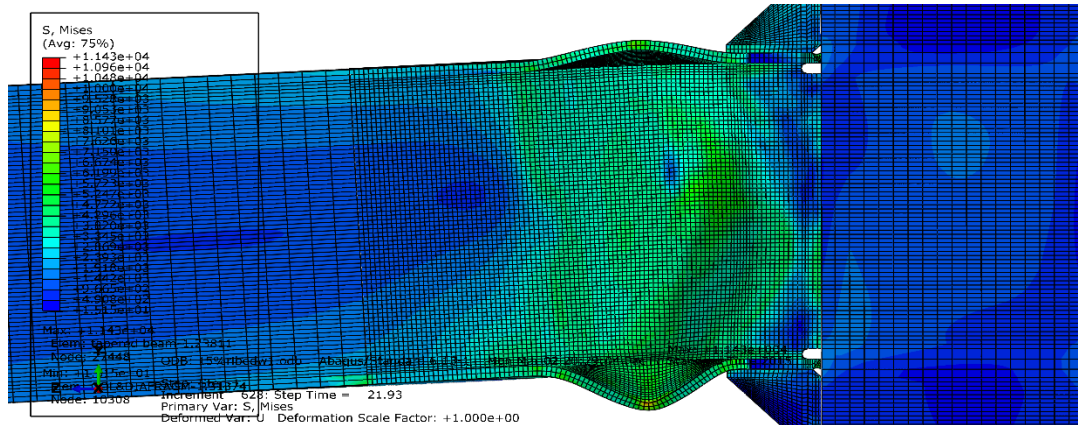
شکل ۴۴-۵ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۱۵٪ و با تقویت لچکی تک



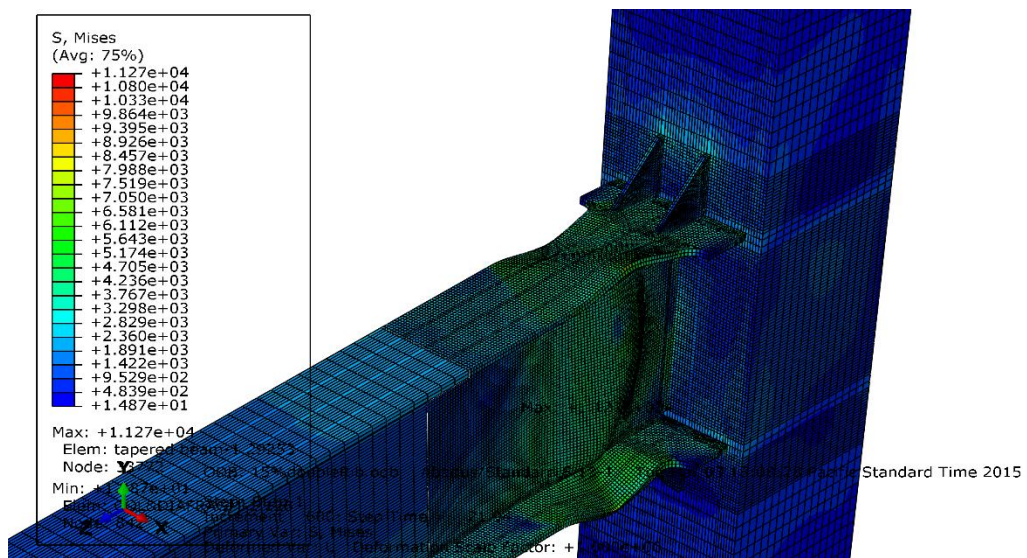
شکل ۴۵-۵ - نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۱۵٪ و با تقویت لچکی دوبله

با بررسی بر روی حداکثر تنش وارد بر روی مقطع جوش در اتصال با تقویت لچکی تک در نمودار شکل ۵-۴۴ اتصال با کسر بعد ۱۵٪ و شکل ۵-۴۵ اتصال با تقویت لچکی دوبله می باشد در هر دو اتصال، اتصال توانایی تحمل ۰,۰۴ را ندارد در این اتصال حداکثر تنش فن میسر در اتصال مطابق شکل ۵-۴۶ در اتصال با لچکی تک و شکل ۵-۴۷ اتصال با تقویت لچکی دوبله را نشان میدهد. شکل ۵-۴۸ به مقایسه

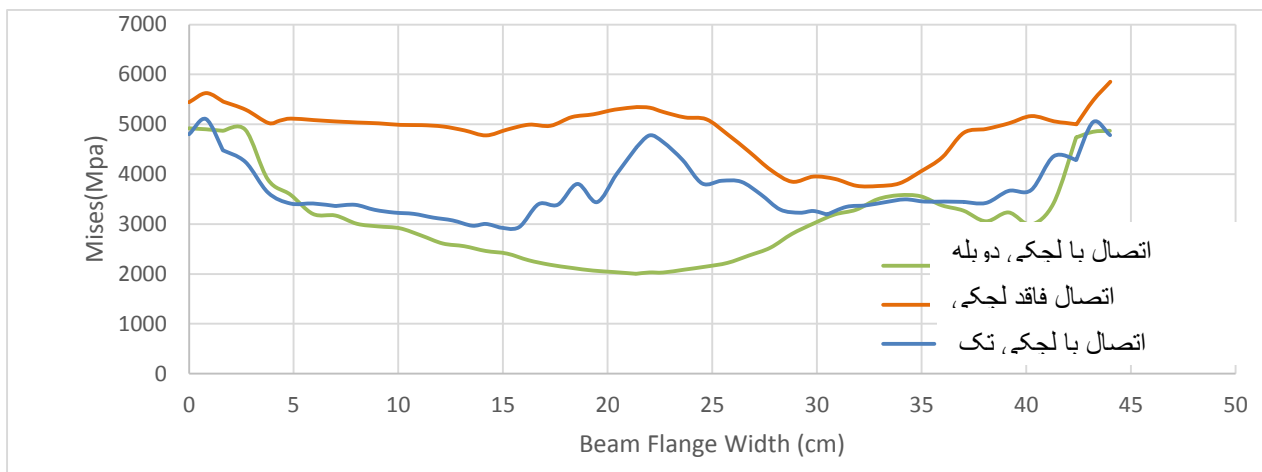
میزان تنش فن میسز در عرض بال تیر پرداخته است، در اتصال با لچکی دوبله در مرکز تیر بیشتر کاهش تنش را به همراه دارد که بیش از ۲٫۵ برابر این میزان تنش کاهش یافته است .



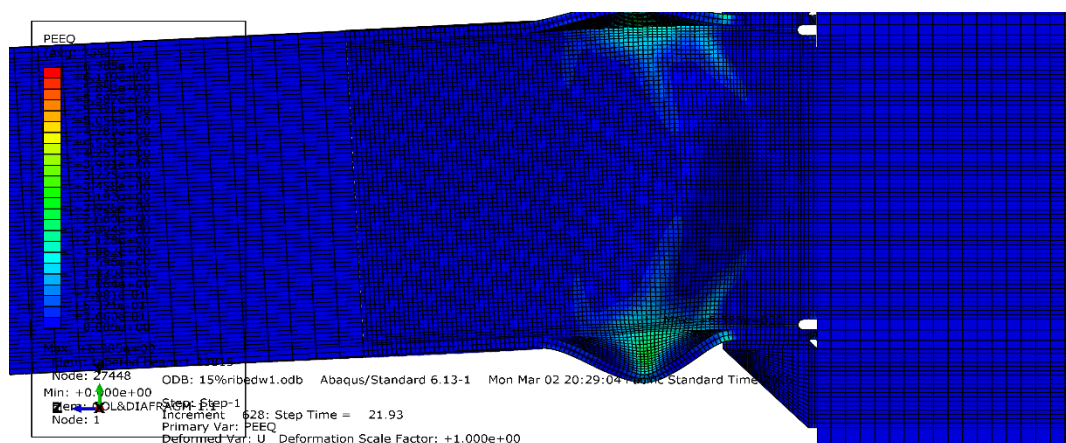
شکل ۵-۴۶- توزیع تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی تک



شکل ۵-۴۷- توزیع تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی دوبله

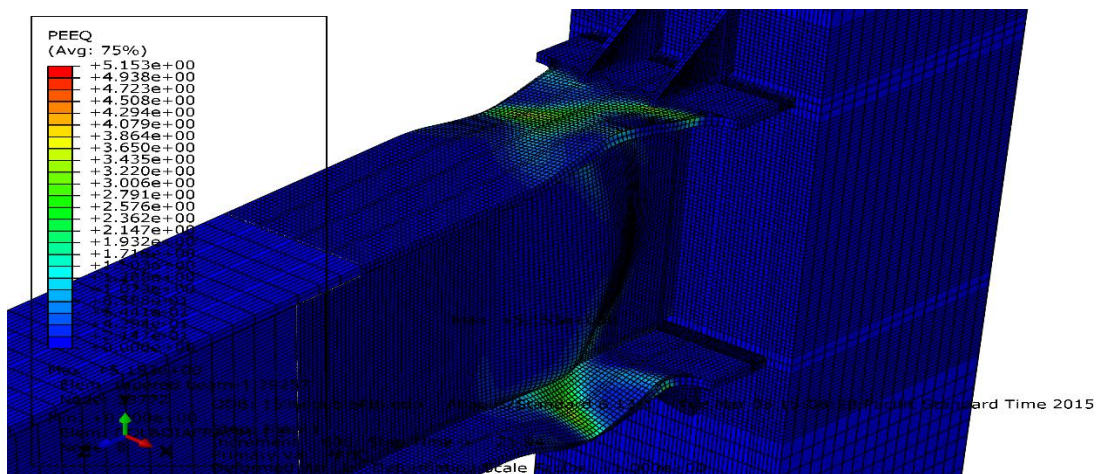


شکل ۵-۴۸- توزیع تنش فن میسز در عرض بال تیر در کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی  
 شکل ۵-۴۹ و ۵-۵۰ محل تشکیل مفصل پلاستیک را نشان می دهد کرنش معادل پلاستیک نیز در این اتصال در محل اتصال تیر به ستون رخ نمی باشد. در اتصال تیر به ستون با تقویت لچکی با ۱۵٪ کسر بعد در محل اتصال تیر به ستون تنها در گوشه این اتصال بعد جوش به حد جاری شدن میرسد که در شکل ۵-۵۱ نمودار مقایسه کرنش معادل پلاستیک در اتصال با نقص اولیه و رفع نقص با لچکی تک و بالچکی دوبله را نشان میدهد و مشاهده می شود که در عرض تیر کرنش معادل پلاستیک در حد صفر شده و تنها در لبه های اتصال تیر به ستون تا ۴۰٪ کرنش معادل پلاستیک خواهد رسید، در اتصال با تقویت لچکی دوبله نیز رفتار مشابه به اتصال با لچکی تک دارد.

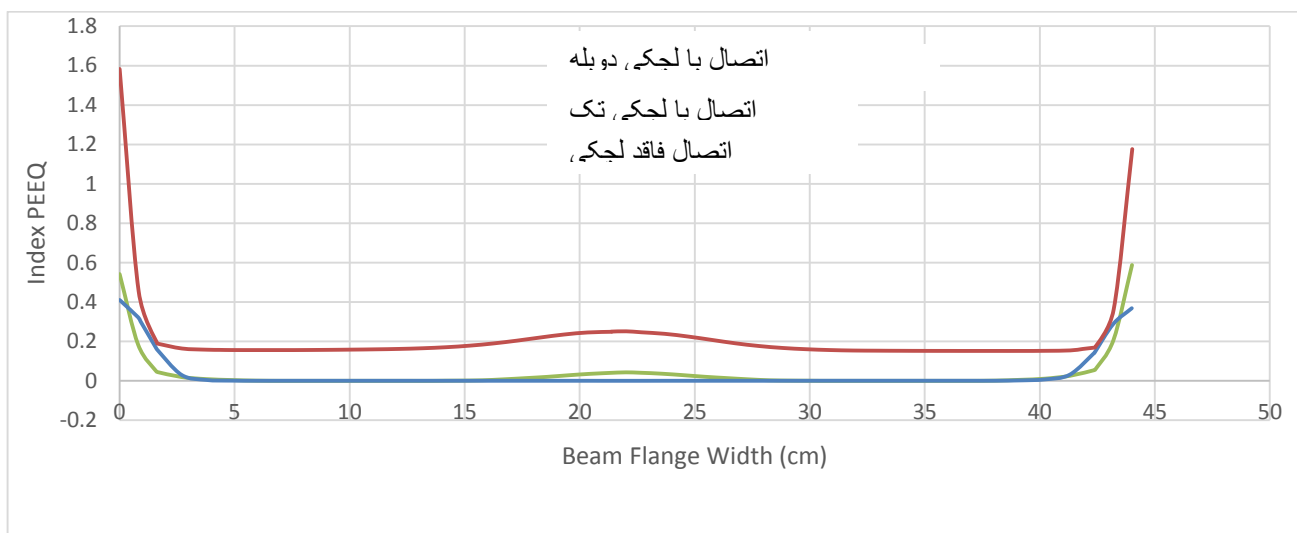


شکل ۵-۴۹- تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی تک



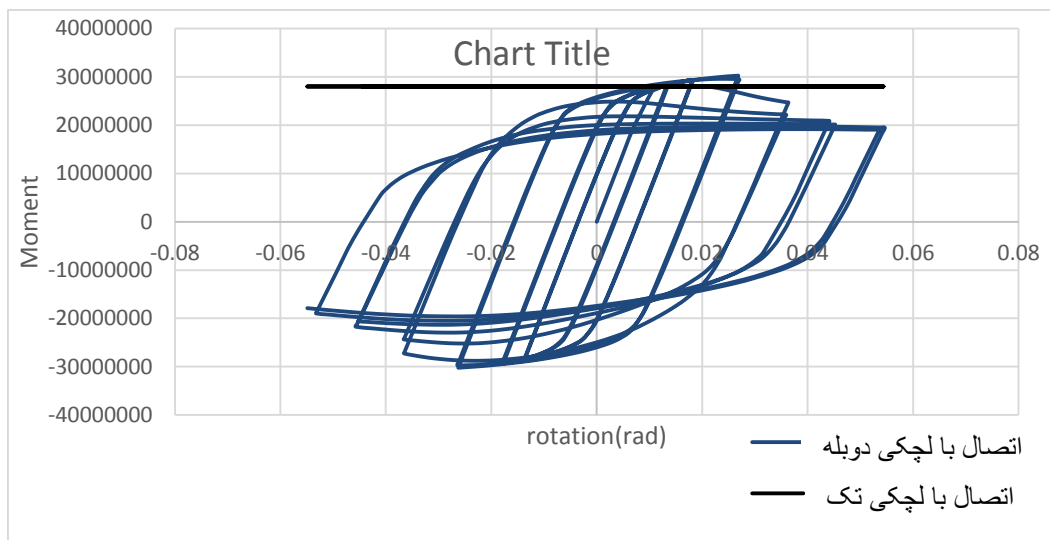


شکل ۵-۵۰- تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی دوبله

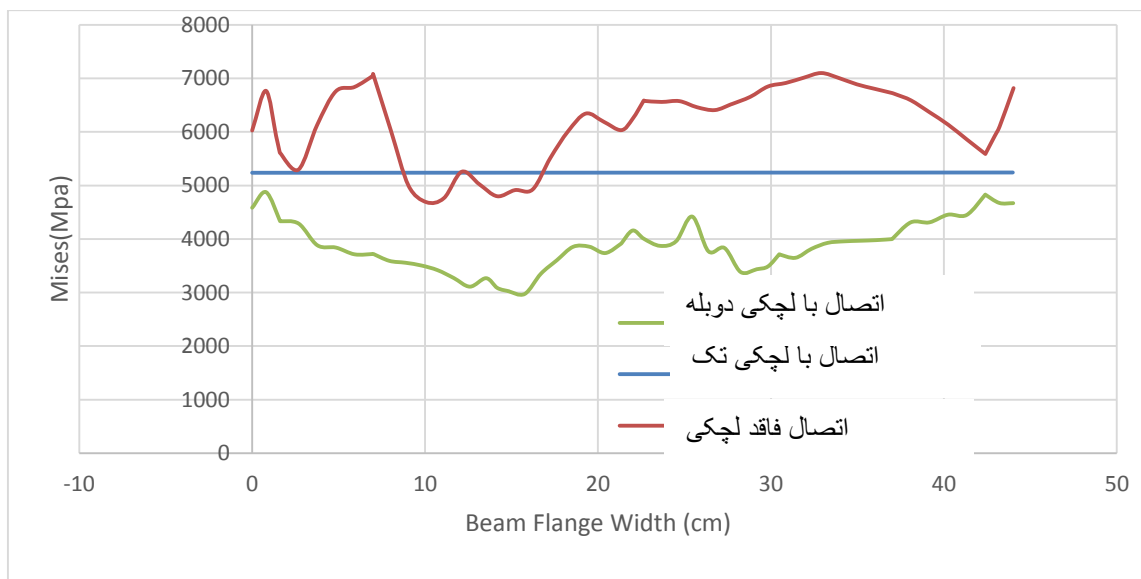


شکل ۵-۵۱- توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۱۵٪ با تقویت لچکی

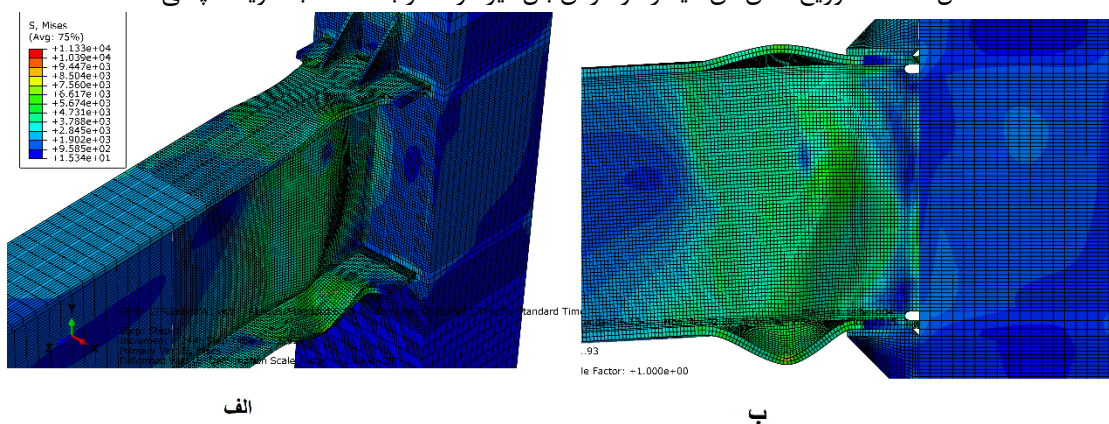
با بررسی بر روی حداکثر تنش وارد بر روی مقطع جوش در اتصال با تقویت لچکی تک و با تقویت لچکی دوبله می باشد در نمودار شکل ۵-۵۲ اتصال با کسر بعد ۲۰٪ می باشد. در هر دو اتصال توانایی تحمل ۰,۰۴ را ندارد را در ۸۰٪ لنگر پلاستیک خود دارا نمی باشند. در این اتصال حداکثر تنش فن میسر در اتصال مطابق شکل ۵-۵۴-ب در اتصال با لچکی تک و شکل ۵-۵۴-الف اتصال با تقویت لچکی دوبله را نشان میدهد. شکل ۵-۵۳ به مقایسه میزان تنش فن میسر در عرض بال تیر پرداخته است، در اتصال با لچکی دوبله در مرکز تیر بیشتر کاهش تنش را به همراه دارد که بیش از ۲۵٪ میزان تنش کاهش یافته است.



شکل ۵-۵۲- نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۲۰٪ و با تقویت لچکی دوبله



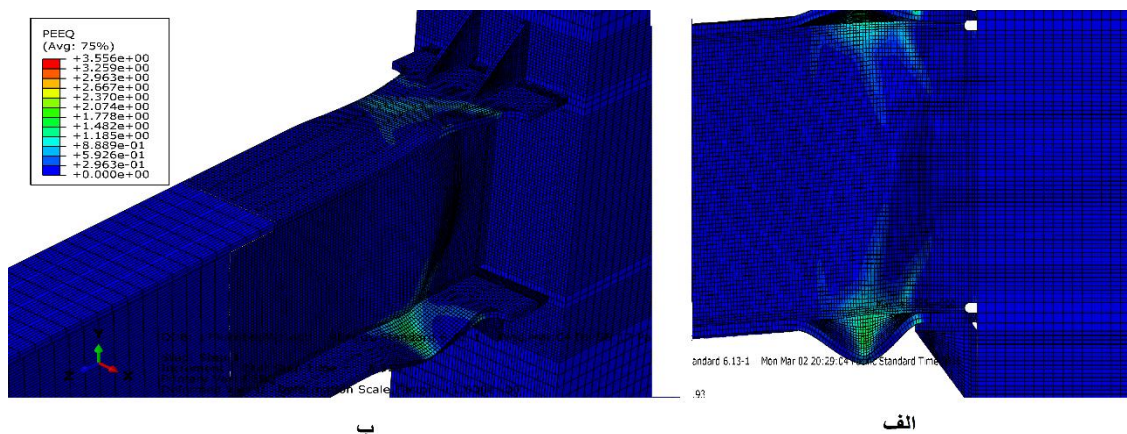
شکل ۵-۵۳- توزیع تنش فن میسز در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۰٪ با تقویت لچکی



شکل ۵-۵۴- توزیع تنش Mises در اتصال با کسر بعد ۲۰٪

### الف) با تقویت لچکی دوبله، ب) با لچکی تک

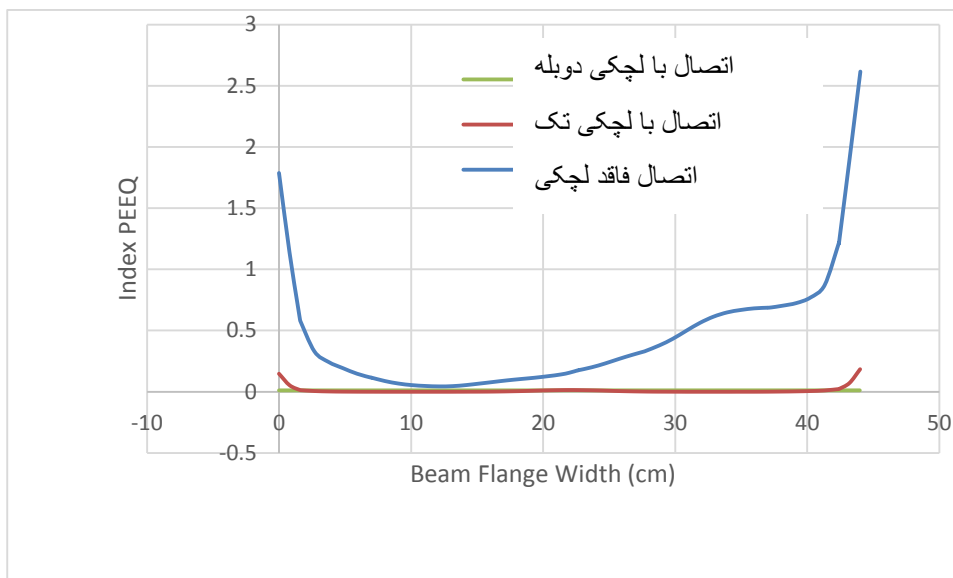
شکل ۵-۵۵ محل تشکیل مفصل پلاستیک را در اتصال تقویت شده با لچکی را نشان می دهد. کرنش معادل پلاستیک نیز در این اتصال در محل اتصال تیر به ستون رخ نمی باشد. در اتصال تیر به ستون با تقویت لچکی با ۲۰٪ کسر بعد در محل اتصال تیر به ستون تنها در گوشه این اتصال بعد جوش به حد جاری شدن میرسد که در شکل ۵-۵۶ نمودار مقایسه کرنش معادل پلاستیک در اتصال با نقص اولیه و رفع نقص با لچکی تک و با لچکی دوبله را نشان میدهد و مشاهده می شود که در عرض تیر کرنش معادل پلاستیک در حد صفر شده و تنها در لبه های اتصال تیر به ستون تا ۲۵٪ کرنش معادل پلاستیک خواهد رسید، در اتصال با تقویت لچکی دوبله نیز رفتار مشابه به اتصال با لچکی تک دارد.



شکل ۵-۵۵-تصویر توزیع اندیس PEEQ در اتصال با کسر بعد ۲۰٪

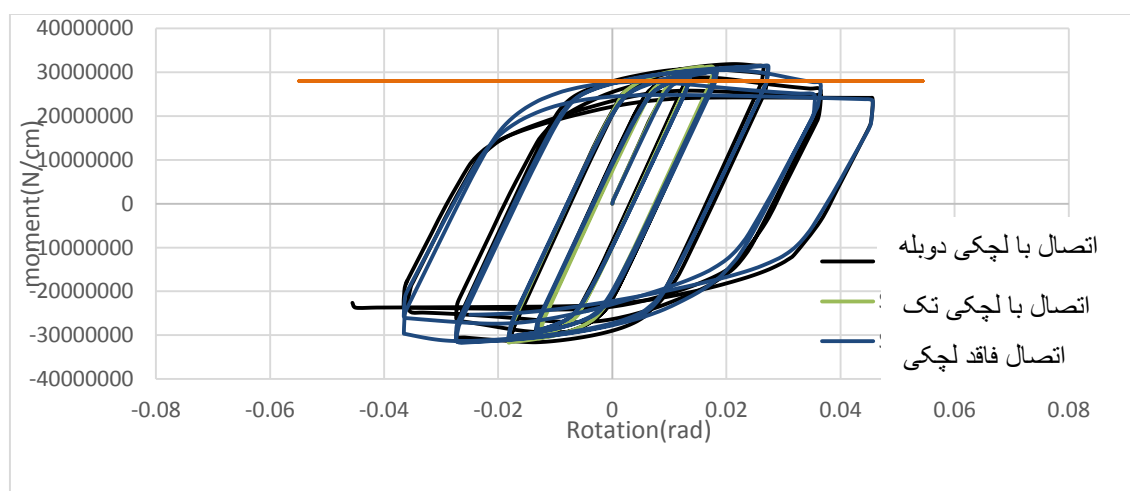
الف) با تقویت لچکی تک ب) با تقویت لچکی دوبله



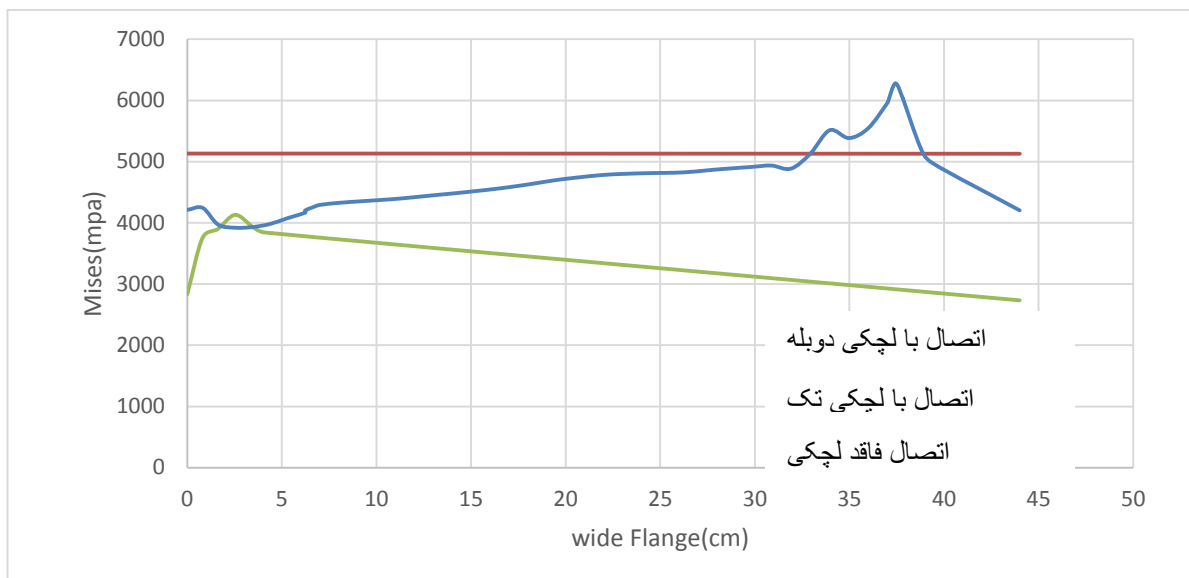


شکل ۵-۵۶- توزیع شاخص معادل پلاستیک در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۰٪ با تقویت لچکی

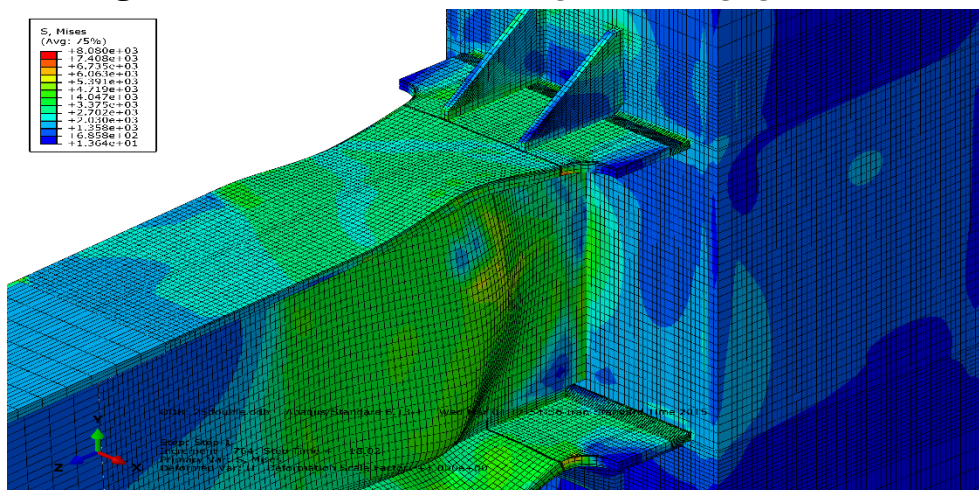
با بررسی بر روی حداکثر تنش وارد بر روی مقطع جوش در اتصال با تقویت لچکی تک و با تقویت لچکی دوبله می باشد در نمودار شکل ۵-۵۷ اتصال با کسر بعد ۲۵٪ می باشد. در هر دو اتصال توانایی تحمل  $0.04$  را ندارد را در  $80\%$  لنگر پلاستیک خود دارا نمی باشند. در این اتصال حداکثر تنش فن میسر در اتصال مطابق شکل ۵-۵۹ اتصال با تقویت لچکی دوبله را نشان میدهد. شکل ۵-۵۸ به مقایسه میزان تنش فن میسر در عرض بال تیر پرداخته است، در اتصال با لچکی دوبله در تیر بیشتر کاهش تنش را به همراه دارد که بیش از  $15\%$  میزان تنش کاهش یافته است.



شکل ۵-۵۷- نمودار لنگر-دوران با خطای ساخت ۲۵٪ و با تقویت لچکی دوبله و تقویت لچکی تک

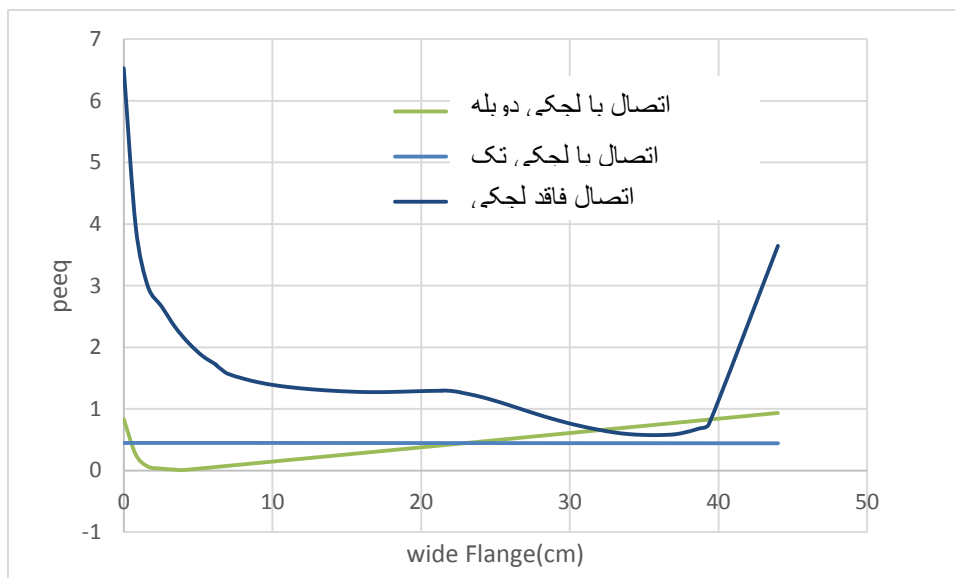


شکل ۵-۵۸- نمودار تنش فن میسز در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۵٪ با تقویت لچکی



شکل ۵-۵۸- توزیع تنش فن میسز در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۵٪ با تقویت لچکی

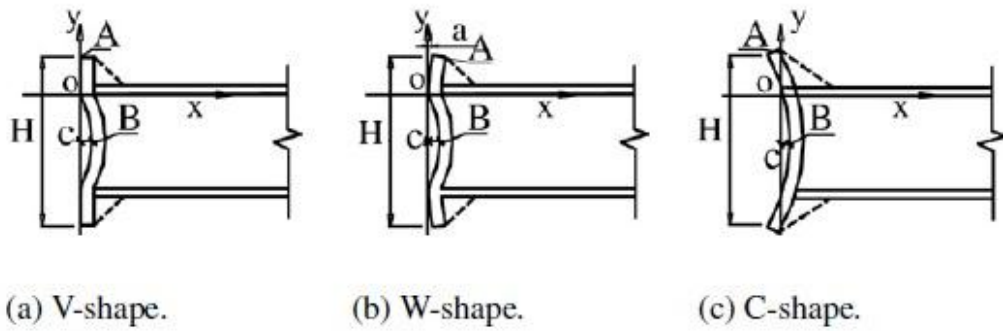
شکل ۵-۵۹ محل تشکیل مفصل پلاستیک را در اتصال تقویت شده با لچکی را نشان می دهد. کرنش معادل پلاستیک نیز در این اتصال در محل اتصال تیر به ستون رخ نمی باشد. در اتصال تیر به ستون با تقویت لچکی با ۲۰٪ کسر بعد در محل اتصال تیر به ستون تنها در گوشه این اتصال بعد جوش به حد جاری شدن میرسد که در شکل ۵-۶۰ نمودار مقایسه کرنش معادل پلاستیک در اتصال با نقص اولیه و رفع نقص با لچکی تک و بالچکی دوبله را نشان میدهد و مشاهده می شود که در عرض تیر کرنش معادل پلاستیک در حد صفر شده و تنها در لبه های اتصال تیر به ستون تا ۱۰٪ کرنش معادل پلاستیک خواهد رسید، در اتصال با تقویت لچکی دوبله نیز رفتار مشابه به اتصال با لچکی تک دارد.



شکل ۵-۵- توزیع شاخص PEEQ در عرض بال تیر در کسر بعد ۲۵٪ با تقویت لچکی تقویت اتصال به وسیله لچکی سخت کننده در بال بالا و پایین مشاهده میشود تا میزان ۱۰٪ نقص اولیه در اتصال سختی مورد در اتصال صلب فراهم شده. در کسر بعد جوش نفوذی ۱۰٪ تا ۲۰٪ اتصال سختی را می تواند تحمل کند نسبت سختی اتصال ۹٪ افزایش یافته و در کسر بعد جوش نفوذی ۲۰٪ تا ۳۰٪ نقص اولیه اصلاح اتصال با لچکی سخت کننده ۲۰ سانتیمتری باعث افزایش ۱۵٪ نسبت سختی در اتصال شده است، تقویت اتصال با استفاده از لچکی ۲۰ سانتیمتری باعث افزایش ۱۰ تا ۱۵٪ سختی اتصال شده اما در نهایت به ترمیم مطلوب در اتصال حاصل نشده است، به این منظور از دو لچکی سخت کننده در اتصال برای کسر بعد ۱۰٪ تا ۳۰٪ استفاده شد.

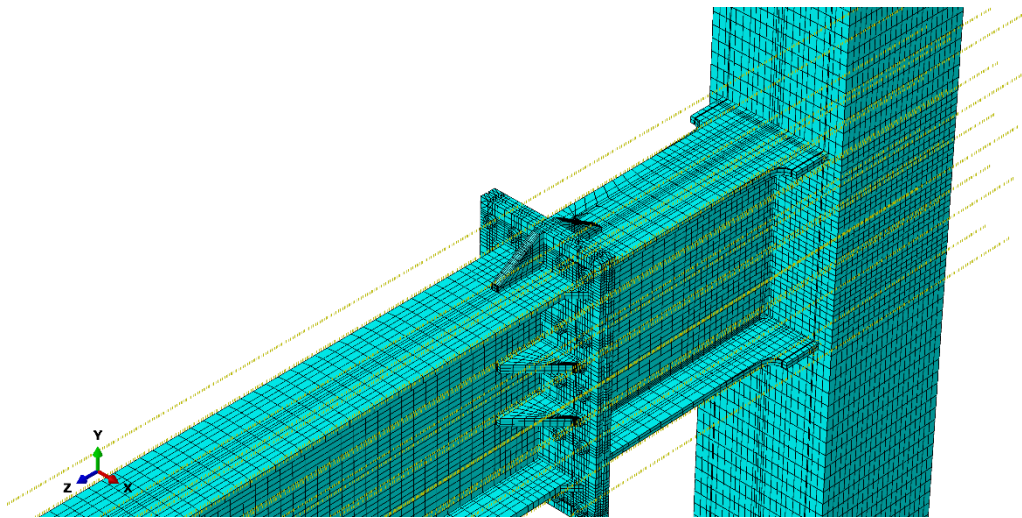
#### ۴-۵ بررسی نقص اولیه اتصال فلنجی

اثر نقص اولیه در فلنج توسط شیمیین چن وهمکاران [۱۸] مطالعه شده است. آنها نقص اولیه اتصال فلنجی را به سه نقص C-شکل و W-شکل و V-شکل مطابق شکل ۵-۵۲ دسته بندی کردند. ابعاد فلنج در این تحقیق 18 × 42 سانتیمتر بوده و از لچکی سخت کننده برای تامین سختی در فلنج استفاده شد، هشت پیچ پر مقاومت M20 از رده مقاومتی 10.9 اتصال فلنج به صورت اصطکاکی بوده و با نیروی ۱۵۵ کیلو نیوتن پیش تنیده شده است.

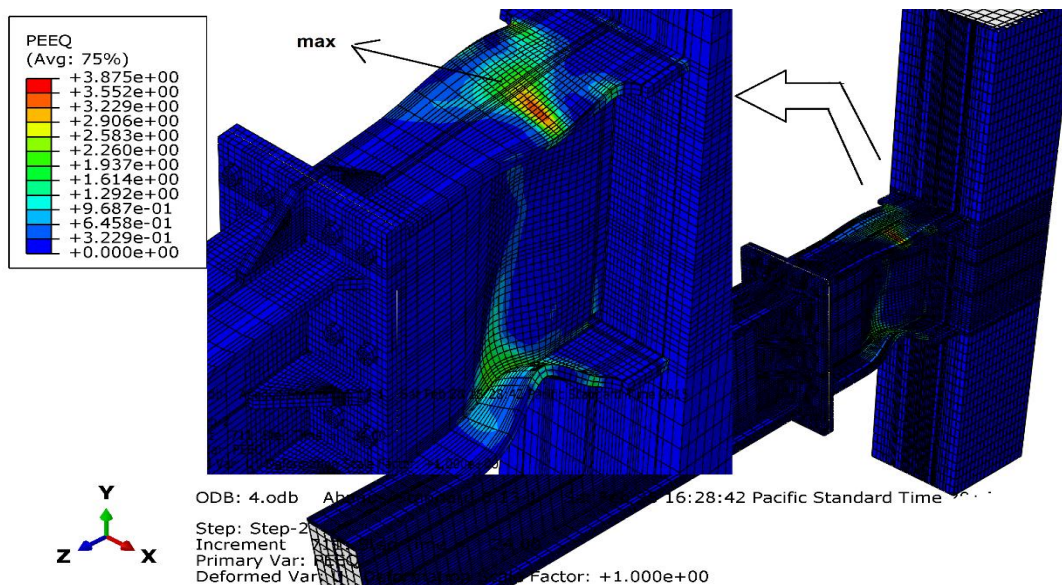


شکل ۵-۵۲-نقص اولیه در اتصال فلنچی ورق انتهایی

اتصال ستون درختی فلنچی با فلنچ  $100 \times 50 \times 30$  سانتی متری M1-L02 در شکل ۵-۵۳ مشاهده میشود نامیده شد. پیچها ۲۰ عدد پیچ ۲۸ بوده که نیرو پیش تنیدگی در ۵۵۰۰ کیلو گرم می باشد. مدل عددی در نرم افزار المان محدود Abaqus ساخته شد، شکل ۷-۱۸ به مقایسه نمودار چرخه ای اتصال مدل ستون درختی فلنچی را نشان میدهد.

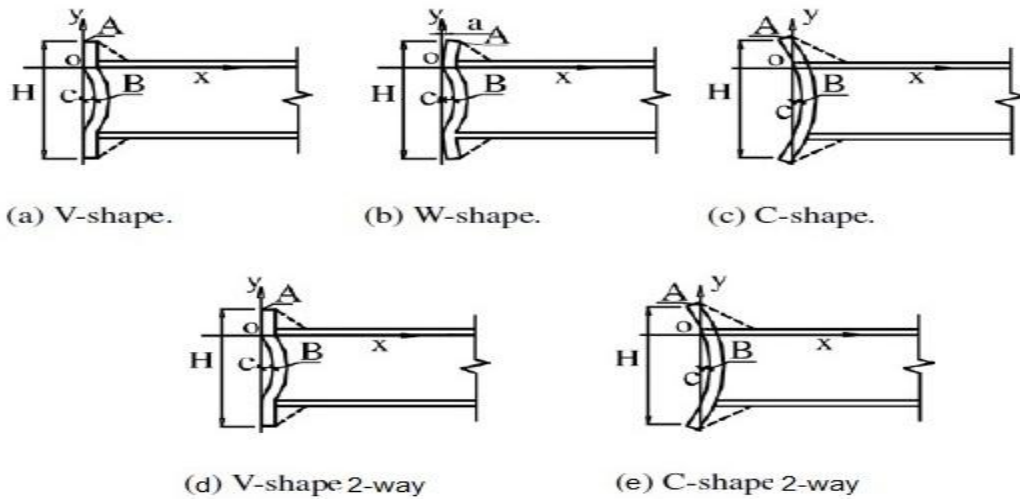


شکل ۵-۵۳-شکل مدل اجزا محدود فلنچی در نرم افزار Abaqus



شکل ۷-۵۴- تصویر توزیع تنش فن میسر در اتصال ستون درختی فلنجی

طبق دسته بندی انجام شده آیین نامه ملی چین ۲۰۰۵ [۱۸] میزان رواداری مجاز در نقص باز شدگی برای ارتفاع فلنج  $610 < (H = 1000) < 1200$  میلیمتر است ۵ میلیمتر اعلام کرد. معیار اعلام شده در آیین نامه چین در سال ۱۹۹۹ که میزان نقص اولیه محدود به میزان  $\frac{H}{300}$  باشد مورد استفاده خواهد بود. مطالعات انجام شده توسط shimingChen [۱۸] و آیین نامه چین [۱۹] بر روی جدا شدگی اتصال (مقادیر A, C شکل ۷-۵۳) پرداخته است اما به مقدار ارتفاع مجاز این نقص اشاره نشده است. در این پایان نامه بر روی مقدار ارتفاع مجاز در نقص اولیه بر روی سه نوع نقص اولیه معرفی شده توسط shimingChen پرداخته می شود و بررسی بر روی نقص اولیه دو محور در نمونه نقص اولیه C-شکل و V-شکل مطابق شکل ۵-۵۵ نشان داده شده نیز انجام میگیرد و در جدول ۵-۱ مشخصات مدل ها بر اساس مشخصات فلنج مدل و نوع نقص اولیه مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۵-۵۵-مدل با نقص اولیه اتصال فلنجی با نقص اولیه

جدول ۵-۱- نامگذاری مدلها با نقص اولیه بر اساس اندازه وضخامت فلنج

نام نمونه	ابعاد فلنج	میزان imperfection (a),(c)	شکل-c	شکل دوطرفه
W1-ic1	1000 × 500 × 30	۰,۵	y	N
W1-ic2	1000 × 500 × 30	۰,۵	n	Y
W2-ic1	1000 × 500 × 25	۰,۵	y	N
W2-ic2	1000 × 500 × 25	۰,۵	n	N
W3-ic1	1000 × 500 × 30	۰,۲۵	y	n
W3-ic2	1000 × 500 × 30	۰,۲۵	n	y
W4-ic1	1000 × 500 × 25	۰,۲۵	y	n
W4-ic2	1000 × 500 × 25	۰,۲۵	n	y
W5-ic1	1200 × 600 × 30	۰,۵	y	n
W5-ic2	1200 × 600 × 30	۰,۵	n	n
W5-ic1	1200 × 600 × 25	۰,۵	y	n
W5-ic2	1200 × 600 × 25	۰,۵	n	y
W7-ic1	1200 × 600 × 30	۰,۲۵	y	n
W7-ic2	1200 × 600 × 30	۰,۲۵	n	Y
W8-ic1	1200 × 600 × 25	۰,۲۵	y	N
W8-ic2	1200 × 600 × 25	۰,۲۵	n	Y
W9-ic1	1000 × 600 × 30	۰,۵	y	n
W9-ic2	1000 × 600 × 30	۰,۵	n	y
W10-ic1	1000 × 600 × 30	۰,۲۵	y	n

### ۵-۴-۱ بررسی نقص اولیه بر فلنج c-شکل

در این اتصال میزان ارتفاع نقص اولیه در فلنج است که جهت بررسی به پنج دسته پرداخته شده است

۱- ارتفاع نقص اولیه در محدوده بالای ردیف اول پیچ باشد

۲- ارتفاع نقص اولیه در محدوده اولین ردیف پیچ باشد

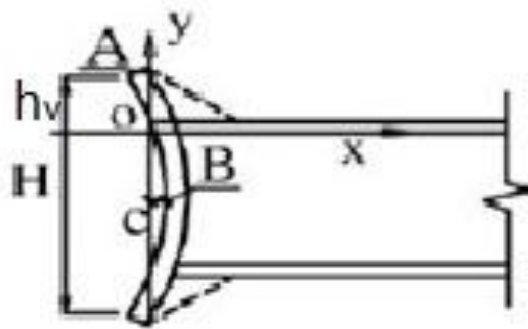
۳- ارتفاع نقص اولیه از محدوده ردیف اول گذشته باشد و در بین ردیف اول و دوم باشد

۴- ارتفاع نقص اولیه در محدوده بین ردیف دوم و سوم باشد

که در این تحقیق به بررسی دو مورد اول و دوم پرداخته خواهد شد

### ۵-۴-۱-الف: بررسی نقص اولیه در محدوده بالای ردیف اول پیچ باشد

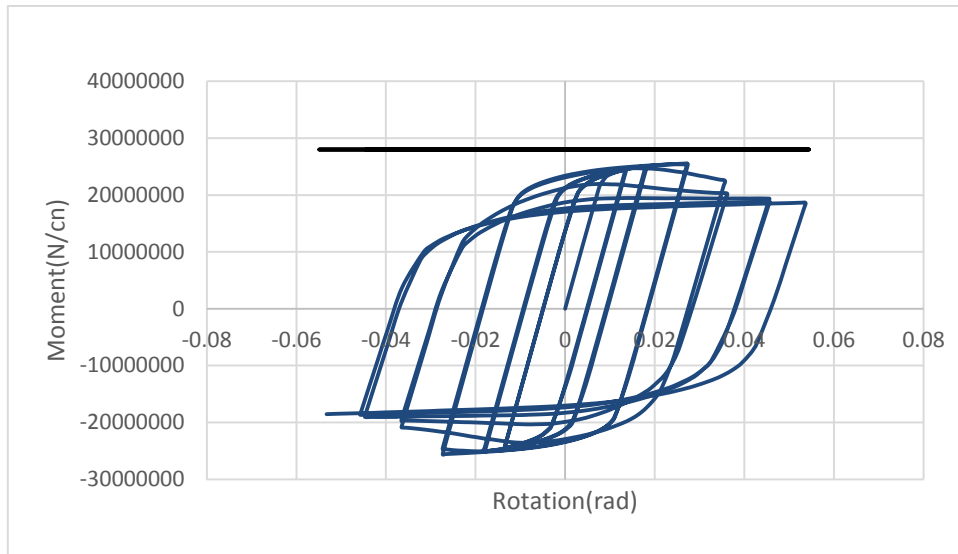
مدل اولیه با نقصهای C-شکل مورد بررسی قرار گرفت، ۱۰ نمونه با تغییر شکل ۵ میلیمتری بر روی فلنج (  $a=5\text{mm}$  ) و ۱۰ نمونه با تغییر شکل ۲,۵ میلیمتری بر روی فلنج (  $a=2.5\text{mm}$  ) با میزان ارتفاع (  $h=4.3\text{cm}$  ) برای نقص اولیه C-شکل مطابق شکل ۵-۵۶ پارامتر  $a$  جداشدگی دو فلنج از یکدیگر و  $h_v$  میزان ارتفاع این نقص نشان داده شده است، نمودار هیستریزس اتصال با نسبت پارامتر  $\frac{h_v}{H}$  کمتر از میزان ۰,۸ بوده مطابق شکل ۵-۵۷ می باشد این اتصال در ۰,۸٪ لنگر پلاستیک تحمل دوران ۰,۰۴ رادیان را ندارد. نتیجه حاصل شده سختی اتصال از میزان سختی اتصال صلب مطابق نتایج جدول ۵-۲ کمتر است.



C-shape.

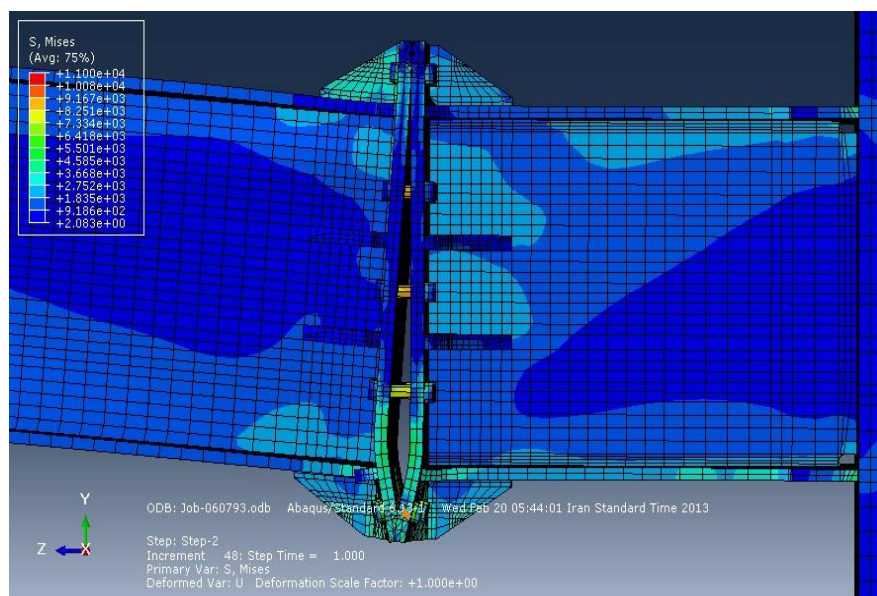
شکل ۵-۵۶-مدل نقص اولیه C-شکل





شکل ۵-۵۷- نمودار هیستریزیس اتصال C-شکل یک طرفه با نقص اولیه کمتر از ۰.۸٪

مطابق شکل ۵-۵۷ مکانیزم عملکرد اتصال در اعمال نیرو در مدل با اعمال نیرو تا دوران به ۰.۰۴ رادیان یکنواخت بوده، تمامی پیچ های ردیف پایین نیرو تا عبور از حد جاری شدن و رسیدن به پلاستیک تا رسیدن به تغییر مکان و بار نهایی تحمل می کند. این اتصال قادر به تامین ضوابط لرزه ای آیین نامه AISC نمی باشد جدول ۲-۷ و شکل ۵-۵۸ حداکثر نیرو تنش فن میسر در اتصال را نشان میدهد که با افزایش ضخامت و قطر فلنج در مدل بیشتر میشود. در جدول ۳-۵ به بررسی سختی اتصال پرداخته شده است که تا میزان ۴۰٪ سختی در اتصال کاهش می یابد.



شکل ۵-۵۸- تنش فن میسر در اتصال با تغییر شکل در اتصال



جدول ۵-۲- بررسی کرنش معادل پلاستیک و تنش فن میسز حداکثر در اتصال با نقص اولیه C- شکل در محدوده اول

نام نمونه	میزان imperfection (a)	حداکثر تنش فن میسز پیچ
W1-ic1	0.5	۱۰۹۰۰
W2-ic1	0.25	۱۰۵۰۰
W3-ic1	0.5	۱۱۰۰۰
W4-ic1	0.25	۱۱۰۲۰
W5-ic1	0.5	۱۱۶۳۰
W6-ic1	0.25	۱۱۵۴۰
W7-ic1	0.5	۱۱۷۳۰
W8-ic1	0.25	۱۱۴۵۰
W9-ic1	0.5	۱۱۶۵۰
W10-ic1	0.25	۱۱۴۵۰

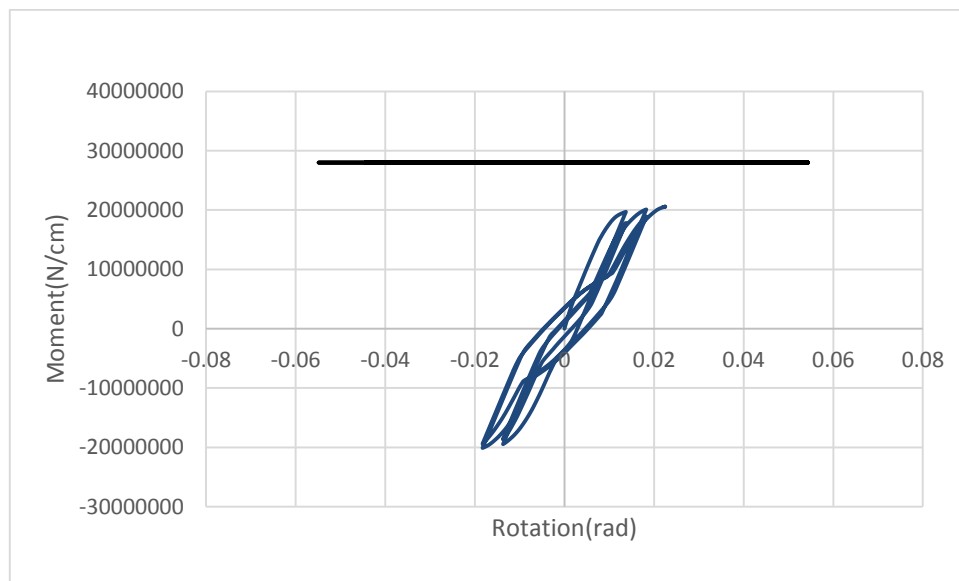
جدول ۵-۳- بررسی سختی در اتصال با نقص اولیه C- شکل در محدوده اول

نام نمونه	$M_u$ (KN.m)	$\Delta M_u$ (%)	$K_s$	$\Delta K_s$ (%)	$\phi_u$	$\Delta \phi_u$ (%)
W1-ic1	۱۵۳,۹۴	۵۳	45270720	60	0/04	1
W2-ic1	۱۵۲,۴۴	۵۲	45118013	59/4	0/034	0/85
W3-ic1	۱۵۵,۶۴	۵۴	44969833	58/806	0/035	0/875
W4-ic1	۱۵۳,۴۸	۵۳,۲	44026134	58/21794	0/032	0/8
W5-ic1	۱۴۶,۴۶	۵۰	43486873	57/63576	0/033	0/825
W6-ic1	۱۴۵,۲۳	۵۰,۱	43052004	57/0594	0/034	0/85
W7-ic1	۱۶۱,۴۶	۵۶	43621484	56/48881	0/038	0/95
W8-ic1	۱۵۶,۹۱	۵۴,۴	43195269	55/92392	0/037	0/925
W9-ic1	۱۵۱,۲۶	۵۲,۲	43773317	55/36468	0/039	0/975
W10-ic1	۱۵۳,۹۴	۵۳,۴	43355584	54/81103	0/04	1

#### ۵-۴-۱-ب: بررسی نقص اولیه در محدوده اولین ردیف پیچ باشد

مدل اولیه با نقصهای C- شکل مورد بررسی قرار گرفت در ۱۰ نمونه با تغییر شکل ۵ میلیمتری بر روی فلنج (a=5mm) و ۱۰ نمونه با تغییر شکل ۲,۵ میلیمتری بر روی فلنج (a=2.5mm) با تغییر ارتفاعی در بازه ۴,۳ تا ۸,۳ سانتی متر ( $4.3 < h < 8.3$ ) که در آن  $\frac{h_v}{H}$  از میزان ۱۵٪ کمتر بوده است. بارگذاری اعمال شده مطابق بار دورانی ۰,۰۶ رادیان به صورت چرخه ای اعمال شده است.

نقص اتصال در بررسی انجام شده روی فلنج ورق انتهایی به اتصال فلنجی بدون لبه تبیل شده است و پیچ های در دو ردیف بالا و پایین پیش تنیده عمل نخواهند کرد . میزان اتکای اتصال بین دو فلنج در اتصال اصطکاکی ۹۱,۴٪ سطح اولیه اتصال مورد بحث را دارد. سطح اصطکاک جهت تامین پیش تنیدگی تا میزان ۸۳,۴٪ کاهش می یابد، در این نقص ماهیت اتصال در بخش نقص به صورت اتکایی نیست و فقط به بررسی اتصال در ۸۳,۴٪ باقی مانده خواهیم پرداخت.



شکل ۵-۵۸- نمودار هیستریزیس اتصال C- شکل یک طرفه با نقص اولیه تا ۱۵٪

با توجه به شکل ۵-۵۸ اتصال تحت بارگذاری چرخه ای دوران معادل ۰,۰۴ رادیان را به علت کاهش سطح اتکای اتصال تحمل نمیکنند و به علت نیرو کششی وارد بر پیچ ها در ردیف پایین به مرحله پلاستیک خواهد رسید. اتصال دوران ۰,۰۲ رادیان را تحمل نمی کند و عملکرد اتصال اتکائی نیست.

جدول ۵-۵ زیر میزان کاهش تحمل اتصال در نشان نسب به نقص الف را مشاهده می شود

جدول ۴-۵ - بررسی تنش فن میسر حداکثر در اتصال با نقص اولیه C- شکل در محدوده دوم

نام نمونه	میزان imperfection (a)	حداکثر تنش فن میسر پیچ (Mpa)
W1-ic1	0.5	12021
W2-ic1	0.25	12022
W3-ic1	0.5	11950
W4-ic1	0.25	12200
W5-ic1	0.5	12080
W6-ic1	0.25	11995
W7-ic1	0.5	12400
W8-ic1	0.25	11890
W9-ic1	0.5	12010
W10-ic1	0.25	12325

جدول ۵-۵ - بررسی سختی در اتصال با نقص اولیه C- شکل در محدوده دوم

نام نمونه	$M_u$ (KN.m)	$\Delta M_u$ (%)	$K_s$	$\Delta K_s$ (%)	$\phi_u$	$\Delta \phi_u$ (%)
W1-ic1	126/7364	44	40743648	54	0/02	0/5
W2-ic1	125/5021	43.5	40336212	53.4	0/017	0/425
W3-ic1	128/1359	44.4	40852342	52.9	0/0175	0/4375
W4-ic1	126/3574	43.8	40235494	52.3	0/016	0/4
W5-ic1	120/5779	41.8	39898186	51.8	0/0165	0/4125
W6-ic1	119/5672	41.5	39890004	51.3	0/017	0/425
W7-ic1	132/9305	46.15	39359336	50.8	0/019	0/475
W8-ic1	129/1823	44.8	39975742	50.1	0/0185	0/4625
W9-ic1	124/5367	43.2	40001985	49.8	0/0195	0/4875
W10-ic1	123/8467	43	39990026	49.33	0/02	0/5

در جدول ۴-۵ بررسی حداکثر تنش فن میسر که در اتصال اتفاق رخ میدهد، مشاهده می شود مطابق جدول ۵-۵ با کاهش ۲۸٪ مقاومت اتصال تحمل لنگر نهایی را نخواهد داشت سختی اتصال نیز در بازه قاب خمشی قرار ندارد.

۴-۵-۱-ج و د: بررسی نقص اولیه در محدوده ردیف اول گذشته باشد و در محدوده میانی باشد.

مدل اولیه با نقصهای C- شکل مورد (ج) بررسی قرار گرفت در ۱۰ نمونه با تغییر شکل ۵ میلیمتری بر روی فلنج (a=5mm) و ۱۰ نمونه با تغییر شکل ۵ میلیمتری بر روی فلنج (a=2.5mm) با تغییر ارتفاعی در بازه ۸,۳ تا ۲۸ سانتی متر ( $8.3 < h < 28$ ) با توجه به پارامتر  $\frac{h_v}{H}$  از ۱۵٪ بیشتر شده

است. از طرفی میزان دوران الاستیک مجاز ۰,۰۱۲۵ بوده است لنگر معادل آن بطور میانگین 130KN.m بوده است، توجه به ضوابط لرزه ای آیین نامه فولاد آمریکا که ۸۰٪ لنگر پلاستیک بار نهایی اعمال شده بر اتصال که معادل دوران ۴٪ را تحمل نخواهد کرد اتصال فاقد مقاومت خمشی خواهد بود. صورت تغییر مکان انتهایی تیر در جهت محور دوم قرار داده شد نتایج بصورت زیر حاصل شد

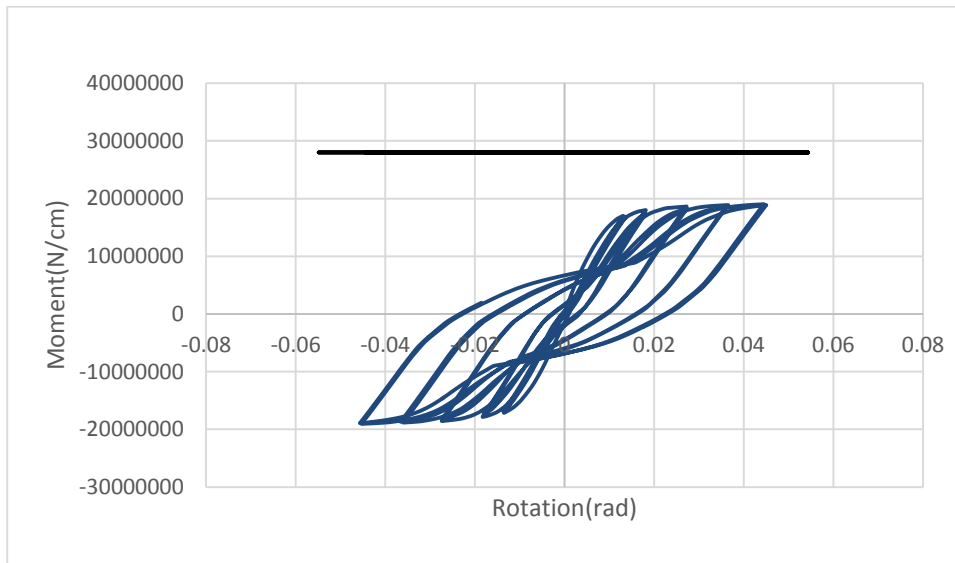
بررسی انجام شده بر روی اتصال با نقص اولیه C-شکل، ۳۰٪ از ورق فلنج انحنا دارد و اتصال ورق انتهایی به اتصال فلنجی بدون گستردگی فلنج تبدیل شده است. پیچ های در دو ردیف بالا و پایین فاقد پیش تنیدگی بوده و عدم اتکا در اتصال در ۴۴ درصد از اتصال اصطکاک وجود خواهد داشت. اتصال فلنجی در بارگذاری چرخه ای از حالت اصطکاکی خارج شده و پیچ ها تحمل نیرو می کنند، اتصال فلنج در محدوده میانی باشد قادر به تحمل دوران معادل ۰,۰۰۱۲۵ و نیروی خمشی طرح شده برای اتصال خمشی را نخواهد داشت.

در این نقص مورد بررسی (د) میزان  $\frac{h_v}{H}$  بیش از ۲۰٪ بوده که در بررسی انجام شده در ۱۰ نمونه با تغییر شکل ۵ میلیمتری بر روی فلنج (a=5mm) و ۱۰ نمونه با تغییر شکل ۲,۵ میلیمتری بر روی فلنج (a=2.5mm) با تغییر ارتفاعی بیش از ۲۸ سانتی متر ( $h > 28$ ) با توجه به پارامتر  $\frac{h_v}{H}$  سختی این اتصال بیش از ۵۵٪ کاهش یافته که اتصال تحمل دورن نهایی ۰,۰۱۲ را دارا نیست این اتصال فاقد توانایی تحمل لنگر نهایی حداقل  $M_u = 125\text{KN}$  را نیست

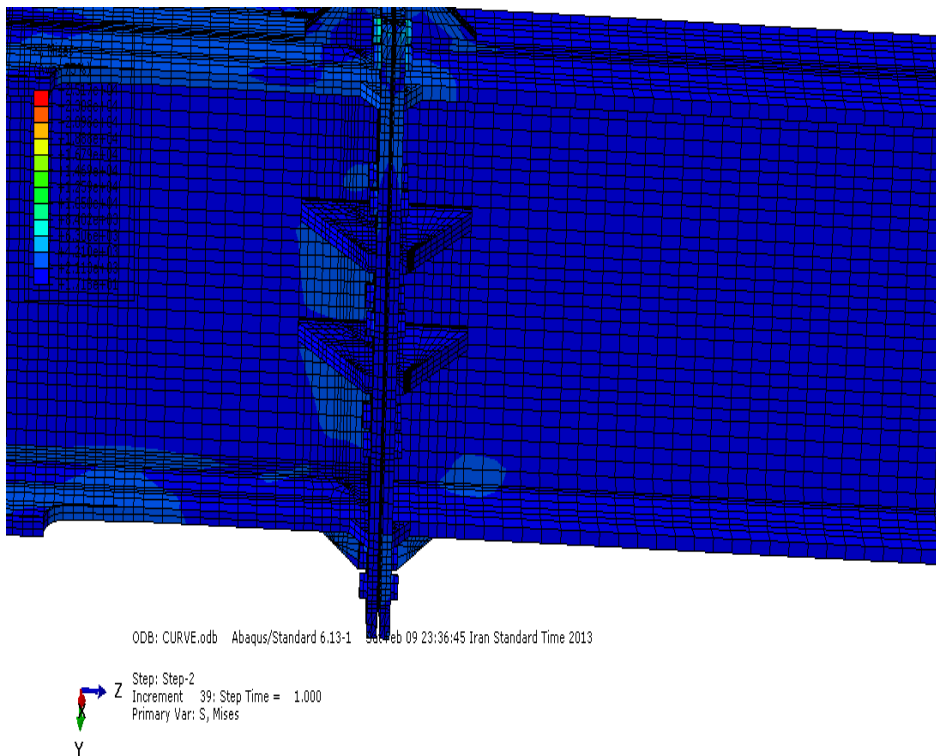
#### ۵-۴-۲ بررسی نقص اولیه بر فلنج C-شکل دو طرفه

مدل اولیه با نقصهای C-شکل دو طرفه مورد بررسی قرار گرفت شکل ۵-۶۰ تنش میسر در اتصال با نقص اولیه را نشان می دهد. در ۱۰ نمونه با تغییر شکل ۵ میلیمتری بر روی فلنج (a=5mm) و ۱۰ نمونه با تغییر شکل ۵ میلیمتری بر روی فلنج (a=2.5mm) با تغییر ارتفاعی ( $h_v = 4.3\text{cm}$  عمودی))

۴,۳ سانتیمتر و  $h_h=5\text{cm}$  (افقی)) تحت بارگذاری دورانی گرفت، برای بررسی اتصال با نقص اولیه دوطرفه از پارامتر  $\frac{A_i}{A}$  استفاده می کنیم که در  $A_i$  سطح فاقد اتصال و دارای نقص می باشد و  $A$  سطح کل اتصال فلنج می باشد. میزان نقص در دوپارامتر  $h_v$  و  $h_h$  میزان نسبت نقص اولیه  $\frac{A_i}{A}$  تا میزان ۱۸٪ بررسی شد.



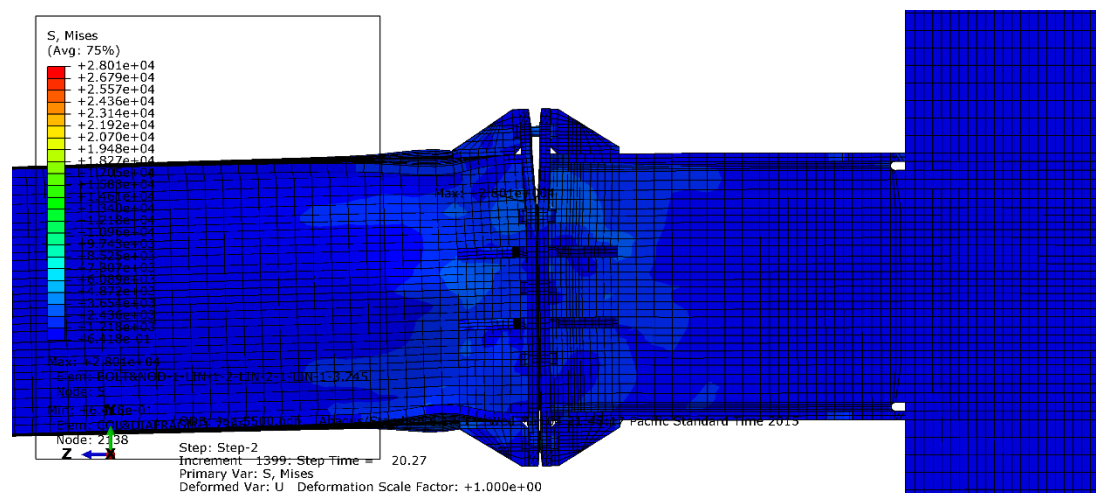
شکل ۵-۵۹- نمودار هیستریزیس اتصال C-شکل دوطرفه با نقص اولیه تا ۱۸٪



شکل ۵-۶۰- بررسی تنش میسز در اتصال C-شکل دو طرفه

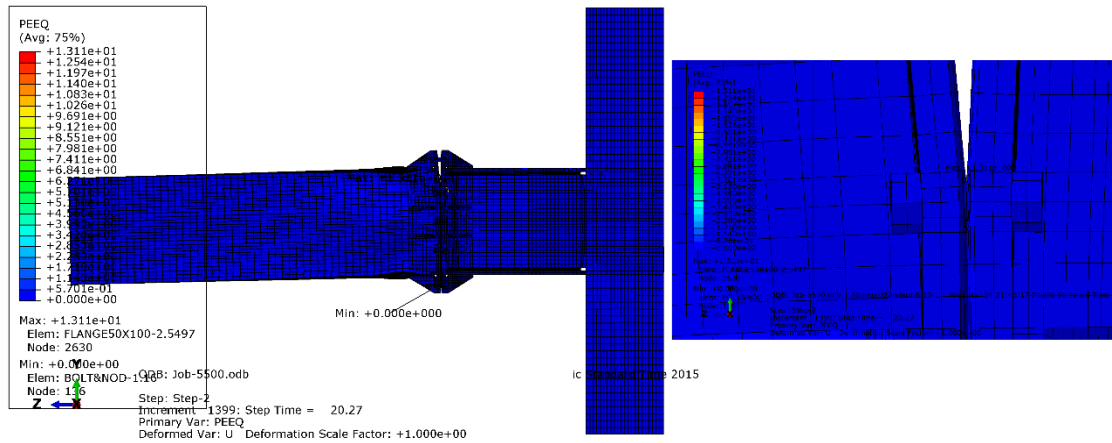
در این نقص رفتار اتصال تا میزان ۶٪ نقص اولیه مشابه C-شکل یک طرفه بوده یعنی دوران ۰,۰۴ نهایی را تحمل خواهد کرد و مطابق شکل ۵-۵۹ در نمودار هیستریزیس این اتصال بوده است در دریفت ۰,۰۲۸ رادیان پیچ ها در اتصال مقاومت خود را از دست می دهند، اتصال بر اساس ضوابط لرزه ای آیین نامه توانایی تحمل ۸۰٪ لنگر پلاستیک در اتصال در دوران ۴٪ رادیان را ندارد. مطابق جدول ۵-۶ در دوران نهایی تا مکانیزم عملکرد اتصال در  $\frac{A_i}{A}$  به میزان ۱۰٪ سختی اتصال در حالت فاقد نقص خواهد رسید و مقاومت اتصال نیز تا مقدار ۲۵٪ مقاومت اولیه رسیده است. در اعمال نیرو رفتار اتصال با اعمال نیرو تا بسته شدن محل نقص در دوران ۲,۵٪ رادیان بصورت غیر یکنواخت بوده اما به علت سطح اتکابی کم دو اتصال نسبت به هم در اصطکاک کافی ایجاد نمی شود و از طرفی پیچ های محیطی از سطح اتکای کمتری نسبت به پیچ های داخلی برخوردار است، در محل نقص افقی اتصال با افزایش جابجایی فلنچ کمانش و در محل پیچ های تحت کشش جاری می شود و لبه بیرونی فلنچ صورت تکیه گاه عمل میکند و باعث ایجاد کمانش در فلنچ شده و تمامی پیچ های ردیف پایین نیرو تا عبور از حد جاری شدن و رسیدن به پلاستیک تا رسیدن به تغییر مکان و بار نهایی تحمل خواهند کرد.

شکل ۵-۶۱ تنش میسر و تغییر شکل های بوجود آمده در اتصال را نشان میدهد، در این اتصال تنش فن میسر تا میزان ۲۸۰۰۰ Mpa افزایش می یابد که محل این تنش در پیچ ها می باشد.



شکل ۵-۶۱- بررسی تنش میسر و تغییر شکل نهایی تحت بار لرزه ای در اتصال C-شکل دو طرفه

تغییر شکل معدل پلاستیک نیز با توجه به شکل ۵-۶۲ در محل پیچ ها به حداکثر میزان خود رسیده است. در این اتصال میزان این کرنش تا ۱۳ برابر کرنش پلاستیک در اتصال رسیده است.



شکل ۵-۶۲- بررسی کرنش معادل پلاستیک و تغییر شکل نهایی تحت بار لرزه ای در اتصال C-شکل دو طرفه

جدول ۵-۶- بررسی سختی ومدهای گسیختگی در اتصال با نقص اولیه C-شکل دو طرفه

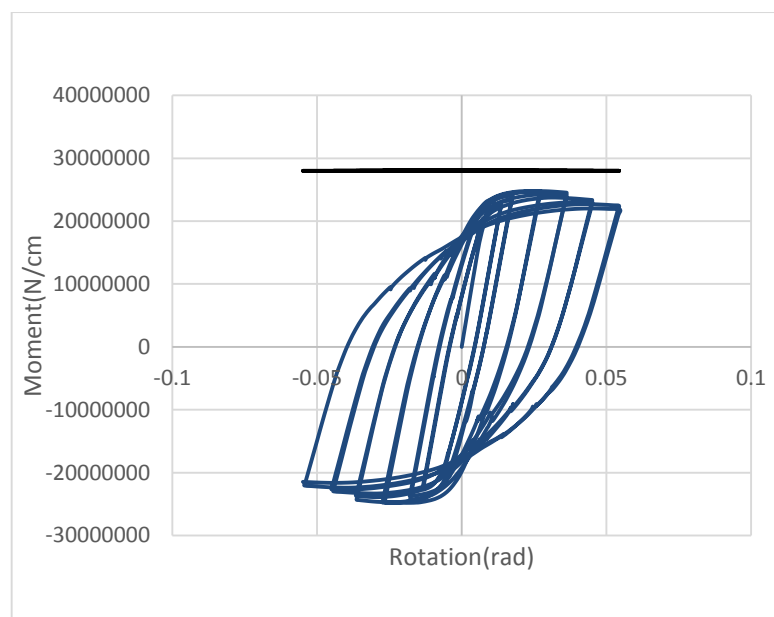
نام نمونه	$M_u$ (KN.m)	$\Delta M_u$ (%)	$K_s$	$\Delta K_s$ (%)	$\phi_u$	$\Delta \phi_u$ (%)
W1-ic2	78/22	27/1597222	28520554	37/8	0/016	40
W2-ic2	78/14178	27/1325625	28235348	37/422	0/0136	34
W3-ic2	74/309	25/8017361	27952995	37/04778	0/014	35
W4-ic2	72/82282	25/2857014	27673465	36/6773	0/0128	32
W5-ic2	74/38331	25/8275378	27396730	36/31053	0/0132	33
W6-ic2	59/50665	20/6620303	27122763	35/94742	0/0136	34
W7-ic2	74/45769	25/8533654	26851535	35/58795	0/0152	38
W8-ic2	72/96854	25/3362981	26583019	35/23207	0/0148	37
W9-ic2	59/56615	20/6826923	26317190	34/87975	0/0156	39
W10-ic2	78/22	27/1597222	26054018	37/8	0/016	40

۵-۴-۳ رفع نقص دراتصال فلنجی با جوش دور تا دور

در اتصال فلنجی اصطکاکی تامین اصطکاک و سختی مورد نیاز در اتصال در ترمیم اتصال باید رعایت شود به این منظور برای ترمیم اتصال تنها عیوبی قابل ترمیم و رفع نقص هستند که امکان تامین کامل اصطکاک و یا سختی کافی را تامین نماید. در بررسی روی اتصالات فلنجی تنها در اتصال C-شکل امکان ترمیم وجود دارد.

۱-۳-۴-۵ - رفع نقص با جوش دور تا دور در اتصال C-شکل دو طرفه

بررسی رفع نقص بر روی اتصال C-شکل دو طرفه تا میزان نقص اولیه سطح  $\frac{Am}{A}$  ۱۸٪ انجام شد، رفع نقص اولیه C-شکل دو طرفه در مورد اتصالاتی امکان پذیر است که میزان نقص اولیه سطح  $\frac{Am}{A}$  کمتر از میزان ۱۵٪ باشد بررسی شده است. جدول ۷-۵ سختی و دوران نهایی اتصال رفع نقص اولیه C-شکل دو طرفه با استفاده از جوش دور تا دور را نشان می دهد، در این اتصال با فرض این که پیچ ها با نیروی 155KN پیش تنیده شده و اتصال به صورت اصطکاکی عمل می کند.



شکل ۵-۶۳- نمودار هیستریزس رفع نقص اولیه در اتصال C-شکل دو طرفه با نقص اولیه

جدول ۷-۵- سختی و دوران نهایی اتصال C-شکل دو طرفه با رفع نقص اولیه

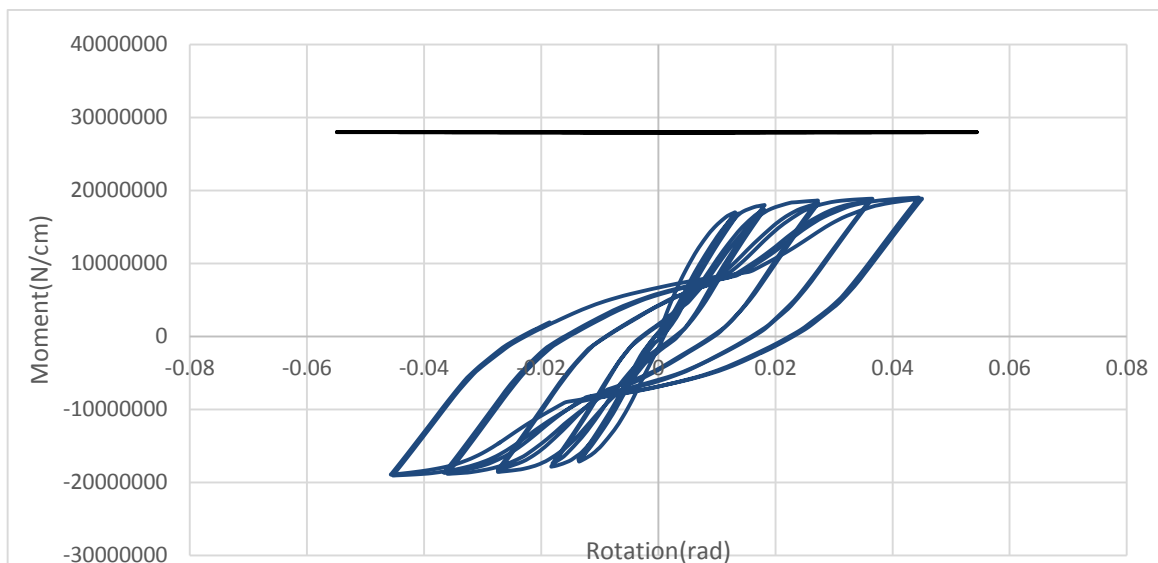
نام نمونه	$M_u$ (KN.m)	$\Delta M_u$ (%)	$K_i$	$\Delta K_i$ (%)	$\varphi_u$	$\Delta \varphi_u$ (%)
W1-ic2	223/213	77/504514	54189053	71/82	0/044	110
W2-ic2	221/038	76/749306	53647161	71/1018	0/0374	93/5
W3-ic2	225/678	78/360417	53110691	70/39078	0/0385	96/25
W4-ic2	222/546	77/272917	52579584	69/68688	0/0352	88
W5-ic2	212/367	73/738542	52053787	68/99001	0/0363	90/75
W6-ic2	210/5835	73/119271	51533250	68/30011	0/0374	93/5
W7-ic2	234/117	81/290625	51017917	67/6171	0/0418	104/5
W8-ic2	227/5195	78/999826	50507736	66/94093	0/0407	101/75
W9-ic2	219/327	76/155208	50002661	66/27153	0/0429	107/25
W10-ic2	223/213	77/504514	49502634	65/60881	0/044	110



در این بررسی در جوش دور تا دور در اتصال با  $\frac{A_m}{A}$  تا میزان ۱۵٪ بررسی شده است، در جدول ۷-۵ مشاهده میشود که رفع نقص اولیه با استفاده از جوش دور تا دور باعث افزایش تحمل لنگر نهایی به میزان ۳۵٪ تا ۴۵٪ در اتصال شده و نیز افزایش سختی ۴۰٪ تا ۶۰٪ خواهد شد و تغییرات دوران با اصلاح اتصال نسبت به اتصال فلنچی فاقد نقص اولیه ۵ تا ۱۰ درصد بیشتر شده است. با توجه به شکل ۶۳-۵ طبق بررسی لرزه ای اتصال تحمل دوران ۰,۰۴ رادیان در ۸۰٪ لنگر پلاستیک را تامین نشده است و بنا به آیین نامه AISC2005 اتصال در رده اتصال خمشی ویژه قرار میگیرد.

#### ۵-۴-۳-۲- رفع نقص با جوش دور تا دور در اتصال

در بررسی بر روی نقص اولیه بر روی اتصال C-شکل یک طرفه تا میزان نقص اولیه  $\frac{h}{H}$  ۱۵٪ انجام شد، شکل ۶۵-۵ شکل رفع نقص شده اتصال C-شکل یک طرفه است میزان تنش های میسر در این اتصال به میزان چشمگیری کاسته شده است در این اتصال حداکثر تنش میسر تا ۱۰۰٪ کاهش یافته ، سختی اتصال فلنچی و دوران نهایی در اتصال با رفع نقص اولیه در جدول ۵-۸ مشاهده میشود. اتصال با رفع نقص اولیه با استفاده از جوش تحت بار چرخه ای قرار گرفت با توجه به نمودار هیستریزس این اتصال در شکل ۶۴-۵ مشاهده می شود، اتصال با رفع نقص اولیه با استفاده از جوش دورتادور نمی تواند ۸۰٪ لنگر پلاستیک اتصال در ۴٪ رادیان را تحمل کند.

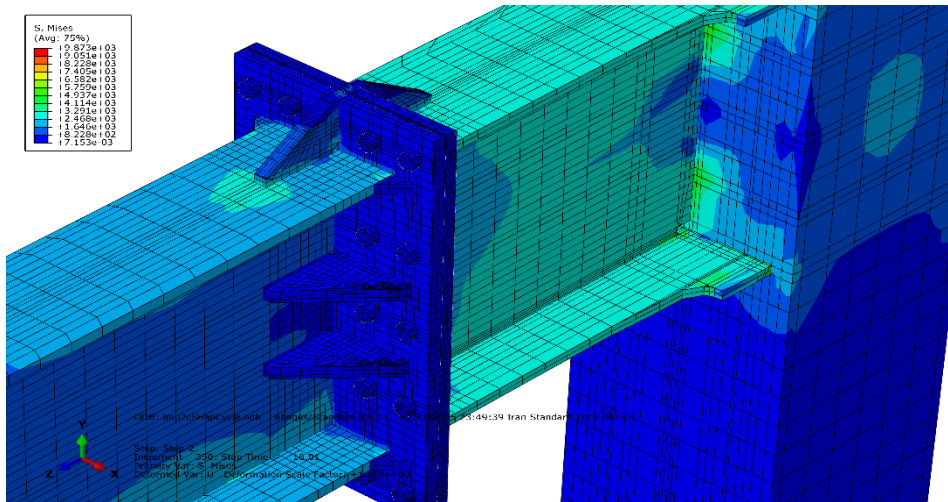


شکل ۵-۶۴- نمودار هیستریزیس رفع نقص اولیه در اتصال C-شکل یک طرفه با نقص اولیه

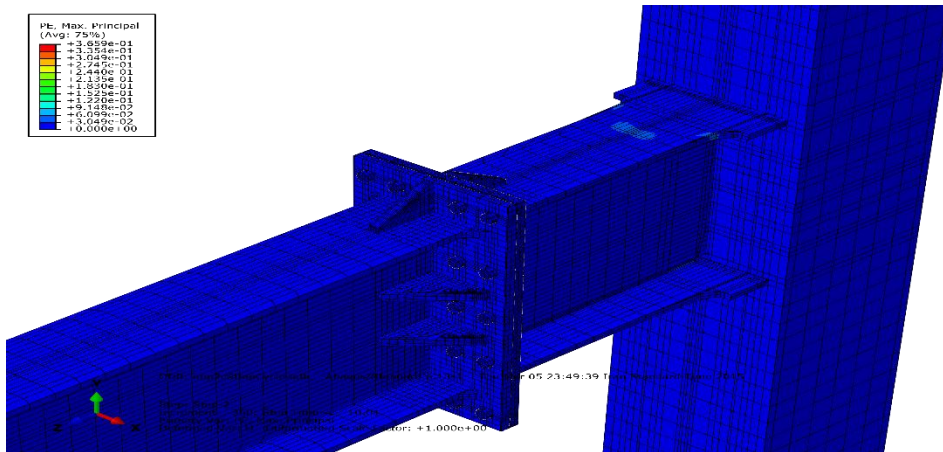
جدول ۵-۱- بررسی سختی و دوران نهایی در رفع نقص اولیه C-شکل

نام نمونه	$M_u$ (KN.m)	$\Delta M_u$ (%)	$K_u$	$\Delta K_i$ (%)	$\phi_u$	$\Delta \phi_u$ (%)
W1-ic1	254/001	88/194792	77412931	88/194792	0/042	105
W2-ic1	251/526	87/335417	76638803	87/335417	0/0357	89/25
W3-ic1	256/806	89/16875	75872415	89/16875	0/03675	91/875
W4-ic1	253/242	87/93125	75113690	87/93125	0/0336	84
W5-ic1	241/659	83/909375	74362553	83/909375	0/03465	86/625
W6-ic1	239/6295	83/204688	73618928	83/204688	0/0357	89/25
W7-ic1	266/409	92/503125	72882738	92/503125	0/0399	99/75
W8-ic1	258/9015	89/896354	72153910	89/896354	0/03738	93/45
W9-ic1	249/579	86/659375	71432372	86/659375	0/041685	104/2125
W10-ic1	254/001	88/194792	70718049	88/194792	0/0399	99/75

همانگونه که در جدول ۵-۸ مشاهده می شود نسبت میزان دوران نهایی در اتصال فاقد نقص به اتصال اصلاح شده ۵٪ بیشتر شده است. سختی اتصال به علت وجود جوش دو بالا و پایین فلنج افزایش یافته است. میزان سختی اتصال به میزان ۹۰٪ سختی اتصال فاقد نقص تامین شده. شکل ۵-۶۶ کرنش معادل پلاستیک را در اتصال فلنجی با نقص اولیه C-شکل یکطرفه نشان می دهد، حداکثر کرنش معادل پلاستیک در اتصال به ۰٫۳۵ رسیده است و با توجه به جوش دور تادور پیچ به منطقه پلاستیک وارد نمی شوند.



شکل ۵-۶۵- تنش فن میسز در اتصال رفع نقص شده مدل C- شکل با نقص اولیه یک طرفه



شکل ۵-۶۶- توزیع کرنش معادل پلاستیک در اتصال رفع نقص شده مدل C- شکل با نقص اولیه یک طرفه



## فصل ششم: نتایج و پیشنهادها

## مقدمه

هدف از ارائه این رساله انجام تحقیقات به منظور دستیابی به یک اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی فولادی است که بتواند در برابر بارهای لرزه‌ای (رفت و برگشتی) عملکرد مناسبی داشته و مانع از خرابی کلی سازه در اثر این نوع بارگذاری گردد.

همانگونه که گفته شد اتصالات قدیمی در قاب‌های خمشی فولادی به دلیل ایجاد تمرکز تنش در محل چشمه اتصال در رویارویی با بارهای تناوبی عملکرد بسیار ضعیفی داشته و منجر به خرابی کلی سازه می‌شدند. به همین دلیل دو رویکرد برای اصلاح این اتصالات شکل گرفت که یکی سخت کردن اتصالات و دیگری نرم کردن آن‌ها می‌باشد. برای نرم کردن اتصالات معمولاً برش‌هایی را در مقطع تیر در نزدیکی اتصال ایجاد می‌کنند که همین امر موجب هدایت تمرکز تنش از محل چشمه اتصال به داخل تیر می‌شود. و سخت کردن دور کردن محل تشکیل مفصل پلاستیک به نقطه ای دورتر از اتصال تیر به ستون است.

## نتیجه گیری

در بررسی اتصال ستون درختی ستون نقص اتصال با کسر جوش نفوذی در وجه ستون بعد تا میزان تا ۳۰٪ از بعد کاسته شد، ۳۰ مدل مورد بررسی قرار گرفت و سختی اتصال  $\frac{k_s L}{EI}$  نسبت بدست آمده نشان دهنده این است که تا میزان ۱۰٪ خطا در اتصال سختی در رده اتصال خمشی گیردار قرار دارد و سختی اتصال از میزان خطای ۱۰٪ تا ۲۸٪ نسبت  $2 < \frac{k_s L}{EI} < 20$  در رده اتصال نیمه صلب قرار دارد. مشاهدات نشان می‌دهد بعد از نقص ۱۲٪ میزان تحمل جوش کاهش می‌یابد یعنی تا حد معینی از تغییر مکان میتوان بار را افزایش داد بهد از این تغییر مکان تنشها از حد الاستیک اتصال عبور می‌کند.

اصلاح اتصال با جوش سختی مورد نیاز در اتصال تامین شده و دوران تا میزان  $M_p$  ٪ ۸۰ لنگر پلاستیک را تامین می کند و دوران اتصال تا ٪ ۴ رادیان را تامین میکند که به معنی این است اتصال اصلاح شده در دسته اتصال خمشی ویژه می توان قرار داد.

تقویت و اصلاح اتصال به وسیله لچکی سخت کننده در بال بالا و پایین مشاهده میشود تا میزان ٪ ۱۰ نقص اولیه در اتصال سختی مورد نیاز فراهم شده اما از میزان ٪ ۱۰ تا ٪ ۲۰ تاثیر به میزان ٪ ۹۰ تا ٪ ۲۴ سختی اتصال را می تواند تحمل کند و از ٪ ۲۰ تا ٪ ۳۰ نقص اولیه اصلاح اتصال با لچکی سخت کننده تاثیر ندارد.

نقص اولیه ارتفاعی را با توجه به معیار  $\frac{H}{300}$  به بررسی نقص ارتفاعی  $h$  می پردازد که با توجه به این بررسی سه عیوب اولیه، یعنی -V- شکل، -C- شکل و -W- شکل هستند از نظر هندسی مشخص اشکال نقص برای اتصال ستون درختی فلنجی مطالعه عددی پرداخته شده

۱- تاثیر نقص اولیه در اتصال ستون درختی با نقص اولیه -C- شکل در سختی دورانی باید در صورتی قابل قبول است نقص است جدا شدگی فلنج ها از یکدیگر محدود به معیار  $\frac{H}{300}$  و میزان نسبت نقص اولیه ارتفاعی  $\frac{h}{H}$  از ٪ ۴ بیشتر نشود

۱- در مقایسه با اتصالات بدون نقص بررسی نقص اولیه با توجه افزایش معیار  $\frac{h}{H}$  سختی دورانی در اتصال به شدت کاهش می یابد برای تیردرون طبقه به ستون مشترک وجود نقص اولیه در اتصال ستون درختی باعث تشدید رفتار سختی دورانی می شود

۲- در اتصال -C- شکل دوطرفه اتصال با توجه به نسبت  $\frac{h}{H}$  در دو جهت تا میزان ٪ ۱۸ نباید بیشتر شود

۳- در رفع نقص با جوش دور تادور در اتصال C-شکل دوطرفه ۳۵٪ تا ۴۵٪ باعث افزایش

تحمل لنگر نهایی در اتصال شده ونیز باعث افزایش سختی ۴۰٪ تا ۶۰٪ خواهد

۴- در اصلاح اتصال C-شکل یکطرفه با جوش دور تادور با توجه به معیار  $\frac{H}{300}$  بوده و میزان

نسبت  $\frac{h}{H}$  از ۱۰٪ بیشتر نشود میتوان میزان سختی تا ۹۰٪ سختی اتصال تامین شده و

میتواند اتصال تا ۸۰٪ لنگر پلاستیک را در نقص اولیه  $\frac{h}{H}$  تا ۸٪ تحمل کند



- [1] FEMA-355D, **2000, State of the Art Report on Connection Performance**, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC
- [2] FEMA-355A, **2000, State of the Art Report on Base Metals and Fracture**, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC
- [3] FEMA-351, **2000, Recommended Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Steel Moment-Frame Buildings**, prepared by the SAC Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC
- [4] ASTM, 1997, **Standard Specification for Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products**, ASTM A370, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- [5] AISC/ANSI360-05. "**Specification for Structural steel Buildings**", American institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL.,2005
- [6] AISC/ANSI 341-05, "**seismic Provisions for Structural steel Buildings**", American Institute of Steel Construction; Inc , Chicago, IL,2005.
- [7] AISC, 1997, **Seismic Provisions for Structural Steel Buildings**, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- [8]- N. E. Shanmugam, L. C. Ting & S. L. Lee." **Non-linear Analysis of 1-Beam to Box-Column connections**". J. Construct. Steel Research 28 (1994) 257-278
- [9]- Kim, T. \_2003\_. "**Experimental and analytical performance evaluation of welded steel moment connections to box or deep W-shape columns.**" Ph.D. dissertation, Univ. of California at Berkeley, Berkeley, Calif.
- [10]- Chen, C. C., Lin, C. C., and Tsai, C. L. \_2004\_. "**Evaluation of reinforced connections between steel beams and box columns.**" Engineering structures, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, Vol. 26, 1889–1904.
- [11] Cheng-C, Chun-C. "**Ductile moment connections used in steel column-tree moment-resisting frames.**" . Construct. Steel Research 62 (2006) 793–801.
- [12]- Lee, C. H., Jung, J. H., and Jean, S. W. (2002), "**Development of Seismic steel moment connection with high performance and associated design guidelines**" Report, Hyundai Engineering and Construction Company- Research Institute o Science and Technology, Korea.

- [13]- Shanmugam, N. E., Ting, L. C. & Lee, S. L., " **Behaviour of I-beam to box-column connections stiffened externally and subjected to fluctuating loads**". J. Construct. Steel Res., 20 (1991) 129-48.
- [14] Ghobadi. M.S., Ghassemieh. M., Mazroi A., " **Seismic performance of ductile welded connections using T-stiffener**". Journal of Constructional Steel Research 65 (2009) 766\_775
- [15] Kangmin Lee, Rui Li & Liuyi Chen " **Cyclic Testing of the Column-tree Type and the WUF-B Weak-axis Steel Moment Connections**". 15WCEE LIBOSA 2012
- [16] Yuping Sun, and Liping Nie ; " **The Seismic Behavior Analysis of Steel Column-Tree Web Connection with Bolted-Splicing**". Computational Structural Engineering, 243–251. Springer Science Business Media B.V. 2009
- [17] Gou B, Liu F. " **Influence of end-plate initial deformation on the connection behaviour of extended end-plate connections**". Building Structures 2002; 32(12):50–2 [in Chinese].
- [18]shiming Chen. ,Gang Du. " **Influence of initial imperfection on the behaviour of extended bolted end-plate connections for portal frames** " Journal of Constructional Steel Research 63 (2007) 211–220
- [19] Chinese Construction Standard. Specification for construction of portal steel frames in buildings. 2003.
- [20]P.Sotirov,N.Rangelo " **Improved beam-to-column joints for moment-resisting frames an experimental study**" stability and ductility of steel structure(SDSS97)
- [21] HKS.ABAQUS user's manual. Hibbit, Karlsson and Sorensen, Inc., Providence, R.I,2008
- .
- .

## **ABSTRACT**

Due to fast and simple installation, high quality of welding and decreasing the percentage of welding fault, steel column-tree moment resisting frames is preferred rather than other systems. Control of rigidity or flexibility in moving the plastic hinge away from beam-column connection is the other advantage of this system. Seismic behavior of this system is the most important issue and probable fault of welding, flange plates and connection bolts should be studied. Failures in structures in Northridge earthquake can confirm the importance of the study, as most damages are due to brittle failure in connection because of deficiency in calculation principles and implementation.

In this thesis, executive faults such as imperfection of welding geometry, welding quality and the deficiency of flange in beam-stub connection are studied.

Keywords: steel column-tree moment resisting frames, imperfection ,



**University of Shahrood**

**hysteresis behavior of rigid column-tree connection (with end plate  
prestressed bolts) and retrofit methods**

**Javad Nasrolahzadekapari**

**Supervisor:**

**Dr.V.R.Kalatjari**

**February 2015**