



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان

گروه آموزشی مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی سازه

عنوان:

ارزیابی تحلیلی رفتار فرا ارتجاعی اتصال صلب فولادی با مقطع بال کاهش یافته در اثر بارگذاری چرخه ای

استاد راهنما:

دکتر اکبر حسنی پور

مشاور:

دکتر نوید سیاهپلو

پژوهش و نگارش:

روح اله راه نورد

**کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق به موسسه آموزش
عالی جهاد دانشگاهی خوزستان می باشد.**

تقدیم به؛

روح پر فتوح برادرم شهید علی راه نورد

و

پسر دایی قهرمانم شهید حجت درویشی.

سپاسگذاری

ابتدا از تلاش ها و حمایت های پدر و مادر عزیزم قدردانی می کنم. اینجانب به نوبه خودم از زحمات وافر و بی شائبه استاد راهنما جناب دکتر حسنی پور و استاد مشاور جناب دکتر سیاهپلو کمال امتنان و تشکر را دارم، همچنین شایسته می دانم از همکاری همکلاس ارزشمندم خانم مهندس منا دانش و حمایت های برادرم جناب دکتر غلامعلی راه نورد و خواهران عزیزم پروانه و ظریفه راه نورد کمال تقدیر و تشکر را بنمایم.

بدون شک در طول یک سال و نیم نگارش این پایان نامه با سختی های زیادی مواجه شدم که جا دارد از هدایت های استاد مهربانم جناب دکتر فرهاد عباس گندمکار و همکاری و همراهی دوستانم جواد دلفیان، حمیدرضا راه نورد، مهدی کرمی، پریسا بهوند یوسفی، ناهید رضوانی، فرشته راه نورد، احسان محمدی، ابوذر یادگاری و حسین پورسردار قدردانی کنم.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



موسسه آموزش عالی
جهاد دانشگاهی خوزستان
غیر انتفاعی - غیر دولتی
(نوع اول)

Institute for Higher Education ACECR Khouzestan

Faculty of Engineering

“M.Sc.” Thesis of Educational Science

On: structure

Title:

**Analytical Study on All Types of Reduce Beam Section
Moment Connections Effecting Cyclic Behavior**

Thesis Advisor:

Akbar Hassanipour Ph.D

Thesis Reader:

Navid Siahpolo Ph.D

By:

Rohola Rahnavard

July 2014

Abstract

Subject: Analytical Study on All Types of Reduce Beam Section Moment Connections Effecting Cyclic Behavior

The recent earthquake have been shown steel moment frame (SMF) with weld connections are so brittle. According to researches, the more damage were due to cracking of the weld between the beam flange and the column face and induced concentrated stresses in this area. A useful approach to reduce the stress concentration at the panel zone is using of reduce beam section (RBS). Given the enormous impact of seismic behavior and ductility of the panel zone, RBS moves plastic hinge formation at appropriate distance from column face. In this study, a moment connection with different shape of reducing beam flange and web have been modeled using ABAQUS computer program and compared with each other during cyclic behavior. This paper is to present the results of numerical modeling on four subassemblies RBS moment connections. The beam flanges and web reduced by two method that were radial cutting and circular cutting. The circles of one of models were the same and one of them increase gradually. The main objectives are: (1) to comparison between all type of RBS connection on ductility; (2) to study the effect of all type of reduce beam connection on the concentration stress and strain in different zones (3) to study the effect of all type of reduce beam connection on the concentration equivalent plastic strain at integration point (PEEQ) in different zones ; (4) to obtain the influence of various type of reduce flange section on dissipated energy by the whole model; (5) to consider the buckling behavior of the exterior models; (6) to obtain connections secant stiffness and classification them. This study shown that RBS moment connection translate plastic hinge and concentrated of stress from connection to the reduce area. Also RBS connection with Variable radius Hole (RBS-VH) increase stiffness of panel zone, dissipated energy by whole model and ductility of connection. The result of this study show that all models have reached to 0.04 radians rotation, and the strength of connection at 0.04 radians rotation, is more than 80 percent of the beam plastic moment capacity, (0.8Mp). Consequently this connection satisfies the criteria of AISC Seismic Provisions (2005) for special moment frame systems. According to AISC Specifications for Structural Steel Buildings (2005), if $KL/EI > 20$, the connection can be considered as fully restrained. Where L and EI are length and bending rigidity of the beam respectively. Values of secant stiffness and KL/EI are presented in the result for all models. As the result shown, all values of KL/EI for RBS connection are greater than 20, therefore according AISC Seismic Provisions, this connection can be classified as a fully restrained (FR) connection. As the result shown, cut the flange area using circles that increase gradually provide beam and connection behavior against buckling.

چکیده

عنوان: ارزیابی تحلیلی رفتار فرا ارتجاعی اتصال صلب فولادی با مقطع بال کاهش یافته در اثر بارگذاری چرخه ای

پس از زلزله نورتریج نتایج تحقیقات مختلف نشان داد که علت خرابی و گسیختگی سازه های فولادی، تشکیل مفصل پلاستیک در مجاورت ناحیه اتصال بوده است. هم چنین زلزله های اخیر ایران نشان دادند در اتصالات صلب مستقر در قاب خمشی، بیشتر آسیب ها به علت ترک خوردگی جوش بین بال تیر و بال ستون بوده و علت آن تمرکز تنش زیاد در این ناحیه ذکر گردیده است. یکی از روش هایی که باعث کاهش تنش در این ناحیه می گردد، استفاده از مقطع با بال کاهش یافته است که در اتصال از پیش تعیین شده مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان نیز بدان اشاره شده است. با توجه به تاثیر بسیار زیاد چشمه اتصال در رفتار لرزه ای و شکل پذیری اتصال، بررسی تاثیر این نوع اتصال بر رفتار فرا ارتجاعی چشمه اتصال نیز ضروری به نظر می رسد. در این تحقیق یک اتصال صلب جوشی در سه حالت با مقطع بال کاهش یافته و یک حالت بدون مقطع کاهش یافته با استفاده از نرم افزار اجزا محدود مدل و با یکدیگر مقایسه گردیده اند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که اتصالات با مقطع کاهش یافته تمرکز تنش و مفصل پلاستیک را از اتصال به درون تیر انتقال می دهند. هم چنین یافته های این پژوهش در حوزه ی مدل های مورد ارزیابی نشان می دهد کاهش بال با استفاده از دایره های با شعاع متغیر (RBS-VH) استهلاک انرژی اتصال و سختی چشمه اتصال را افزایش می دهد. هم چنین کاهش بال تیر باعث افزایش شکل پذیری اتصال می شود به گونه ای که می توان از اتصالات با مقطع بال کاهش یافته در قاب های با شکل پذیری ویژه استفاده کرد.

فصل اول: مقدمه

۱-۱- عنوان تحقیق.....	۱
۲-۱- مقدمه ای بر تحقیق.....	۱
۳-۱- لزوم انجام تحقیق.....	۲
۴-۱- اهداف تحقیق و نوآوری.....	۲
۵-۱- فرضیه های تحقیق.....	۳
۶-۱- فرضیات تحقیق.....	۳
۷-۱- روش تحقیق.....	۳
۸-۱- فصول تحقیق.....	۴
۹-۱- فلوجارت تحقیق.....	۵
۱۰-۱- کلیات.....	۶
۱۱-۱- انواع اتصالات بر حسب فن اتصال.....	۷
۱-۱۱-۱- پرچ.....	۷
۲-۱۱-۱- پیچ.....	۸
۳-۱۱-۱- جوش.....	۸
۱۲-۱- انواع اتصالات بر حسب میزان صلبیت آنان.....	۹
۱-۱۲-۱- اتصال صلب.....	۹
۲-۱۲-۱- اتصال ساده.....	۹
۳-۱۲-۱- اتصال نیمه صلب.....	۹
۱۳-۱- صلبیت اتصال.....	۱۴
۱۴-۱- مقاومت اتصال.....	۱۵

- ۱۵-۱- شکل پذیری اتصال..... ۱۵.....
- ۱۶-۱- انواع اتصالات بر حسب نیروی انتقالی..... ۱۶.....
- ۱-۱۶-۱- نیروی برشی..... ۱۷.....
- ۲-۱۶-۱- لنگر های خمشی و پیچشی..... ۱۸.....
- ۳-۱۶-۱- نیروی کششی و فشاری..... ۱۸.....
- ۱۷-۱- اتصالات پیچی..... ۱۹.....
- ۱-۱۷-۱- مزایا و معایب اتصالات پیچی..... ۲۰.....
- ۱-۱-۱۷-۱- مزایای اتصالات پیچی..... ۲۰.....
- ۲-۱-۱۷-۱- معایب اتصالات پیچی..... ۲۱.....
- ۱۸-۱- اتصالات صلب ممان گیر تیر به ستون..... ۲۱.....
- ۱۹-۱- انواع اتصالات صلب متداول..... ۲۱.....

فصل دوم: مروری بر پژوهش های پیشین

- ۱-۲- مروری بر ادبیات فنی..... ۲۵.....

فصل سوم: روش پژوهش

- ۱-۳- تاریخچه اتصالات جدید..... ۳۷.....
- ۲-۳- نحوه ی تشکیل مفصل پلاستیک..... ۳۸.....
- ۳-۳- اتصال RBS و اجزای آن..... ۳۹.....
- ۴-۳- روند طراحی اتصال RBS..... ۴۰.....
- ۵-۳- طراحی چشمه اتصال..... ۴۲.....

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل

- ۱-۴- مطالعه آزمایشگاهی..... ۴۳.....
- ۲-۴- مدل سازی عددی..... ۴۴.....
- ۱-۲-۴- نرم افزار ABAQUS..... ۴۴.....
- ۲-۲-۴- هندسه مدل در نرم افزار ABAQUS..... ۴۴.....

- ۴-۲-۳- تعریف خصوصیات مصالح..... ۴۵
- ۴-۲-۴- مراحل حل براساس تاریخچه بارگذاری SAC..... ۴۷
- ۴-۲-۵- اندرکنش ها..... ۴۸
- ۴-۲-۶- بارگذاری و شرایط مرزی..... ۴۸
- ۴-۲-۷- گسسته سازی (مش بندی)..... ۵۱
- ۴-۲-۸- صحت سنجی نتایج تحلیل..... ۵۲
- ۴-۳-۱- انواع نمونه های مدل شده با استفاده از نرم افزار آباکوس..... ۵۳
- ۴-۳-۱- مدل های با مقطع بال کاهش یافته..... ۵۳
- ۴-۳-۲- مدل های با مقطع جان کاهش یافته..... ۵۵
- ۴-۴-۱- نمایش کانتوری تنش و کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) برای مدل های ساخته شده..... ۵۸
- ۴-۴-۱- معیار فون مایسز..... ۵۸
- ۴-۴-۲- معیار فون مایسز برای اتصالات با مقطع بال کاهش یافته..... ۵۹
- ۴-۴-۳- معیار فون مایسز برای اتصالات با مقطع جان کاهش یافته..... ۶۷
- ۴-۴-۴- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ)..... ۷۲
- ۴-۴-۵- نمایش کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) برای مدل های با مقطع بال کاهش یافته..... ۷۲
- ۴-۴-۶- نمایش کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) برای مدل های با مقطع جان کاهش یافته..... ۸۰
- ۴-۵- بررسی نمودار تنش و کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) بر روی نوار جوش و تیر..... ۸۵
- ۴-۶-۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر..... ۹۰
- ۴-۶-۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر با مقطع بال کاهش یافته..... ۹۰
- ۴-۶-۲- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر با مقطع جان کاهش یافته..... ۹۸
- ۴-۷-۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال..... ۱۰۳
- ۴-۷-۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال برای اتصال با مقطع بال کاهش یافته..... ۱۰۳
- ۴-۷-۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال برای اتصال با مقطع جان کاهش یافته..... ۱۰۸
- ۴-۸-۱- محاسبه سختی اتصالات..... ۱۱۱
- ۴-۸-۱- محاسبه سختی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته..... ۱۱۱

- ۱۱۲-۲-۸-۴- محاسبه سختی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته.....
- ۱۱۳-۹-۴- استهلاک انرژی.....
- ۱۱۳-۱-۹-۴- استهلاک انرژی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته.....
- ۱۱۴-۲-۹-۴- استهلاک انرژی اتصالات با مقطع جان کاهش یافته.....

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱۱۵-۱-۵- نتیجه گیری.....
- ۱۱۵-۱-۱-۵- نتیجه گیری برای اتصالات با مقطع بال کاهش یافته.....
- ۱۱۶-۲-۱-۵- نتیجه گیری برای اتصالات با مقطع جان کاهش یافته.....
- ۱۱۶-۲-۵- پیشنهادات.....

مراجع و منابع

- ۱۱۹- منابع فارسی.....
- ۱۱۹- منابع غیر فارسی.....

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- آزمایش کشش و فشار تیر A36.....	۷
جدول ۲-۲- تنش و کرنش الکتروود E70.....	۷
جدول ۱-۲- آزمایش کشش و فشار تیر A36.....	۷
جدول ۱-۴- مشخصات کاهش بال تیر.....	۷
جدول ۱-۴- مشخصات کاهش جان تیر.....	۷
جدول ۴-۴- طبقه بندی اتصال با مقطع کاهش بال تیر.....	۷
جدول ۵-۴- طبقه بندی اتصال با مقطع کاهش جان تیر.....	۷

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۷.....	شکل ۱-۱- انواع پرچ.....
۹.....	شکل ۲-۱- لنگرهای خمشی و دوران تیر AB.....
۱۰.....	شکل ۳-۱- معادله خط تیر و منحنی های لنگر خمشی بر حسب دوران.....
۱۱.....	شکل ۴-۱- تعیین منحنی $M-\theta$ توسط آزمایش.....
۱۳.....	شکل ۵-۱- مدل ریاضی اتصال سپری.....
۱۴.....	شکل ۶-۱- منحنی $M-\theta$ برای یک اتصال و طبقه بندی میزان صلبیت آن.....
۱۶.....	شکل ۷-۱- منحنی تغییرات Z-M برای طبقه بندی اتصالات از لحاظ شکل پذیری.....
۱۷.....	شکل ۸-۱- اتصالات تحت اثر نیروی برشی.....
۱۸.....	شکل ۹-۱- اتصالات تحت لنگرهای خمشی و پیچشی توام با برش.....
۱۹.....	شکل ۱۰-۱- اتصالات تحت فشار و کشش جوش کام و انگشتانه همراه با جوش گوشه.....
۲۲.....	شکل ۱۱-۱- اتصال صلب متداول.....
۲۲.....	شکل ۱۲-۱- اتصال صلب متداول با کمک پیچ.....
۲۳.....	شکل ۱۳-۱- نمونه ای از اتصالات ممان گیر متداول.....
۲۳.....	شکل ۱۴-۱- اتصال تیر به جان ستون به کمک سپری.....
۲۴.....	شکل ۱۵-۱- اتصال ممان گیر تیر به جان ستون.....
۲۶.....	شکل ۱-۲- منحنی هیسترسیز(مصلحی تبار و دیلمی).....
۲۷.....	شکل ۲-۲- اتصال پیچی(مونتوری و همکاران).....
۲۸.....	شکل ۳-۲- منحنی هیسترسیزاتصال پیچی(مونتوری و همکاران).....
۲۹.....	شکل ۴-۲- نمونه های ساخته شده در آزمایشگاه.....
۳۰.....	شکل ۵-۲- منحنی هیسترسیز(چیئول هو لی).....

- شکل ۲-۶- منحنی هیسترسیز (گیلتون)..... ۳۰
- شکل ۲-۷- مدل آزمایشگاهی (ایکسوفنگ زهانگ)..... ۳۱
- شکل ۲-۸- مدل ساخته شده در آباکوس (ایکسوفنگ زهانگ)..... ۳۱
- شکل ۲-۹- منحنی هیسترسیز (ایکسوفنگ زهانگ)..... ۳۲
- شکل ۲-۱۰- تنش - کرنش تیر A36 ۳۳
- شکل ۲-۱۱- تنش کرنش ستون A572 ۳۵
- شکل ۲-۱۲- منحنی تنش کرنش پیچ A490 ۳۶
- شکل ۳-۱- انواع اتصالات استخوانی ۳۷
- شکل ۳-۲- پارامترهای طراحی در اتصال با برش شعاعی بال ۴۰
- شکل ۳-۳- پارامترهای طراحی در اتصال با برش شعاعی جان ۴۱
- شکل ۳-۴- پارامترهای طراحی در اتصال با سوراخ دایره ای جان ۴۱
- شکل ۴-۱- مدل آزمایشگاهی ۴۳
- شکل ۴-۲- هندسه مدل در آباکوس ۴۵
- شکل ۴-۳- خصوصیات رفتاری تیر در آباکوس ۴۶
- شکل ۴-۴- خصوصیات رفتاری ستون در آباکوس ۴۶
- شکل ۴-۵- خصوصیات رفتاری جوش در آباکوس ۴۷
- شکل ۴-۶- مراحل تحلیل در نرم افزار ABAQUS ۴۸
- شکل ۴-۷- اندرکنش های تعریف شده در نرم افزار ۴۸
- شکل ۴-۸- بارگذاری تعریف شده روی تیر در نرم افزار ۴۹
- شکل ۴-۹- شکل شماتیک تغییر مکان اعمال شده به تیر ۴۹
- شکل ۴-۱۰- مقادیر تغییر مکان اعمال شده به تیر در نرم افزار ABAQUS ۵۰
- شکل ۴-۱۱- مقادیر و پارامترهای تعریف شده برای Amplitude ۵۱
- شکل ۴-۱۲- مش بندی اجزای سازه ۵۲
- شکل ۴-۱۳- صحت سنجی ۵۲
- شکل ۴-۱۴- هندسه انواع مدل های با کاهش بال ۵۴

- شکل ۴-۱۵- هندسه انواع مدل های با کاهش جان..... ۵۷
- شکل ۴-۱۶- منحنی معیار فون میسز..... ۵۸
- شکل ۴-۱۷- توزیع تنش فون میسز در اتصال ORC..... ۵۹
- شکل ۴-۱۸- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS..... ۶۰
- شکل ۴-۱۹- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS1-SH..... ۶۱
- شکل ۴-۲۰- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS2-SH..... ۶۲
- شکل ۴-۲۱- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS3-SH..... ۶۳
- شکل ۴-۲۲- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS1-VH..... ۶۴
- شکل ۴-۲۳- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS2-VH..... ۶۵
- شکل ۴-۲۴- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS3-VH..... ۶۶
- شکل ۴-۲۵- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS-W..... ۶۷
- شکل ۴-۲۶- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS1-WH..... ۶۸
- شکل ۴-۲۷- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS2-WH..... ۶۹
- شکل ۴-۲۸- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS1-S..... ۷۰
- شکل ۴-۲۹- توزیع تنش فون میسز در اتصال RBS2-S..... ۷۱
- شکل ۴-۳۰- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال ORC..... ۷۲
- شکل ۴-۳۱- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS..... ۷۳
- شکل ۴-۳۲- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS1-SH..... ۷۴
- شکل ۴-۳۳- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS2-SH..... ۷۵
- شکل ۴-۳۴- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS3-SH..... ۷۶
- شکل ۴-۳۵- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS1-VH..... ۷۷
- شکل ۴-۳۶- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS2-VH..... ۷۸
- شکل ۴-۳۷- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS3-VH..... ۷۹
- شکل ۴-۳۸- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS-W..... ۸۰
- شکل ۴-۳۹- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS1-WH..... ۸۱

- شکل ۴-۴۰- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS2-WH..... ۸۲
- شکل ۴-۴۱- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS1-S..... ۸۳
- شکل ۴-۴۲- توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصال RBS2-S..... ۸۴
- شکل ۴-۴۳- نوار بحرانی بر روی عرض جوش و طول تیر..... ۸۵
- شکل ۴-۴۴- بررسی تنش بر روی نوار بحرانی حالت اول..... ۸۶
- شکل ۴-۴۵- بررسی تنش بر روی نوار بحرانی حالت دوم..... ۸۷
- شکل ۴-۴۶- بررسی کرنش پلاستیک معادل بر روی نوار بحرانی حالت اول..... ۸۸
- شکل ۴-۴۷- بررسی کرنش پلاستیک معادل بر روی نوار بحرانی حالت دوم..... ۸۹
- شکل ۴-۴۸- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال ORC..... ۹۰
- شکل ۴-۴۹- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS..... ۹۱
- شکل ۴-۵۰- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS1-SH..... ۹۲
- شکل ۴-۵۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS2-SH..... ۹۳
- شکل ۴-۵۲- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS3-SH..... ۹۴
- شکل ۴-۵۳- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS1-VH..... ۹۵
- شکل ۴-۵۴- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS2-VH..... ۹۶
- شکل ۴-۵۵- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS3-VH..... ۹۷
- شکل ۴-۵۶- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS-W..... ۹۸
- شکل ۴-۵۷- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS1-WH..... ۹۹
- شکل ۴-۵۸- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS2-WH..... ۱۰۰
- شکل ۴-۵۹- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS1-S..... ۱۰۱
- شکل ۴-۶۰- منحنی چرخه ای لنگر- دوران تیر در اتصال RBS2-S..... ۱۰۲
- شکل ۴-۶۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال ORC..... ۱۰۳
- شکل ۴-۶۲- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS..... ۱۰۴
- شکل ۴-۶۳- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS1-SH..... ۱۰۴
- شکل ۴-۶۴- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS2-SH..... ۱۰۵

- شکل ۴-۶۵- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS3-SH.....۱۰۵
- شکل ۴-۶۶- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS1-VH.....۱۰۶
- شکل ۴-۶۷- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS2-VH.....۱۰۶
- شکل ۴-۶۸- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS3-VH.....۱۰۷
- شکل ۴-۶۹- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS-W.....۱۰۷
- شکل ۴-۷۰- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS1-WH.....۱۰۹
- شکل ۴-۷۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS2-WH.....۱۰۹
- شکل ۴-۷۲- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS1-S.....۱۱۰
- شکل ۴-۷۳- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال در اتصال RBS2-S.....۱۱۰
- شکل ۴-۷۴- انرژی مستهلک شده در مدل های با کاهش بال.....۱۱۳
- شکل ۴-۷۵- انرژی مستهلک شده در مدل های با کاهش جان.....۱۱۴
- شکل ۵-۱- اتصال SIDE PLATE.....۱۱۶
- شکل ۵-۲- اتصال ترکیبی RBS و SIDE PLATE.....۱۱۷
- شکل ۵-۳- اتصال با ورق انتهایی.....۱۱۷
- شکل ۵-۴- اتصال RFP.....۱۱۸

فصل ۱: مقدمه

۱-۱- عنوان تحقیق

ارزیابی تحلیلی رفتار فرا ارتجاعی اتصال صلب فولادی با مقطع بال کاهش یافته در اثر بارگذاری چرخه ای

۲-۱- مقدمه ای بر تحقیق

نقش اتصال تیر به ستون در اتصال سازه های فولادی که دارای سیستم قاب خمشی هستند برای مهار بارهای جانبی مانند زلزله، انکار ناپذیر است. تخریب اتصال حتی با سالم بودن سایر اعضای سازه ای، باعث ویرانی کل سازه خواهد شد از این لحاظ برای حفظ یکپارچگی سازه، اتصال باید محکم ترین حلقه در زنجیره پایداری سازه ای باشد.

در گذشته در مورد رفتار اتصالات سازه های فولادی، در داخل و خارج از ایران تحقیقاتی صورت پذیرفت که منجر به تدوین بخشهای در آیین نامه هایی همچون AISC شد. با توجه به استفاده فراوان از قابهای خمشی فولادی در طراحی لرزه ای سازه ها و با توجه به این نکته که این سازه ها در گذشته براساس ضوابط و آیین نامه هایی طراحی شده اند که ضوابط مربوط به نحوه ی تشکیل مفصل پلاستیک و نحوه ی گسترش آن را مورد بررسی قرار نداده اند، در نتیجه پس از زلزله نورتریج^۱، تحقیقات به سمت افزایش شکل پذیری اتصالات صلب پیش رفت و بطور کلی مطالعات جدیدی پس از زلزله نورتریج شکل گرفت، هدف عمده ی این مطالعات انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر و به یک فاصله معین از بر ستون است. به گونه ای که در این اتصالات دور ساختن مفصل پلاستیک از بر ستون باعث کاهش تمرکز و کرنش به وجود آمده در ناحیه جوش و در نتیجه باعث کاهش میزان ترک خوردگی جوش و کاهش شکست ترد در اتصال می شود. نتیجه این مطالعات، دسترسی به برخی اتصالات جدید شد که در بخش های بعدی به بررسی برخی از آنان خواهیم پرداخت.

۳-۱- لزوم انجام تحقیق

در اتصال تیر به ستون در قابهای خمشی فولادی، چهار ناحیه مهم وجود دارد که عبارتند از تیر، ستون، چشمه اتصال و اتصال ما بین آنها. تنش ها و تغییرشکل های اتصال، وابسته به مقاومت نسبی بین اعضا بوده که عبارتند از:

الف) اگر تیر یک المان ضعیف باشد، مفصل پلاستیک در آن بوجود آمده و گسترش می یابد، البته این پدیده زمانی رخ می دهد که اتصالات، توانایی لازم برای انتقال لنگر تیر پس از سخت شدگی مجدد را داشته باشد.

ب) اگر ستون ضعیف باشد و تیر تحت اثر نیروی زلزله شدید به صورت الاستیک باقی بماند مفصل پلاستیک در ستون تشکیل شده و گسترش می یابد.

¹ Northridge

ج) اگر چشمه اتصال از المان ضعیفی تشکیل شده باشد و در برش تسلیم شود هیچکدام از تیر و ستون به حالت تسلیم نمی رسند.

د) اگر اتصال ضعیف باشد هیچکدام از اعضای تیر، ستون و چشمه اتصال به حد جاری شدن نرسیده، الاستیک باقی مانده و سازه فرو می ریزد.

همانگونه که مشاهده می شود بهینه ترین و ایمن ترین حالت، گزینه (الف) می باشد، بدلیل اینکه مفصل پلاستیک به نقطه ای دورتر از بر ستون منتقل می شود. تمامی اتصالات می توانند بطور نسبی نسبت به هم چرخش داشته باشند و تفاوت بین اتصال صلب و مفصلی در میزان درصد گیرایی اتصال می باشد.

بطور کلی در اتصالات دو نوع استراتژی عمده اتخاذ شده است:

الف) تضعیف موضعی مقطع جان: در این روش با کاهش مقطع تیر در بخش های مشخصی از تیر در یک ناحیه مشخص و از پیش تعیین شده گشته که در نتیجه مفصل پلاستیک در این ناحیه تشکیل شده و از بر ستون به داخل تیر منتقل می شود. اتصالات RBS از این دسته اند.

ب) تقویت اتصال: یکسری از اتصالات پس از زلزله نورتریج به گونه ای طراحی شده اند که با افزودن اجزایی به اتصال باعث افزایش مقاومت تیر در ناحیه اتصال شده و باعث کاهش تنش در اتصال می شود، در نتیجه باعث انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر می شود و از چرخش اجزای اتصال نسبت به هم (تیر نسبت به ستون) جلوگیری می کنند که در نتیجه تنش کمتری در ناحیه جوش ایجاد می شود. استفاده از ماهیچه و یا پشت بند از این دسته اند.

۱-۴- اهداف تحقیق و نوآوری

هدف اصلی این تحقیق شامل دو بخش زیر می باشد:

الف) بررسی نقاط ضعف و قوت برخی از اتصالات صلب رایج در سازه های فولادی می باشد که در آن به دلایل تغییرات و بوجود آمدن اتصالات جدید پرداخته خواهد شد.

ب) روند کلی طراحی اتصال RBS براساس آیین نامه فولاد ایران (در صورت وجود) و دیگر آیین نامه های معتبر دنیا.

پ) مقایسه پارامترهای مهم در بحث اتصالات از قبیل شکل پذیری، انتقال نیرو، محل تشکیل مفصل پلاستیک در دو حالت با و بدون مقطع بال و جان کاهش یافته.

ت) مدل سازی عددی اتصالات جوشی با مقطع بال کاهش یافته و بررسی انواع اشکال کاهش بال و همچنین اصلاح کاهش بال موجود.

ث) مقایسه انواع اتصالات جوشی با مقطع بال کاهش یافته با یکدیگر و بررسی عملکرد آنان.

ج) مقایسه انواع اتصالات جوشی با مقطع جان کاهش یافته با یکدیگر و بررسی عملکرد آنان.

۱-۵- فرضیه های تحقیق

فرضیه های تحقیق به شرح زیر معرفی می گردد:

الف) با توجه به این که در این تحقیق از مدل سازی کامپیوتری استفاده شده، انتظار می رود که با نتایج آزمایشگاهی اختلافاتی داشته باشد که هدف کالیبراسیون نمودن نتایج تحلیل آزمایشگاهی و تحلیلی و کاهش اختلاف موجود است.

ب) به دلیل اینکه تعداد مدل های ساخته شده اندک است، نمی توان انتظار داشت که نتایج جامع و کلی از آن بدست آورد.

ج) با توجه به این که خصوصیات مصالح به کار رفته در این تحقیق محدوداند، انتظار می رود اعتبار نتایج در حوزه ی مصالح انتخابی قابل استناد و بحث باشد.

د) به نظر می رسد استفاده از تیر با مقطع بال کاهش یافته باعث افزایش چرخش پلاستیک چشمه اتصال و تیر گردیده و در نتیجه نیاز شکل پذیری دورانی تیر و چشمه افزایش می یابد.

ه) انتظار می رود که استفاده از تیر با مقطع بال کاهش یافته باعث شود تنش در ناحیه کاهش یافته تمرکز نموده و استهلاک انرژی در ناحیه اتصال کاهش یابد.

۱-۶- فرضیيات تحقیق

به طور کلی فرضیيات این تحقیق عبارتند از:

الف) برای مدل سازی از نرم افزار اجزای محدود آباکوس استفاده شده است و کلیه عناصر و اجزای سازه با ابعاد واقعی و به صورت سه بعدی مدل گردیده است.

ب) برای خصوصیات مصالح از نمودار تنش - کرنش در حالت ارتجاعی و غیر ارتجاعی استفاده گردیده است. برای نمودار تنش کرنش تیر از فولاد نوع ASTM-A36، ستون و سخت کننده ها ASTM-A572-Gr50 و الکتروود جوش ER70S-6 استفاده گردیده است.

ج) در این تحقیق از تحلیل غیر خطی و از نوع دینامیکی ضمنی (Dynamic Implicit) استفاده شده است.

د) برای تعریف بارگذاری وارد بر مدل ها از مدل بارگذاری SAC استفاده گردیده که بارها بصورت ۷ گام زمانی به صورت جابجایی و با دامنه پریودیک به انتهای تیر وارد می شود.

ه) در مدل سازی های این تحقیق از پیچ های اتصال دهنده ورق برشی جان تیر به ستون، صرف نظر شده است و به جای آن کل ورق را به تیر جوش می دهند، زیرا تعداد آن ها زیاد است و باعث خطا در آنالیز می شود.

۱-۷- روش تحقیق

گام ها متوالی زیر برای انجام این تحقیق برداشته شده است:

الف) کلیات مورد نیاز در مورد اتصالات در سازه های فولادی با استفاده از مراجع اصلی، مورد مطالعه قرار گرفت و پارامترهای مهم و همچنین نحوه ی دسته بندی آنان مورد بررسی قرار گرفت.

ب) بخش زیادی از مطالعاتی که قبلا در مورد اتصالات صلب در خارج و داخل کشور انجام شده بود مورد مطالعه قرار گرفت.

پ) عمده اتصالات صلب جدید از جمله اتصالات با مقطع بال کاهش یافته مورد مطالعه قرار گرفت و دلایل گسترش این اتصالات و نقاط ضعف و قوت آنان مورد ارزیابی قرار گرفت.

ت) اتصالات با مقطع جان کاهش یافته مورد مطالعه قرار گرفتند و دلایل گسترش این اتصالات و نقاط ضعف و قوت آنان مورد ارزیابی قرار گرفت.

ث) چندین مدل از روی مدل های آزمایشی ساخته شد و نتایج آنان مورد بررسی قرار گرفت.

ج) در پایان چندین پیشنهاد برای تقویت عملکرد اتصالات صلب فولادی ارائه شد.

۸-۱- فصول تحقیق

فصل دوم: در این فصل مقدمه ای بر اتصالات صلب پیچی و جوشی متداول صورت پذیرفته و مروری بر نحوه ی تقسیم بندی آنان بر اساس سختی، شکل پذیری، انتقال نیرو، فن اجرا و غیره انجام شد و همچنین مزایا و معایب هر کدام ذکر گردیده است.

فصل سوم: در این فصل به مطالعات انجام شده قبلی در داخل و خارج از کشور پرداخته شده است و نتایج آن ها بیان گردیده است.

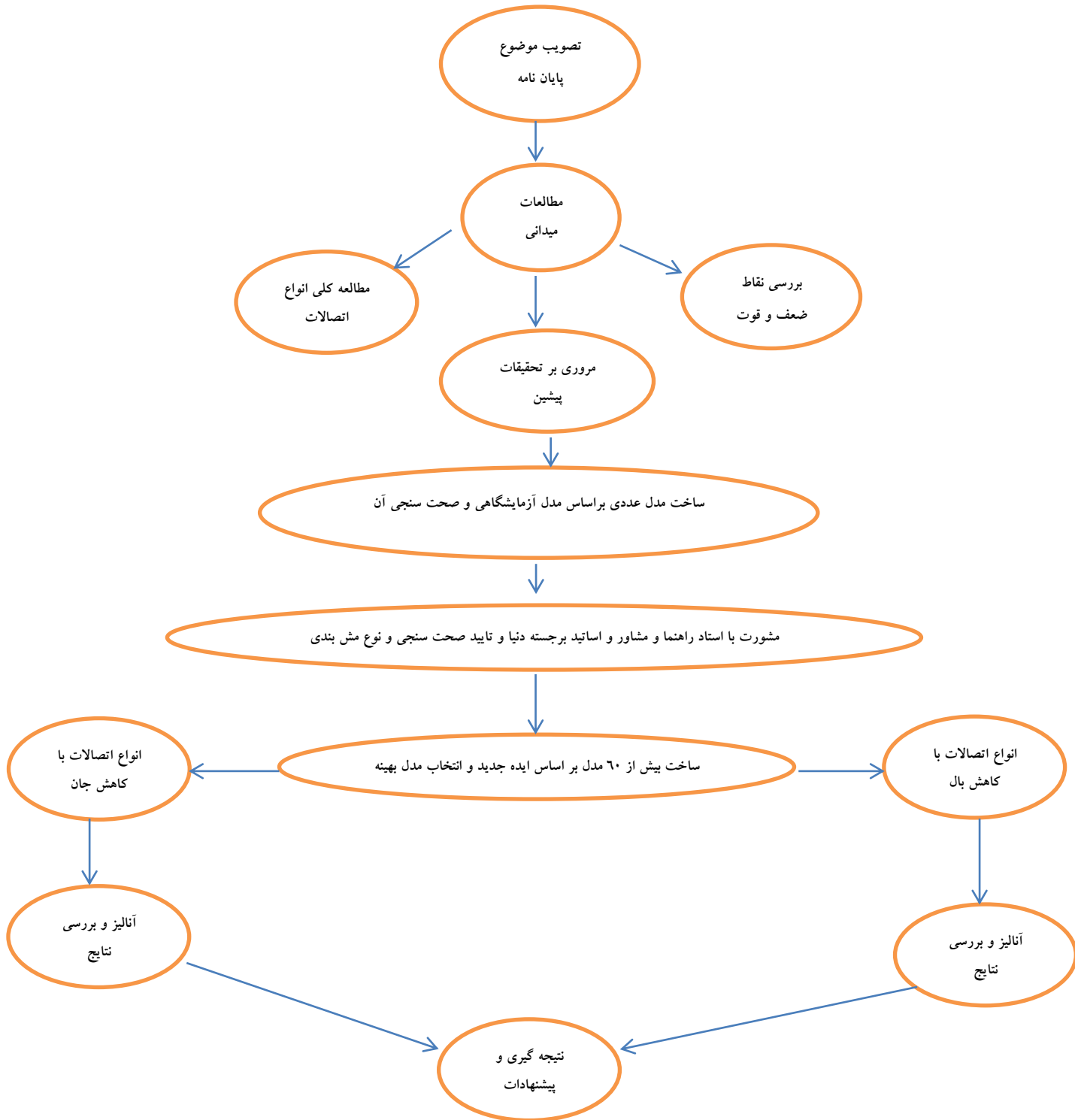
فصل چهارم: در این فصل اتصالات جدید از جمله اتصال با مقطع بال و جان کاهش یافته مورد بررسی قرار گرفته و دلایل گسترش آن از جمله نحوه انتقال مفصل پلاستیک به فاصله مشخصی درون تیر، همچنین نحوه طراحی آن مورد ارزیابی قرار گرفته است.

فصل پنجم: در این بخش به مدل سازی در نرم افزار آباکوس پرداخته شده و نحوه مدل سازی، معرفی مصالح، تعریف اندرکنش، تعریف گام های تحلیل، بارگذاری، مش بندی و بررسی نتایج انجام پذیرفته است.

فصل ششم: در این بخش با استفاده از نتایج بدست آمده از آنالیز مدل ها، نتیجه گیری کلی صورت می گیرد و نتایج به صورت موردی ذکر می شوند، هم چنین پیشنهاداتی برای بهبود عملکرد اتصالات صلب فولادی ارائه می شود.

فصل هفتم: در این فصل کلیه مراجع فارسی و انگلیسی استفاده شده در این تحقیق ذکر شده اند.

۹-۱- فلوجارت تحقیق



۱-۱۰- کلیات

برای دستیابی به یک سازه مقاوم لازم است اعضای اصلی نظیر تیرها و ستون ها به نحو مناسبی به یکدیگر متصل شده تا بتوانند با عمل یکپارچه خود بهره وری موردنظر خود را تامین کنند، به بیانی دیگر اتصالات وظیفه انتقال نیروها از یک عضو سازه به عضو دیگر آن و یا به تکیه گاه انجام می دهند.

هرچند تدوین اصول طراحی اعضای اصلی سازه ها نظیر تیرها، ستون ها و بادبند ها به کمک روابط و ضوابط ارائه شده توسط آیین نامه های طراحی که خود متکی بر فرمول های نظری علم مکانیک سازه ها است تقریباً بدون پیچیدگی و مشکلی ممکن می باشد، لیکن تجزیه و تحلیل رفتار اتصالات یک سازه عمدتاً دارای پیچیدگی های خاص است که بیان آن به تنهایی توسط روابط نظری در اغلب اوقات به آسانی میسر نیست و نیازمند به انجام آزمایش های تجربی برای اطمینان از صحت رفتار آن ها می باشیم.

بررسی دقیق عملکرد اتصالات در یک سازه فولادی از اهمیت ویژه ای برخوردار است و عدم دقت در طراحی و اجرای اتصالات در سازه های فولادی نه تنها موجب خرابی در خود اتصال می شود بلکه اثرات ویران کننده ای نیز بر اعضای سازه و در نتیجه کل سازه خواهد داشت. براساس اطلاعات موجود، اغلب ویرانی ها در سازه های فولادی در اثر ضعف عملکرد اتصالات گزارش شده است.

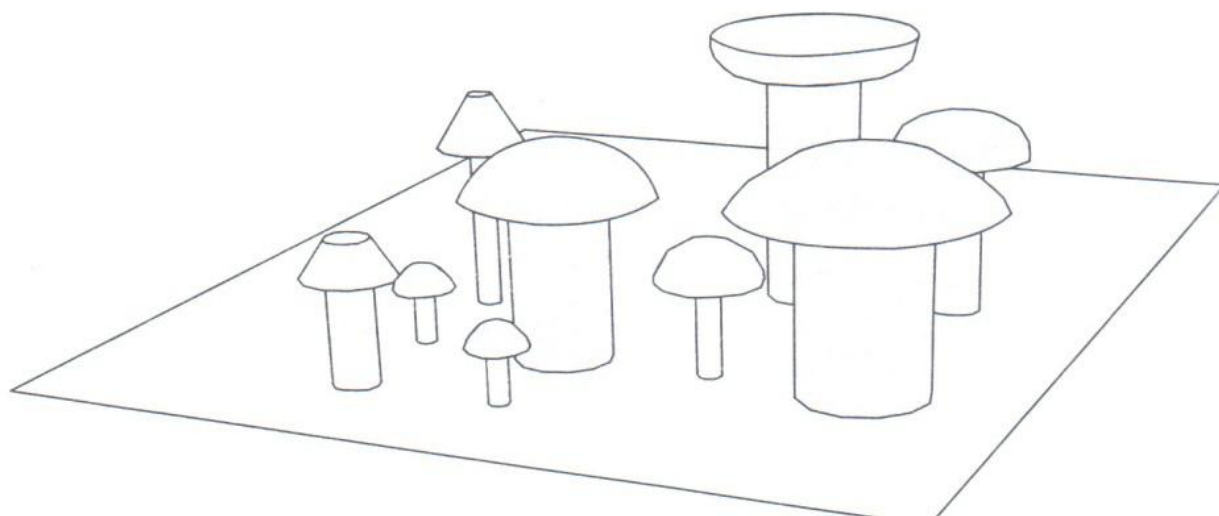
بنابراین درک صحیح از رفتار سازه ای اتصال و آگاهی مناسب از نحوه انتقال نیرو توسط آن برای طراحی یک اتصال ایمن و اقتصادی ضروری است. در طراحی یک اتصال در یک سازه فولادی باید علاوه بر حصول اطمینان از نحوه صحیح انتقال نیرو، به اجرایی بودن و امکان ساخت آن با امکانات موجود توجه نمود. این موضوع در مورد سازه هایی که قرار است در مقابل نیروهای ناشی از اثرات زلزله مقاوم باشند از اهمیت ویژه ای برخوردار است. اتصالات در سازه های فولادی را می توان بصورت های زیر طبقه بندی نمود.

۱-۱۱- انواع اتصال برحسب فن اتصال:

سه نوع وسیله اتصال شامل پرچ، پیچ و جوش برای اتصالات سازه ای فولادی مورد استفاده قرار می گیرد .

۱-۱۱-۱- پرچ

پرچ ها یکی از وسایل بسیار قدیمی برای اتصالات سازه های فولادی است. در اغلب پل های قدیمی فلزی از پرچ به عنوان یک وسیله اتصال استفاده می کردند. در کشور ما نیز پل های با دهانه های نسبتاً بزرگ، نظیر پل های در مسیر راه های کناره ی دریای خزر، پل فلزی واقع بر رودخانه زاینده رود، پل قوسی راه آهن نزدیک شهر خوی و همچنین پل قوسی بر روی رودخانه کارون واقع در شهر اهواز دارای اتصالات پرچی هستند. در کشورهای اروپایی و آمریکایی سازه هایی با تعداد طبقات زیاد، سازه های صنعتی، مخازن نفت با اتصالات پرچی ساخته شده اند. مصالح پرچ ها از فولادهای مخصوص هستند و می توانند توسط نورد سرد یا گرم تهیه شوند. پرچ ها با قطرهای ۱ تا ۴ سانتی متر در کارخانه های سازنده تولید می شوند. شکل ۱-۲ تعدادی پرچ در ابعاد و با شکل های مختلف کلاهدک آن نشان داده است.



شکل ۱-۱- انواع پرچ [۱]

نحوه ی عملیات اتصالات پرچی به قرار زیر است:

الف- اعضای مورد اتصال که به اندازه ای در حدود یک میلی متر بیشتر از قطر پرچ سوراخ شده اند بر روی یکدیگر قرار داده می شوند.

ب- پرچ در کوره تا حالت سرخ شدن کامل حرارت داده می شود.

ج- سطح بدنه ی قلم پرچ حرارت داده شده را به وسیله برس فلزی پاک کرده و به درون سوراخ هایی که قبلا آماده شده اند وارد می کنند.

د- با ثابت نگه داشتن سر کلاهک پرچ، سر دیگر آن را توسط یک چکش می کوبند تا به فرم کلاهک درآمده و پرچ محکم شود. عمل کوبیدن می تواند به وسیله ی یک دستگاه کوبنده که با هوای فشرده کار می کند، انجام پذیرد. با انجام عمل فوق بدنه پرچ به طور کامل داخل سوراخ فرو رفته و فضای داخل آن را پر می کند. علاوه برآن هنگام سرد شدن، پرچ منقبض شده که خود باعث ایجاد نیروی پیش تنیدگی در پرچ می شود و چون این نیروی پیش تنیدگی از پرچی به پرچ دیگر متفاوت است، آن را در محاسبات منظور نمی کنند.

از مزایای عمده اتصالات پرچی امکان اتصال هر نوع فولادی توسط آن می باشد. علی الرغم این امتیاز که اتصالات جوشی معمولا فاقد آن هستند، امروزه از اتصالات پرچی به دلایل زیر به جز در موارد خاص استقبال نمی گردد.

- در اتصالات پرچی سطح رویی قطعات برآمدگی داشته و امکان زنگ زدگی را افزایش داده و انجام عملیات رنگ آمیزی و زد زنگ نمودن را مشکل می کند.

- اتصالات پرچی نیاز به نیروی انسانی زیاد و ماهر و نظارت دقیق بر اجرای آن دارد.

- عملیات پرچ کاری توام با سر و صدای زیاد است که در شرایط فعلی محیط زیست مطلوب نیست. با پیشرفت فن جوشکاری و نیز تولید پیچ های پر مقاومت در حال حاضر استفاده از پرچ در اجرای سازه های فولادی

تقریباً منسوخ شده و به جای آن دو وسیله اتصال دیگر (پیچ یا جوش) برای ساخت سازه های فلزی بسیار رایج گردیده است.

۱-۱۱-۲- پیچ

پیچ های موجود در بازار به دو صورت معمولی یا اعلا (پر مقاومت) جهت اجرای اتصالات در سازه های فولادی مورد استفاده قرار می گیرند. انتخاب نوع اتصال دهنده معمولاً به عواملی از قبیل نوع سازه، شرایط بارگذاری (استاتیکی - دینامیکی)، اقتصادی تر بودن، امکان فراهم نمودن آسان آن، شرایط محلی و وجود نیروهای کارگر جهت انجام مراحل اجرایی اتصال، محدودیت های آئین نامه های طراحی و نهایتاً به سلیقه و ترجیح طراح بستگی دارد. هرچند ارائه یک سری اصول قطعی برای برتری هریک از انواع اتصال دهنده ها به آسانی میسر نیست. لیکن توجه به موارد کلی زیر می تواند به انتخاب مناسب نوع اتصال تا حدودی کمک نماید.

- در سازه های سبک که تحت بارهای استاتیکی قرار دارند و یا اعضای ثانویه سازه مانند لایه در سقف های شیروانی، بادبندها و مهارهای جانبی معمولاً استفاده از پیچ های معمولی (مقاومت کم) اقتصادی تر است.
- هنگامی که کارگر ماهر برای جوشکاری اتصال فراهم نباشد، استفاده از اتصالات پیچی برتری دارد.
- در سازه هایی که تحت بارهای متناوب قرار می گیرند که در اتصالات آن ها پدیده ی خستگی ایجاد می شود، استفاده از پیچ های پر مقاومت با عملکرد اصطحاککی دارای عملکرد بهتری نسبت به اتصالات با پیچ های معمولی یا پرمقاومت با عملکرد اتکایی است.

۱-۱۱-۳- جوش

اتصال اعضای سازه به کمک حرارت و ذوب شدن موضعی و یکپارچه کردن مصالح به یکدیگر را فن جوشکاری می نامند.

- اتصالات جوشی به شرط اجرای مناسب و صحیح جوش دارای ظاهر بهتری نسبت به اتصالات پیچی بوده و دامنه کاربرد وسیع تری نیز دارند. امروزه با توجه به پیشرفت فن جوشکاری، امکان اتصال اعضا از انواع فولادها توسط جوش به آسانی میسر می باشد.
- به دلیل امکان کنترل کیفیت جوشکاری، معمولاً برای ساخت قطعات فلزی در کارخانه از فن جوشکاری استفاده می شود در هر حال استفاده از وسایل جوشکاری در محل کارگاه نیز بسیار متداول است.
- برای اتصالات در تیرهای سراسری و نیز تیرها با اتصال صلب خمشی استفاده از جوش به عنوان یک وسیله اتصال کاربرد فراوانی دارد.

۱۲-۱- انواع اتصالات بر حسب میزان صلبیت آنان

۱-۱۲-۱- اتصال صلب

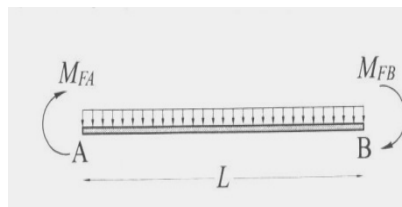
در این نوع اتصال تمام ظرفیت خمشی عضو متصل شونده توسط وسیله اتصال به عضو دیگر منتقل شده و زاویه چرخش بین اعضای اتصال در محل آن ثابت باقی می ماند.

۱-۱۲-۲- اتصال ساده

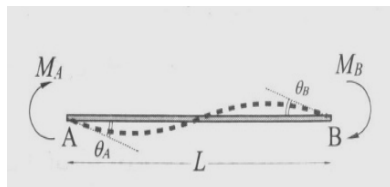
در این نوع اتصال اصولاً هیچ گونه لنگر خمشی در محل اتصال انتقال نمی یابد و زوایای چرخش در اعضای سازه در محل اتصال از یکدیگر مستقل و متفاوت می باشند. در موارد عملی معمولاً لنگر خمشی ناچیزی در محل اتصال در اثر خروج از مرکزیت بار توسعه می یابد ولی در هر حال می توان از خروج از مرکزیت کم صرف نظر نمود.

۱-۱۲-۳- اتصال نیمه صلب

در اتصالات نیمه صلب میزان لنگر خمشی انتقال یافته از یک عضو به عضو دیگر کمتر از ظرفیت خمشی عضو است (بین ۲۰ تا ۸۰ درصد). به عبارت دیگر لنگر خمشی انتقالی در این گونه اتصالات نه به اندازه لنگر خمشی در اتصالات صلب و نه میزان لنگر انتقالی بسیار کوچک (در حد صفر) در اتصالات ساده است. به منظور درک مناسب تر از تفاوت های موجود بین انواع اتصالات بر حسب صلبیت آن ها، باتو^۲ و رووان^۳ روشی ابداع نموده اند که توسط سوروچینکف^۴ توسعه یافته و به نام خط تیر نامیده می شود. تیر AB که تحت تاثیر لنگرهای خمشی M_A, M_B ، در انتهای خود قرارداد و باعث ایجاد دوران های θ_A, θ_B می شود را در نظر بگیرید (شکل ۲-۱).



الف-لنگرهای گیرداری



ب-لنگرها و چرخش های انتهایی

شکل ۲-۱- لنگرهای خمشی و دوران تیر AB [۱]

² Bato

³ Roavan

⁴ Brockenbrough

معادلات شیب- تغییر مکان برای تیر AB به صورت زیر است:

$$M_A = \frac{2EA}{L}(2\theta_A + \theta_B) \quad 1-2$$

$$M_B = \frac{2EA}{L}(\theta_A + 2\theta_B) + M_{FA} \quad 2-2$$

معادلات فوق بر حسب چرخش های انتهایی θ_A, θ_B به صورت زیر خواهد بود:

$$\theta_A = \frac{L}{6EA}(2(M_A + M_{FA})) - M_B + M_{FB} \quad 3-2$$

$$\theta_A = \frac{L}{6EA}(2(M_A + M_{FA})) - M_B + M_{FB} \quad 4-2$$

برای حالت تقارن مستقیم $\theta_A = -\theta_B, M_A = M_B, M_{FA} = -M_{FB}$ خواهیم داشت:

$$M_A = M_B \quad 5-2$$

$$\frac{2EA}{L}\theta_A + M_{FA}$$

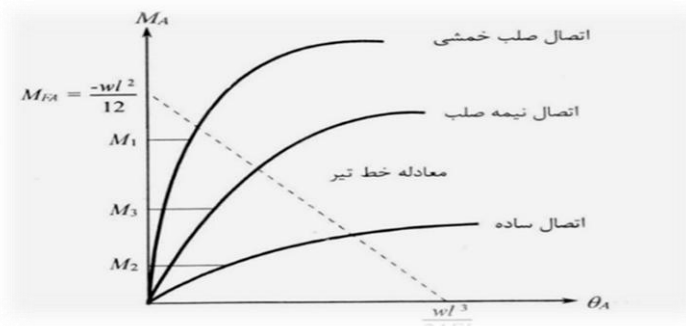
رابطه (5-1) را معادله خط تیر می نامند برای گیرداری کامل ($M_{A=0}$) شیب انتهای برابر M_A برابر

M_{FZ} خواهد بود و در حالت انتهایی مفصلی ($M_{A=0}$) شیب آنچنان چه بار گسترده یکنواخت با شدت W بر

تیر اعمال شود آن گاه $M_{FA} = -\frac{WL^2}{12}$ و برای انتهای مفصلی $\theta_A = \frac{WL^2}{24EL}$ به دست می آید.

معادله خط تیر و نیز رابطه لنگر خمشی و دوران اتصالات برای انواع گیرداری کامل، ساده و نیمه

گیردار به صورت شماتیک در شکل 3-1 نمایش داده شده است.



شکل 3-1- معادله خط تیر و منحنی های لنگر خمشی بر حسب دوران [۱]

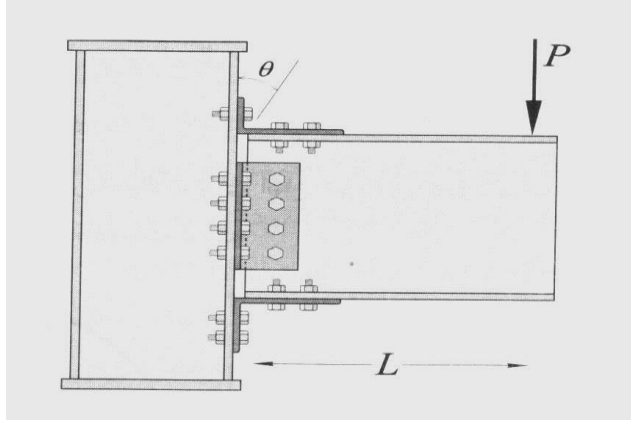
با توجه به شکل 3-1 اتصال صلب خمشی باید، M_1 ، حداقل لنگری معادل ۹۰ درصد لنگرگیرداری

M_{FZ} را انتقال می دهد.

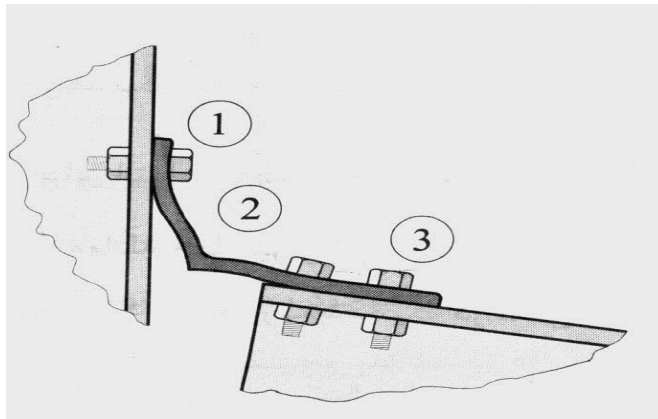
اصولاً برای تعیین میزان صلبیت یک اتصال، منحنی لنگر خمشی- دوران را به روش های نظری یا

تجربی تعیین کرده و اتصال را به گونه ای طراحی می کنند که چرخش انتهایی که قادر به تحمل آن است، با چرخش ایجاد شده در اثر بار وارده سازگار باشد.

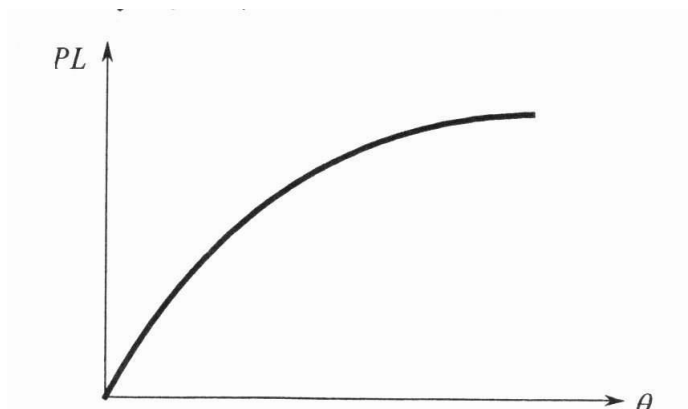
همان گونه که اشاره شد، منحنی $M-\theta$ برای تعیین میزان صلبیت اتصال از اهمیت ویژه ای برخوردار است. روش معمول برای تعیین $M-\theta$ انجام آزمایش بر روی اتصال و تعیین منحنی $M-\theta$ می باشد که پژوهشگران متعددی این گونه منحنی ها را برای تعداد زیادی اتصال تعیین و گزارش نموده اند .



الف- نمونه اتصالات فولادی برای آزمایش



۱- تسلیم کششی پیچ ۲- تسلیم نبشی ناشی از خم ۳- لغزش پیچ ها و تسلیم در تنش های لهیدگی
ب- شکل تغییر شکل یافته نبشی



ج- منحنی لنگر خمشی دوران

شکل ۱-۴- تعیین منحنی $M-\theta$ توسط آزمایش [۱]

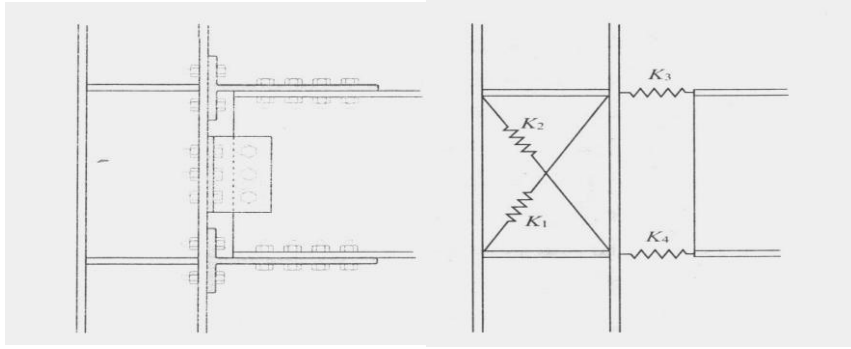
منحنی های $M-\theta$ برای اتصالات سازه های فولادی معمولاً توسط آزمایش بر روی نمونه ای از تیر با تکیه گاه نیمه گیردار مطابق شکل ۴-۱ انجام می شود.

برای ترسیم منحنی های $M-\theta$ ، لنگرهای خمشی مستقیماً توسط بارگذاری استاتیکی نمونه آزمایش و زوایای دوران بر حسب انتقال تیر نسبت به عمق آن اندازه گیری می شوند. برای نمونه ساخته شده از دو نبشی بالایی پائینی، زوایای چرخش θ شامل پارامترهایی نظیر تغییر شکل الاستیک ناشی از کشش نبشی، دوران حاصل از تسلیم در ساق پیچ شده نبشی به ستون ناشی از خمش، تسلیم ساق نبشی پیچ شده به بال تیر ناشی از کشش، لغزش در پیچ ها و تغییر شکل ناشی از لهیدگی در سوراخ است.

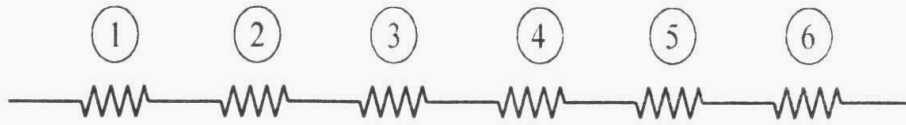
استفاده از منحنی $M-\theta$ که توسط پژوهشگران گزارش شده است برای تجزیه و تحلیل انواع اتصالات بسیار مفید است. اما با توجه به عدم تعیین دقیق پارامترهایی نظیر تنش تسلیم واقعی مصالح اتصال، میزان سفت شدن پیچ های اتصال و مواردی نظیر آن و نیز تفاوت های موجود از نظر ابعاد و اندازه در هر اتصال، در به کارگیری چنین منحنی هایی باید رعایت احتیاط را نمود. به بیانی دیگر، منحنی های گزارش شده توسط پژوهشگران کارایی لازم را برای درون و یا برون یابی اطلاعات و نتایج ندارند. با توجه به وجود مشکلات در انجام آزمایشات تجربی بر روی نمونه اتصال امروزه استفاده از روش اجزاء محدود غیر خطی برای تجزیه و تحلیل اتصال و تعیین منحنی $M-\theta$ برای آن بسیار مرسوم و رایج شده است. شایان ذکر است استفاده از روش اجزاء محدود غیر خطی نیز نیاز به رایانه های با ظرفیت بالا و آگاهی کامل از قابلیت های نرم افزار به کار گرفته شده دارد.

روش جالب دیگری که اخیراً توسط آئین نامه های اروپایی برای تعیین میزان صلبیت اتصال پیشنهاد شده استبه نام نگرش یا روش اجزا یا مولفه ها موسوم است. در این روش هر یک از مکانیزم های تغییر شکل در اتصال مشخص و صلبیت آن ها به صورت منفرد با انجام آزمایش در هر جزء تعیین می شود. صلبیت هر یک از این اجزاء توسط فنرهای خطی و یا غیر خطی مدل سازی شده و مجموعه این فنرها به صورت سری یا موازی برای تعیین صلبیت اتصال مونتاژ می گردند. منحنی $M-\theta$ با استفاده از یک برنامه رایانه ای ساده به دست خواهد آمد (شکل ۵-۱)

یک نمونه از اتصال پیچی تیر به ستون به کمک سپری را که با فنرهایی با صلبیت K_1 و K_2 و K_3 و K_4 مدل شده است، نشان می دهد. ضرائب سختی های K_1 و K_2 معرف تغییر شکل ناحیه مربوطه تحت اثر نیروی برشی هستند در حالی که فنرهای با ضرائب K_3 و K_4 تغییر شکل های خمشی اتصال T شکل را نشان می دهند. البته فنرهای با سختی K_3 و K_4 در بردارنده سختی های گوناگون اجزای اتصال هستند که در شکل ۵-۱ ج برای فنر K_3 نشان داده شده است. دو فنر با ضرائب سختی K_3 و K_4 را می توان نهایتاً با یک فنر پیچشی جایگزین نمود.



الف-اتصال سپری ب-مدل مکانیزم سختی



۱-سختی ناشی از تغییر طول پیچ های کششی ۲-سختی ناشی از تسلیم بال سپری ۳-سختی ناشی از تسلیم جان سپری ۴-سختی ناشی از لغزش پیچ ۵-سختی ناشی از تغییر شکل سوراخ ۶-سختی ناشی از ورق اتصال جان (Shear tab)

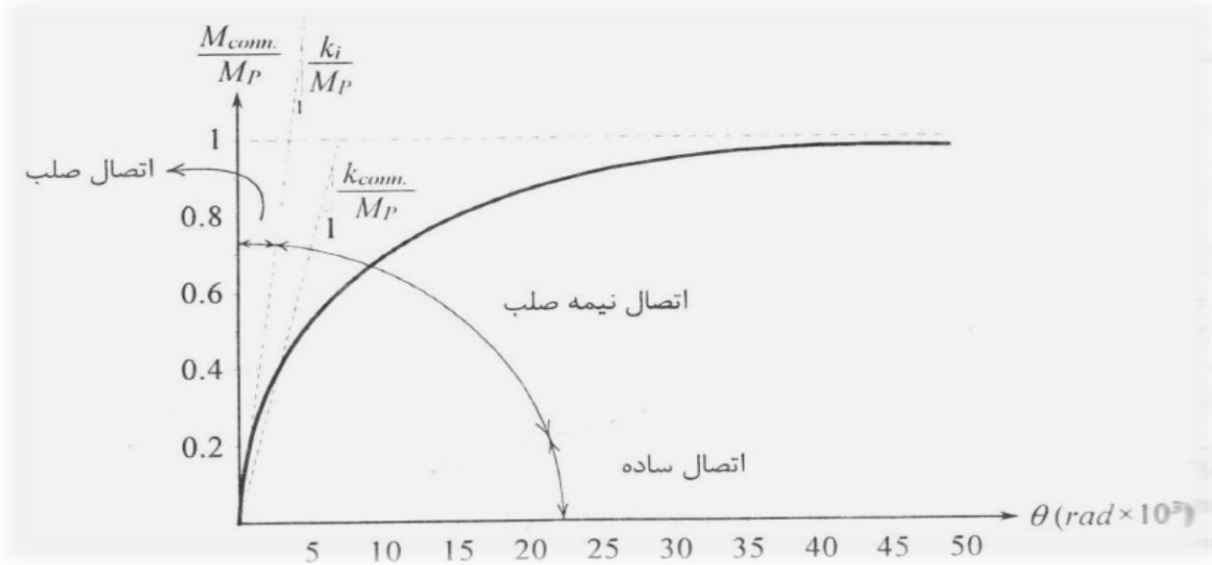
ج-مولفه های سختی K_3

شکل ۲-۵- مدل ریاضی اتصال سپری [۱]

علی رغم امکان تعیین منحنی $M-\theta$ برای یک اتصال به روش های تجربی و نظری، نتایج و اطلاعات گسترده ای در مورد این منحنی ها برای انواع اتصالات با شرایط گوناگون در دسترس نیست. آئین نامه های طراحی نیز راه حل مشخص و کاربردی برای اعمال مفاهیم منحنی های $M-\theta$ برای موارد عملی ارائه ننموده اند. از طرفی نتایج حاصل از منحنی های $M-\theta$ برای طراحی اتصالات خصوصاً اتصالات نیمه صلب از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به بیانی دیگر هر چند کاربرد اتصالات نیمه صلب به عنوان یک راه حل مناسب در ساخت سازه های فولادی مورد توجه مهندسين قرار گرفته است، لیکن آئین نامه های طراحی در چاپ های قبل از سال ۱۹۸۶ میلادی به درستی اثرات انعطاف پذیری، مقاومت و صلبیت این نوع اتصالات را مورد توجه قرار نداده اند. اولین چاپ آئین نامه AISC در بخش LRED در سال ۱۹۸۶ میلادی دو نوع اتصال صلب خمشی و نیمه صلب را به عنوان اتصالات مناسب در سازه های فولادی به رسمیت شناخت. پس از آن در تحقیقات گسترده ای در زمینه اتصالات سازه های فولادی توسط تعدادی از پژوهشگران منجر به ارائه راه حل های جامعی برای طبقه بندی اتصالات و اهمیت میزان صلبیت، شکل پذیری و مقاومت آنها گردید. در ادامه با استفاده از منحنی $M-\theta$ مفاهیم صلبیت، مقاومت و شکل پذیری اتصالات فولادی که در طبقه بندی و طراحی اتصالات سازه های فولادی از اهمیت خاصی برخوردار است، ارائه می شود.

۱۳-۱- صلبیت اتصال

صلبیت یک اتصال را می توان توسط شیب منحنی $M-\theta$ تعیین نمود. چون منحنی $M-\theta$ برای جمع مقادیر M و θ به صورت غیر خطی است می توان صلبیت اتصال را توسط شیب مماس بر منحنی $M-\theta$ به دست آورد. شکل ۶-۱ منحنی $M-\theta$ برای یک اتصال را نشان می دهد. محور قائم بر حسب M_p لنگر خمشی پلاستیک تیر هم پایه شده است.



شکل ۶-۲ منحنی $M-\theta$ برای یک اتصال و طبقه بندی میزان صلبیت آن [۱]

در شکل ۶-۱ مماس بر منحنی $M-\theta$ صلبیت مماسی K_1 است. چون تعیین صلبیت به روش مماسی به منحنی پیوسته و غیر خطی $M-\theta$ نیاز دارد، در بیشتر طراحی ها برای قالب های منظم از صلبیت وتر (سکانت) که راه حل قابل قبولی است، استفاده می شود. در این روش صلبیت اتصال در هر نقطه از منحنی $M-\theta$ شیب خط واصل بین آن نقطه و مبدا مختصات است. اتصالات را بر حسب صلبیت آن می توان به اتصالات صلب، اتصالات نیمه صلب و اتصالات ساده و یا مفصلی بدون صلبیت طبقه بندی نمود.

ضریب صلبیت سکانت در بارهای سرویس K_{ULZ} ، با روش سکانت را می توان بر اساس زاویه دوران در حدود $0.2/0$ رادیان بدست آورد. در هر حال میزان صلبیت اتصال هنگامی معنا دار است که با میزان صلبیت اعضای متصل شده به آن مقایسه شود. به عنوان مثال، اتصالی در یک قاب با حرکت جانبی هنگامی از نظر میزان سختی به عنوان اتصال صلب محسوب می شود که کمیت بدون بعد $a = \frac{K_{Serv}}{EI} L$ برای آن از عدد ۱۸ بزرگتر باشد. K_{Serv} ضریب صلبیت در بارهای سرویس و $\frac{EI}{L}$ ضریب صلبیت تیر متصل به اتصال است. در قاب های معمولی با حرکت جانبی معیار حد نهایی به گونه ای تعیین می شود که کاهش در ظرفیت کمانش ارتجاعی ناشی از انعطاف پذیری اتصال از ۵ درصد آنچه آنالیز با فرض اتصال صلب به دست می آید تجاوز نکند. بنابراین به علت چنین کاهش در ظرفیت کمانشی مقدار a برای قاب های با حرکت جانبی (مهار نشده) عدد

۲۰ پیشنهاد می شود. برای قاب های با حرکت جانبی مقید (مهارشده) فرض $a > 8$ برای اتصال صلب قابل قبول است.

در هر حال اتصالاتی که برای آن ها $a < 2$ به دست آید در زمره اتصالات ساده (مفصلی) جای دارند. چنانچه برای یک اتصال در قاب مهارنشده کمیت بدون بعد a در محدوده اعزاز ۲ و ۲۰ ($2 < a < 20$) واقع شود، آن را به عنوان یک اتصال نیمه صلب در نظر می گیرند.

۱-۱۴- مقاومت اتصال

اتصال ها را می توان بر حسب مقاومت آن ها طبقه بندی نمود. چنانچه اتصالاتی تمام مقاومت خمشی تیر را بتواند انتقال دهد آن را اتصال با مقاومت کامل و در صورتی که درصدی از لنگر خمشی تیر را منتقل کند به آن اتصال با مقاومت جزئی گویند. منحنی $M-\theta$ که محور قائم آن ها نسبت به لنگر خمشی پلاستیک تیر هم پایه شده است، معیار مناسبی برای طبقه بندی اتصال بر حسب مقاومت آن می باشد.

اتصالاتی که کمتر از ۲۰ درصد لنگر خمشی تیر ($0.2 Mp$) را منتقل می کنند در طبقه بندی اتصالات بدون مقاومت خمشی قرار می گیرند. چون برای بیشتر اتصالات با مقاومت جزئی ناحیه همواری در منحنی $M-\theta$ آن ها مشاهده نمی شود، یک زاویه دوران اختیاری برای مقایسه مقاومت پلاستیک اتصال $M_{p,conn}$ ، با ظرفیت پلاستیک تیر در نظر گرفته می شود. برای این منظور زاویه دورانی معادل $0.2/0$ رادیان توصیه می شود.

۱-۱۵- شکل پذیری

شکل پذیری اتصال یک پارامتر کلیدی برای اتصالات نیمه صلب که در آن ها تغییرشکل ها در اعضای اتصال متمرکز هستند، می باشد. برای قاب های خمشی انعطاف پذیر با اتصالات جوشی نیز که زوایای دوران بزرگی در مجاورت اتصال از آن ها انتظار می رود، شکل پذیری اتصال از اهمیت ویژه ای برخوردار است. شکل پذیری مورد نظر برای یک اتصال به انعطاف پذیری و عملکرد آن در نواحی با شدت زلزله متوسط و زیاد بستگی دارد.

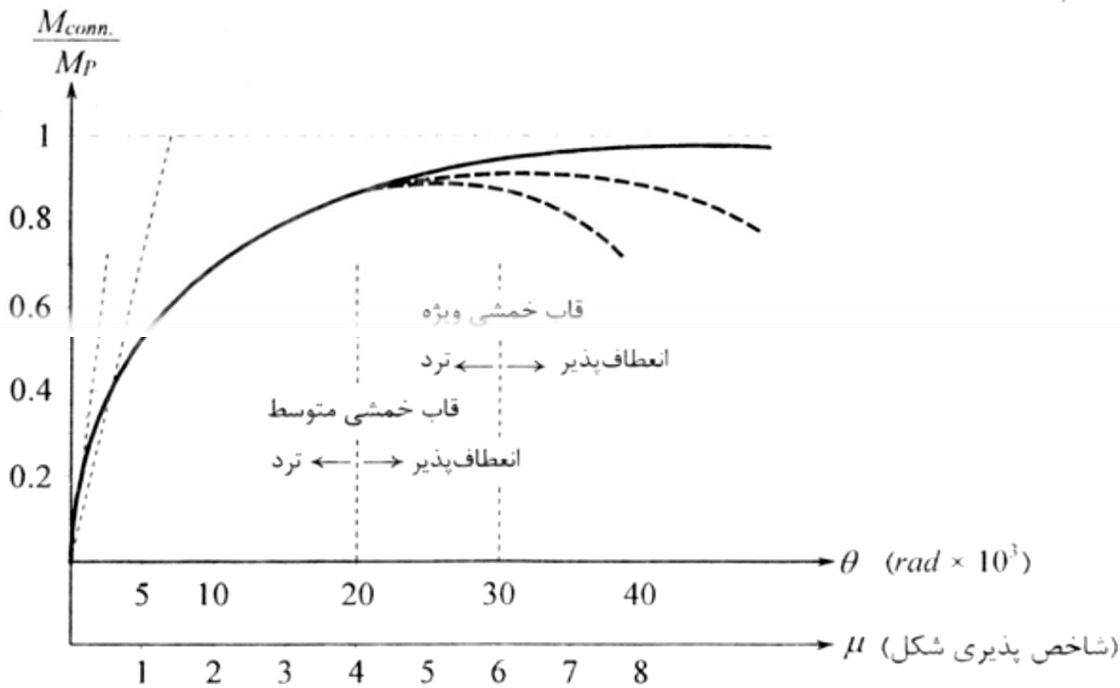
طبق ضوابط آئین نامه های لرزه ای سازه ای، از قاب خمشی متوسط انتظار می رود اعضای اتصالات آن قادر باشند تغییرشکل های غیر ارتجاعی محدودی هنگامی که در برابر نیروی زلزله قرار می گیرند تحمل نمایند. از طرف دیگر از قاب های خمشی ویژه انتظار می رود که تغییر شکل های غیر ارتجاعی قابل ملاحظه ای را در هنگام زلزله تحمل نمایند. الزامات قاب های خمشی متوسط و ویژه در طراحی لرزه ای سازه ها باید به دقت مراعات گردد.

شکل پذیری یک اتصال در تعیین ضوابط طراحی لرزه ای سازه های فولادی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. از انواع سیستم های باربر در طراحی لرزه ای سازه های فولادی دو نوع قاب خمشی متوسط (IMF) و قاب خمشی ویژه (SMF) دارای کاربردهای فراوانی هستند.

شکل پذیری یک اتصال به عنوان یک الزام اساسی در قاب های خمشی متوسط و خمشی ویژه محسوب می شود. به بیانی دیگر زاویه مطلق و یا نسبی یک اتصال به عنوان یک کمیت مهم در طبقه بندی آن از لحاظ شکل پذیری در نظر گرفته می شود. به عنوان مثال یک اتصال خمشی در قاب خمشی متوسط باید توانایی

تحمل تغییر شکل های دورانی در محدوده غیر ارتجاعی، حداقل به میزان ۰.۰۲ رادیان را بدون کاهش قابل توجه در مقاومت خود دارا باشد.

شکل ۷-۱ منحنی تغییرات لنگر خمشی اتصال که نسبت به لنگر خمشی پلاستیک تیر هم پایه شده است را برحسب زاویه دوران نشان می دهد. در این شکل هم چنین شاخص شکل پذیری نسبتی $\mu = \frac{\theta_U}{\theta_Z}$ در زیر محور افقی رسم شده است. θ_U حد نهایی زاویه دوران و θ_Z زاویه دوران پلاستیک نامیده می شوند.



شکل ۷-۲- منحنی تغییرات $M-\theta$ برای طبقه بندی اتصالات از لحاظ شکل پذیری [۱]

برای تعیین زاویه دوران پلاستیک θ_Z در قاب های با اتصالات نیمه صلب می توان زاویه دوران در محل تلاقی صلبیت سرویس و سخت شدگی اتصال را در نظر گرفت. در شکل ۷-۱، θ_Z برابر 0.05 رادیان به دست می آید.

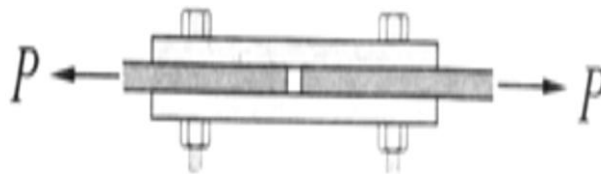
برای هر دو زاویه دوران مطلق و نسبی در یک اتصال به عنوان شاخص های شکل پذیری، لازم است به میزان کاهش در مقاومت اتصال ناشی از کمانش موضعی و لغزش، خصوصا تحت بارهای متناوب توجه شود. بدین منظور است که آئین نامه های طراحی زوایای دوران مورد انتظار برای اتصالات شکل پذیر را بدون کاهش قابل توجه در مقاومت آن در نظر گرفته و پیشنهاد می کنند به عنوان یک قانون ساده، هنگامی که اتصال به زاویه دوران مورد نظر می رسد کاهش در مقاومت ناشی از بارهای متناوب باید به ۲۰ درصد ظرفیت آن محدود باشد. در بازنگری پیوست (۲) استاندارد ۲۸۰۰ ایران، یک اتصال خمشی در قاب خمشی ویژه باید توانایی تحمل تغییر شکل های دورانی در محدوده غیر ارتجاعی، حداقل به میزان 0.04 رادیان را بدون کاهش قابل توجه در مقاومت خود (حداکثر ۲۰ درصد) دارا باشد.

۱-۱۶- انواع اتصالات بر حسب نیروی انتقالی:

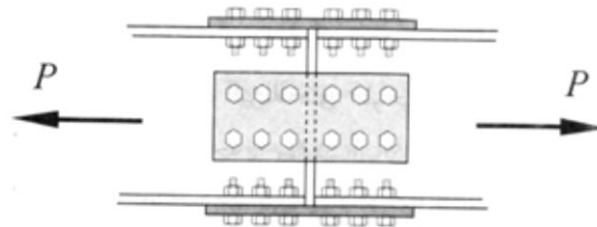
اتصالات سازه های فولادی را می توان بر حسب نوع نیرویی که از یک عضو به عضو دیگر آن انتقال می دهند، طبقه بندی نمود. تنوع نیروهایی که عموماً توسط اتصالات منتقل می شوند به شرح زیر است:

۱-۱۶-۱- نیروی برشی

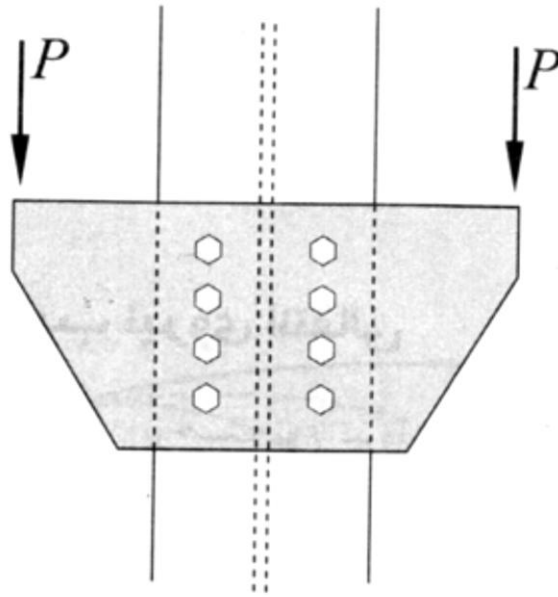
در این گونه اتصالات عمده نیروی انتقالی نیروهای برشی و تکیه گاهی هستند که معمولاً در اتصالات ساده تیر به ستون این نوع نیرو منتقل می شود. معمولاً یک اتصال به ندرت تحت اثر نیروی برشی خالص قرار می گیرد و غالباً به دلیل خروج از مرکزیت نیروی برشی همراه با لنگرهای خمشی و پیچشی در یک اتصال خواهد بود. در شکل ۸-۲ نمونه هایی از اتصالات که عمده نیروی انتقالی توسط آن ها نیروی برشی است، نشان داده شده است.



الف- پیچ تحت برش دو طرفه



ب- پیچ اتصال جان و بال تحت برش

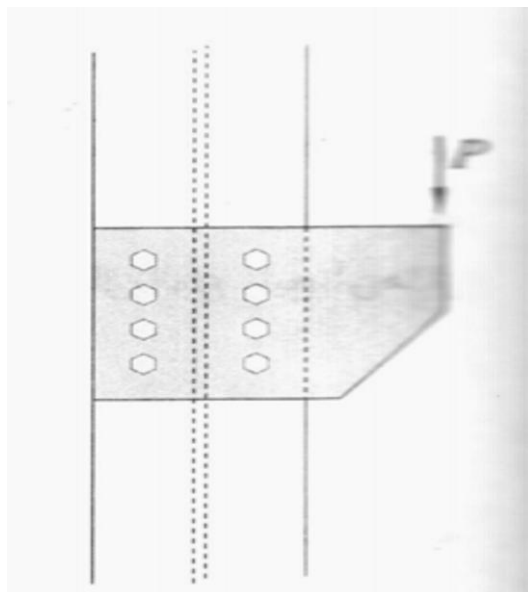


ج- ورق اتصال بال تحت برش

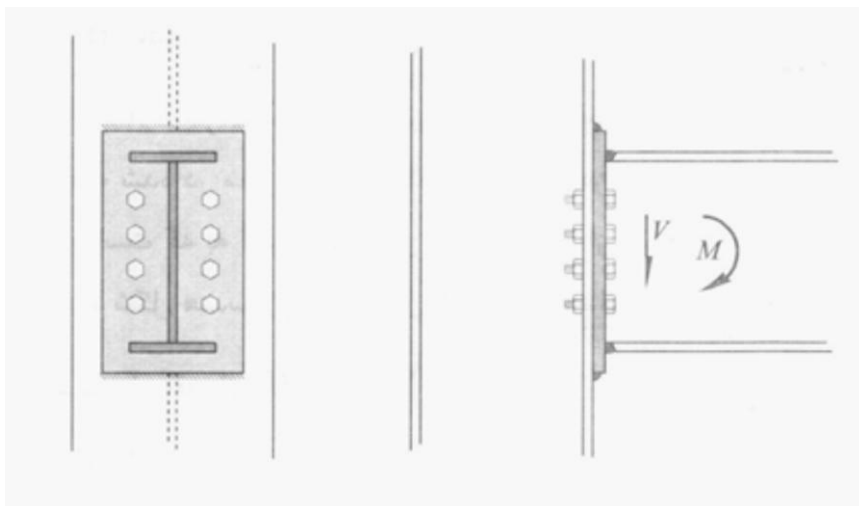
شکل ۱-۸- اتصالات تحت اثر نیروی برشی [۱]

۱-۱۶-۲- لنگرهای خمشی و پیچشی:

در این نوع اتصال عمده نیروهای انتقالی به صورت لنگرهای خمشی و پیچشی نمایان می شوند. معمولاً لنگرهای خمشی و پیچشی همراه با نیروهای برشی در اتصال پدید می آیند. اتصالات صلب و نیمه صلب در تیرهای ساختمانی عمدتاً تحت تاثیر لنگرهای خمشی و نیروهای برشی قرار می گیرند. شکل ۱-۹ نمونه هایی از اتصالات تحت لنگرهای خمشی و پیچشی توام با نیروی برشی را نشان می دهد.



الف- اتصال براکتی تحت نیروی برشی و لنگر پیچشی

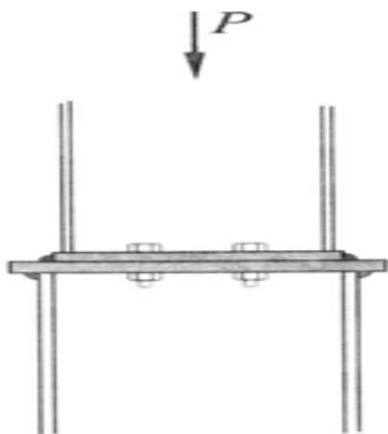


ب- اتصال تیر به ستون تحت نیروی برشی و لنگر خمشی

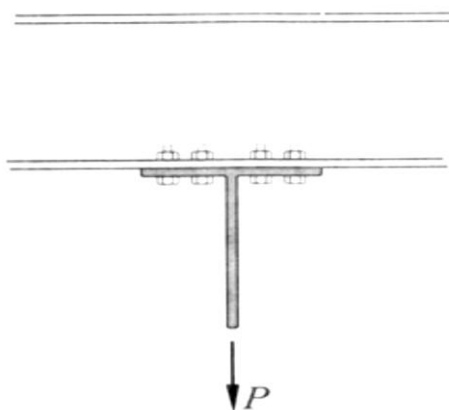
شکل ۱-۹- اتصالات تحت لنگرهای خمشی و پیچشی توام با برش [۱]

۱-۱۶-۳- کشش و فشار

در این نوع اتصال نیروهایی که از یک عضو به عضو دیگر منتقل می شوند به صورت نیروهای محوری (کششی یا فشاری) ظاهر می شوند. اتصالات وصله ستون، اتصالات خرپایی و اتصالات بادبندها را می توان در این طبقه بندی قرار داد. عمده اتصالات فشاری یا کششی همراه با نیروی برشی در اتصال هستند. در شکل ۱-۱۰ دو نمونه از اتصال تحت فشار و کشش داده شده است.



الف- وصله ستون (اتصال تحت فشار)



ب- اتصال کششی به صورت عضو آویزان

شکل ۱-۱-۱۰- اتصالات تحت فشار و کشش جوش کام و انگشترانه همراه با جوش گوشه [۱]

۱۷-۱- اتصالات پیچی

امروزه استفاده از پیچ به عنوان یک وسیله اتصال مناسب و قابل اطمینان در ساخت و اجرای سازه‌های فولادی بسیار رایج و متداول گردیده است. چون عموماً در ساخت و تولید پیچ‌ها از فولادهای مخصوص با عملیات ویژه استفاده می‌کنند، مصالح پیچ‌ها دارای مقاومت گسیختگی به مراتب بالاتر از فولادهای ساختمانی معمولی می‌باشند. دست‌یابی به پیچ‌های پر مقاومت و با کیفیت مناسب موجب فراهم شدن افق‌های جدیدی در زمینه اتصالات انواع سازه‌های فولادی اعم از ساختمان، پل و تاسیسات صنعتی گردیده است.

در این فصل ضمن ارائه مزایا و معایب اتصالات پیچی، انواع پیچ‌ها از لحاظ نوع و مقاومت، عملکرد و کاربرد بیان گردیده و چگونگی رفتار انواع اتصالات توسط آن‌ها تحت تاثیر نیروهای گوناگونی نظیر کشش، برش، پیچش، خمش و ترکیب آن‌ها مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در ادامه ضمن ارائه نحوه محاسبه تنش در اتصالات پیچی و مقایسه و کنترل آن با تنش‌های مجاز مربوطه محدودیت‌های مندرج در آئین‌نامه‌های طراحی برای اتصالات پیچی نیز بیان خواهد شد.

۱-۱۷-۱- مزایا و معایب اتصالات پیچی

با توجه به مشکلات اجرایی که در اجرای سازه های فولادی توسط اتصالات به کمک پرچ وجود دارد امروزه استفاده از پیچ های پر مقاومت به عنوان یک وسیله اتصال مناسب جایگزین پرچ و در مواردی نیز جوش گردیده است. برای اتصالات پیچی مزایای متعددی را می توان برشمرد هر چند، در کنار این مزایا، مشکلاتی نیز در مسیر اجرای این گونه اتصالات وجود دارد که به عنوان عیب تلقی می شوند.

۱-۱۷-۱-۱- مزایای اتصالات پیچی

مزایای اتصالات پیچی به شرح زیر است:

الف- سرعت نصب و مونتاژ بالا: سرعت نصب و اجرای سازه های فولادی به کمک اتصالات پیچی بسیار بالا بوده و در مدت کوتاهی می توان یک سازه فولادی را به کمک پیچ سر پا کرد.

ب- امکان باز نمودن سازه و استفاده مجدد: اعضای سازه های فولادی را که با پیچ به یکدیگر متصل شده اند، می توان از هم جدا نمود و در محل دیگری مجدداً آن ها را به یکدیگر متصل و سازه جدیدی را احداث نمود. این موضوع در اجرای سازه های موقت نظیر پل ها و داربست های غیر دائم اهمیت ویژه ای دارد.

ج- عدم نیاز به کارگر ماهر: چنانچه در فصل دوم ذکر شد در استفاده از فن جوشکاری به وجود کارگر ماهر نیاز است. در مواردی که کارگر ماهر در دسترس نباشد به کمک پیچ می توان تا حد زیادی این محدودیت را بر طرف نمود.

د- بی سر و صدا بودن هنگام نصب و اجرا: اصولاً اجرای سازه های فولادی به کمک اتصالات پیچی همراه با سر و صدای زیاد نمیباشد. در حالی که اجرای سازه های فولادی به کمک پرچ توام با سر و صدای زیاد و در مواردی آزار دهنده است.

ه- شرایط محیطی کار: همان گونه که در فصل دوم اشاره شد برای اجرای مناسب اتصالات جوشی لازم است درجه حرارت محیط، تهویه هوا، محل استقرار و نیز فضای دسترس به اتصال در شرایط مناسب و قابل قبولی باشد. در حالی که محدودیت های ذکر شده در اجرای سازه های فولادی به کمک اتصالات پیچی به مراتب کم تر است.

ی- عدم محدودیت در اعضای اتصال: در اجرای سازه های فولادی ممکن است مواردی پیش آید که امکان جوش پذیری اعضای سازه به آسانی و با کمک تجهیزات و وسائل موجود میسر نباشد، در این صورت استفاده از اتصالات پیچی چاره ساز است.

و- کم هزینه بودن کارهای نصب و اجرا: چون در اجرای سازه های فولادی به کمک اتصالات پیچی به وسایل معمولی نیاز بوده و احتیاج به تجهیزات خاص و نیز کارگرهای ماهر و متخصص نمی باشد هزینه اجرای سازه کاهش می یابد.

ضمناً چنانچه بنا به دلایلی در هنگام نصب، سفت کردن پیچ ها قبل از اعمال بار به خوبی انجام نشده باشد امکان محکم کردن دوباره میسر می باشد.

۱-۱۷-۲- معایب اتصالات پیچی

مشکل عمده در اجرای سازه های فولادی با اتصالات پیچی در اثر اجرای غلط و نامناسب سوراخ ها و عدم رعایت میزان پیش تنیدگی در پیچ ها و عدم انطباق آن ها هنگام اجرا و نصب پدید می آید. بنابراین در تعبیه سوراخ های اعضا در کارگاه های صنایع فلزی، باید به دقت محل سوراخ ها تعیین و با وسایل و تجهیزات مناسب عمل سوراخ نمودن اعضاء صورت گیرد.

۱-۱۸- اتصالات صلب ممان گیر تیر به ستون

در اتصالات صلب خمشی، لنگر خمشی انتهای تیر به صورت کامل به ستون منتقل گردیده و زاویه چرخش بین تیر و ستون در محل اتصال ثابت باقی می ماند. همان گونه که در فصل اول بیان شد، چنانچه اتصالی قادر باشد تمام ظرفیت خمشی تیر را به ستون منتقل کند به آن اتصال با مقاومت کامل و در صورتی که درصدی از لنگر خمشی تیر را منتقل کند به آن اتصال با مقاومت جزئی می گویند.

سازه های فولادی که اتصال تیرها به ستون ها توسط اتصالات صلب (ممان گیر) انجام می شود، دارای مزایای عمده ای به شرح زیر هستند.

الف- لنگر خمشی منفی پدید آمده در محل اتصال موجب کاهش لنگر خمشی مثبت میشود. به عبارت دیگر قسمت های انتهایی و میانی تیر هر دو در تحمل خمش تیر سهیم هستند که خود موجب کاهش در ابعاد مقطع تیر خواهد شد.

ب- چنانچه تیر از شرایط فشردگی جانبی کافی برخوردار باشد، باز توزیع لنگر خمشی در تیر امکان پذیر بوده و می توان لنگر خمشی منفی طراحی را به میزان ۱۰ درصد کاهش داد کاهش لنگر خمشی منفی تیر باعث می شود که مقطع کوچک تری برای تحمل بارهای وارده بر تیر مورد نیاز باشد.

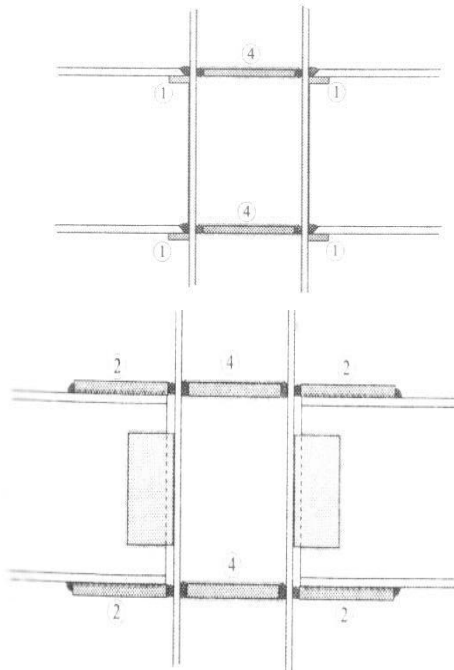
ج- در سازه های فولادی که امکان تعبیه باد بند برای تحمل بارهای جانبی در آن ها به دلیل محدودیت های معماری میسر نباشد، استفاده از قاب های خمشی با اتصالات صلب یک راه حل مناسب جایگزین است.

د- سازه های با اتصالات صلب عموماً دارای شکل پذیری مناسب هستند از این رو سازه های فولادی با این گونه اتصالات عملکرد رضایت بخشی در برابر نیروهای ناشی از زلزله دارند. در این فصل اتصالات ممان گیر متعارف در سازه های فولادی با استفاده از هر دو فن جوشکاری و پیچکاری بررسی گردیده و مبانی و ضوابط طراحی هر یک همراه با مثال هایی ارائه خواهد شد.

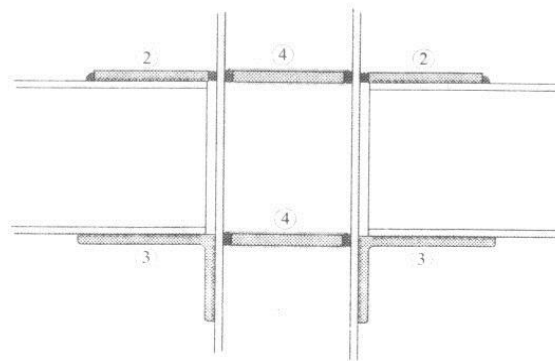
۱-۱۹- اتصالات صلب رایج

هر چند تنوع اتصالات صلب تیر به ستون بسیار زیاد است، لیکن در این فصل به انواع رایج آن که به نحو گسترده ای در اسکلت های ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرند اشاره خواهد شد. چون عمده لنگر خمشی تیر در بال های آن توسعه می یابد، از این رو برای فراهم نمودن یک اتصال صلب باید به نحو مقتضی بال های تیر به ستون متصل گردند. اتصال بال های تیر به ستون می تواند به صورت مستقیم و با استفاده از

جوش نفوذی (شکل ۱۱-۱ الف) به صورت غیر مستقیم و توسط ورق های فوقانی و تحتانی (شکل ۱۱-۱ ب) و یا توسط ورق فوقانی و نشیمن (شکل ۱۱-۱ ج) انجام گیرد.



الف-اتصال مستقیم تیر به ستون ب-اتصال تیر به ستون ورق فوقانی و نبشی نشیمن

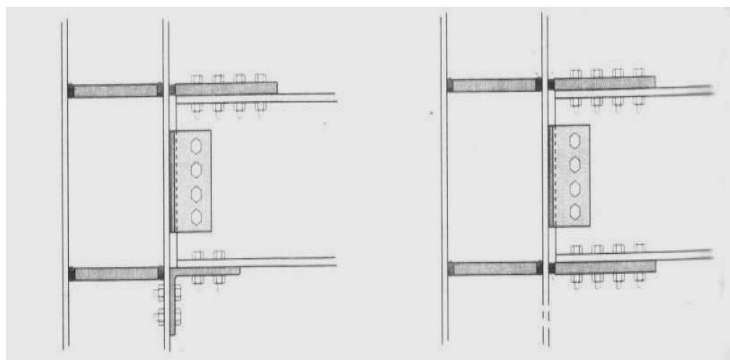


ج- اتصال تیر به ستون توسط ورق های فوقانی

۱-ورق پشت بند ۲-ورق های تحتانی و فوقانی ۳-نبشی نشیمن ۴-ورق های پیوستگی

شکل ۱-۱-۱۱- اتصال صلب متداول [۱]

اتصال مستقیم بال های تیر به ستون به دلیل نیاز به پخ زنی بال برای جوش شیاری (شکل ۱-۱۱-الف) چندان متداول نیست و استفاده از ورق های فوقانی و تحتانی با نبشی نشیمن متداول تر است (شکل های ۱-۱۱ و ج) شکل ۱-۱۱-الف نمونه ای از اتصال صلب را که بال های تیر توسط ورق های فوقانی و تحتانی توسط جوش شیاری به بال ستون و توسط پیچ به بال های تیر متصل شده اند، نشان می دهد. انتقال نیروی برشی تیر به ستون توسط نبشی و با کمک پیچ در این اتصال انجام می گیرد. برای اتصال بال زیرین تیر به ستون می توان از نبشی نشیمن مطابق شکل ۱-۱۲-ب استفاده کرد.



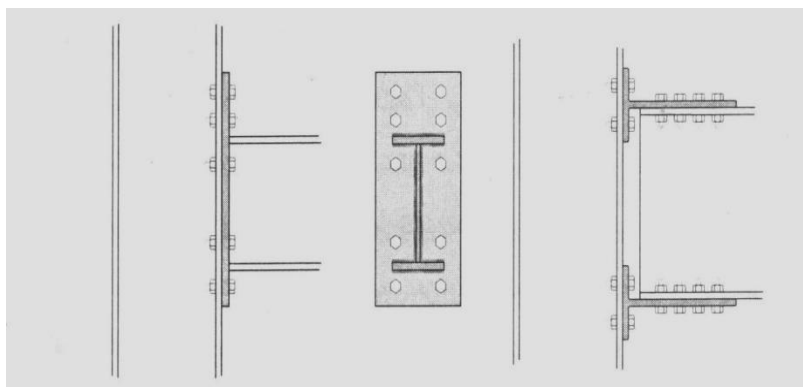
شکل ۱۲-۱ اتصال صلب متداول با کمک پیچ [۱]

همان گونه که در شکل های ۱۱-۱ و ۱۲-۱ ملاحظه می کنید جان ستون توسط ورق هایی که به آنان ورق های پیوستگی گویند، تقویت شده اند.

به جای ورق های فوقانی و تحتانی و یا نبشی نشیمن می توان از سپری برای اتصال بالها به ستون استفاده کرد (شکل ۱۳-۱ الف)

برای ایجاد یک اتصال صلب می توان تیر فولادی را در کارخانه به یک ورق انتهایی که در آن سوراخ هایی تعبیه شده است، توسط جوش شیاری در بال و جوش گوشه به جان متصل نمود. اتصال تیر به ستون توسط پیچ در محل کارگاه انجام می گیرد (شکل ۱۳-۱ ب و ج).

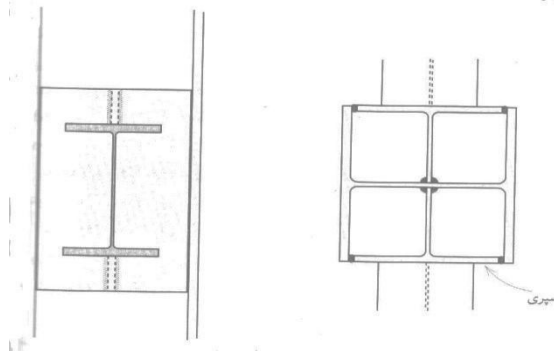
اتصالات نشان داده شده در شکل های ۱۱-۱ الی ۱۳-۱ که تیرها در صفحه جان ستون به ستون متصل گردیده اند تشکیل یک قاب خمشی مسطح را می دهند. چنانچه در یک سازه فولادی لازم باشد تیرها در صفحه عمود بر جان ستون هم به ستون متصل شوند. در این صورت سیستم سازه ای تشکیل یک قاب خمشی فضایی را خواهد داد.



الف- اتصال ممان گیر توسط سپری- اتصال تیر به ورق انتهایی ج- اتصال تیر به ورق انتهایی به بال ستون

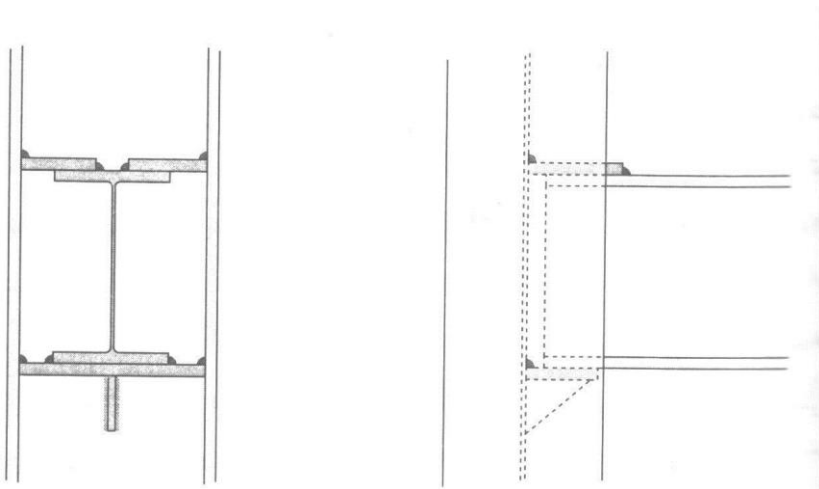
شکل ۱۳-۱- نمونه ای از اتصالات ممان گیر متداول [۱]

اتصال صلب تیر به جان ستون به سهولت اتصال آن به بال ستون نمی باشد. در این حالت می توان از یک نیمرخ سپری به طول حدود ۲ برابر ارتفاع تیر که بال ها و جان آن برای قرار گرفتن مناسب در فاصله بال ها و جان ستون بریده شده است، استفاده نمود. اتصال سپری به جان ستون توسط جوش گوشه و به بال ستون توسط جوش شیاری انجام می گیرد (شکل های ۱-۱۵-الف و ب)



شکل ۱-۱۴- اتصال تیر به جان ستون به کمک سپری [۱]

راهکار دیگر اتصال تیر به جان ستون، استفاده از ورق های فوقانی و نشیمن تقویت شده است (شکل ۱-۱۵). در اتصال شکل ۱-۱۵ جان ستون به شدت در معرض خمش و تنش های موضعی قرار می گیرد. بنابراین استفاده از اتصال مطابق شکل ۱-۱۴ برای اتصال تیر به جان ستون مناسب تر خواهد بود.



شکل ۱-۱۵- اتصال ممان گیر تیر به جان ستون [۱]

فصل ۲: مروری بر پیشینه پژوهش

۲-۱- مروری بر مطالعات قبلی:

مصدق زاده و فیوض (۱۳۸۹) [۲] در خصوص رفتار چرخه ای اتصال خمشی ستون- درختی با تیر کوتاه غیرمنشوری و ستون با مقطع H شکل با فرض اتصال جوشی در کارخانه و پیچ در محل تحقیقاتی به عمل آورده اند. در پژوهش انجام گرفته شکل پذیری و مقاومت اتصال مطابق آئین نامه های AISC2005 و مدل اجزاء محدود نمونه های مورد مطالعه توسط نرم افزار ANSYS ساخته شده سپس منحنی های شکل پذیری و مقاومت اتصال ترسیم و از روی این منحنی ها رفتار سیکلی اتصال به صورت اجزاء محدود مورد مطالعه قرار گرفته است.

گرامی و همکاران (۱۳۸۸) [۳] در خصوص بررسی و مقایسه ی تحلیل عملکرد تناوبی اتصالات پیچی تیر به ستون با صفحه انتهائی و سپری اتصال با تغییر آرایش افقی پیچ های ستونی با مدل سازی اجزاء محدود ۸ نمونه توسط نرم افزار ANSYS تحقیقاتی نموده اند. نتایج تحقیقات به عمل آمده طبق آئین نامه های AISC341-05 برای مقاطع یکسان تیر و ستون بیان گر این واقعیت است که ظرفیت خمشی و الاستیک اتصال با سپری نسبت به اتصال با صفحه انتهائی بیشتر بوده، درحالی که میزان استهلاک انرژی کار آنها باهم برابر است. نهایتاً از بررسی تحلیلی پارامتر فوق مشخص گردید که با توجه به حساسیت رفتاری و احتمال تخریب مد خرابی اتصال پیچی با سپری اتصال تحت بار تناوبی نسبت به آرایش افقی پیچ های اتصال به ستون در مواردی که احتمال ضعف در اجزاء می رود علیرغم بیشتر بودن ظرفیت خمشی اتصال با سپری، طرح اتصال پیچی با صفحه انتهائی توصیه می گردد. همچنین قاسمیان (۱۳۸۸) [۴] در خصوص مکانیسم انتقال نیرو در اتصال خمشی فولادی پژوهش هایی انجام داده اند.

قاسمیه و شمیم (۱۳۸۹) [۵] در خصوص اثر نیروی محوری بر رفتار اتصال خمشی با صفحه انتهائی بلند با فرض جوش انتهائی به تیر و استفاده از چند ردیف پیچ پر مقاومت که به بالا متصل می شوند تحقیقاتی نموده اند. تحقیقات صورت گرفته با تحلیل اتصال خمشی و صفحه انتهائی با استفاده از روش اجزاء محدود صورت گرفته که در اینجا نیروی محوری اتصال لحاظ گردیده است. اثر نیروهای جانبی مانند نیروی باد، زلزله به صورت نیروی محوری به تیر وارد شده و در نهایت به ستون منتقل می شود. در این مدل از نرم افزار ABAQUS جهت مدل سازی استفاده شده، و در نهایت به عنوان نتیجه، منحنی تغییرات تنش با لنگر و کرنش پلاستیک در پیچ ها به صورت دیاگرام مورد ارزیابی قرار گرفته است.

گرامی (۱۳۸۸) [۶] بروی بهینه سازی اتصالات صلب با استفاده از کاهش مقطع بال پائینی تیر پرداختند و مدل هایی با استفاده از نرم افزار ANSYS ساختند. نتایج تحقیق آن ها نشان داد که کاهش بال پائینی تیر در تیر های مدفون باعث افزایش شکل پذیری و بهبود عملکرد آن می شود.

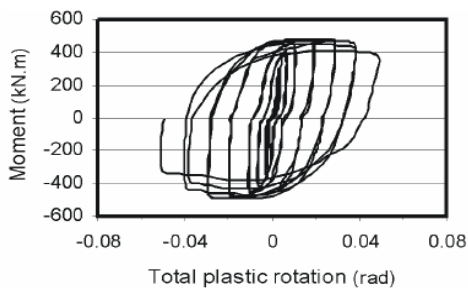
کچرو و کازو^۱ (۲۰۰۴) [۹] برونیا^۲ و همکاران (۱۹۹۸) [۱۰] در خصوص شکل پذیری اتصال جوشی، لی ویون^۳ (۱۹۹۹) [۱۱] در خصوص ساخت مدل انتقال برش در اتصال خمشی جوشی پژوهش هایی انجام داده اند.

¹ Kechro and Cazo

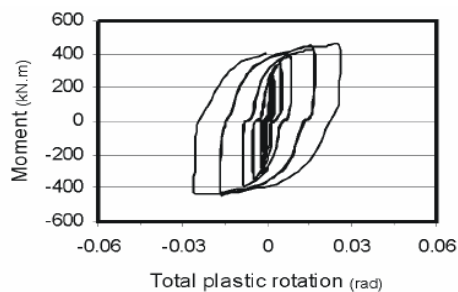
² Boronia

³ Lee viyon

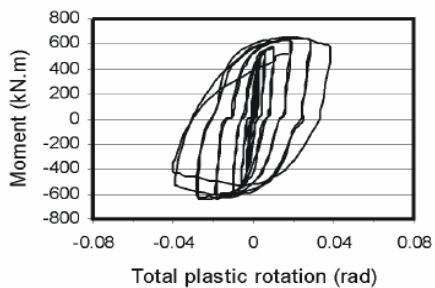
دیلمی و مصلحی تبار (۱۳۸۷) [۱۲] به بررسی اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته برای مقاطع موجود در ایران پرداختند و چندین مثال آزمایشگاهی ساختند و در نهایت به منحنی های هیسترسیز در شکل (۱-۲) دست یافتند.



(a) Specimen RBS2-S



(b) Specimen RBS2-B

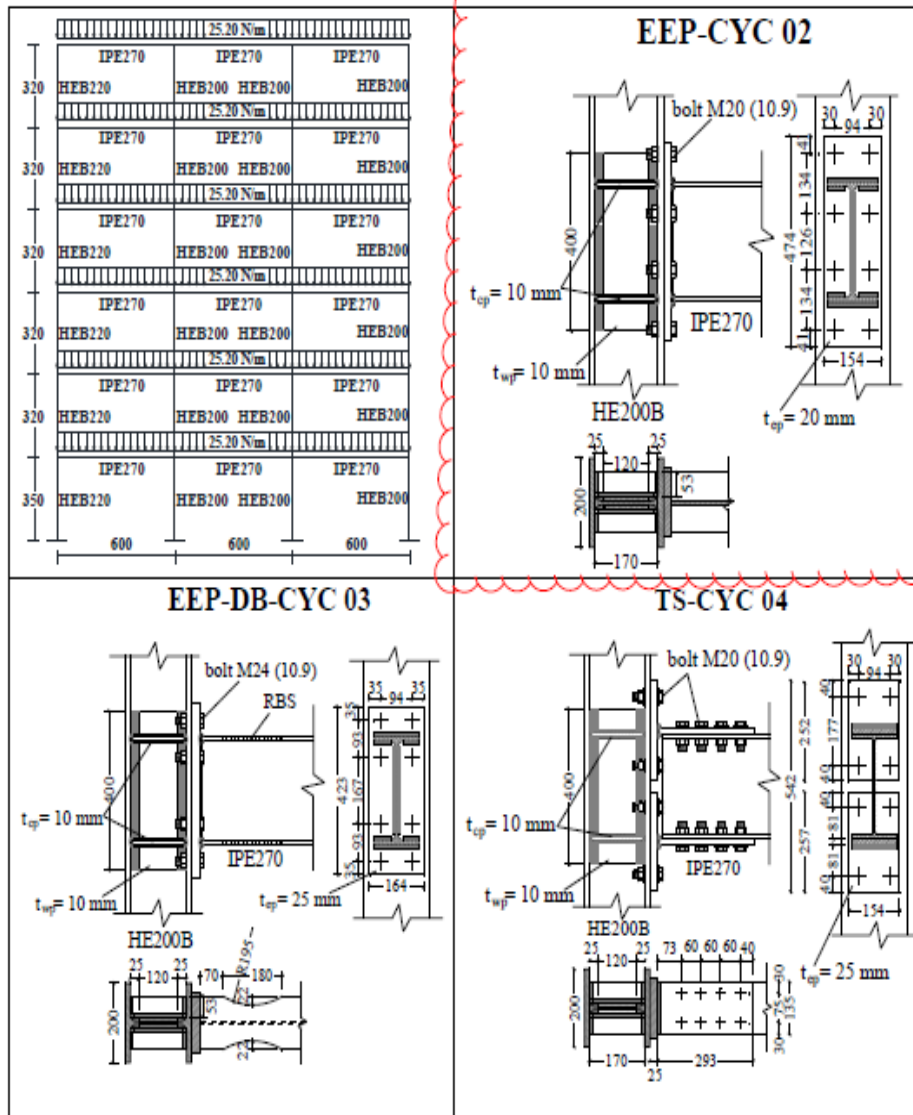


شکل ۱-۲- منحنی هیسترسیز [۳۲]

مونتوری^۱ و همکاران (۲۰۰۴) [۱۳] به منظور بررسی اتصال تیر به ستون با ورق پلست انتهایی و تحت اتصال پیچ پرمقاومت A490 تحقیقاتی به عمل آورده اند که شکل اتصال تیر به ستون مطابق دتایل اجرایی ذیل می باشد.

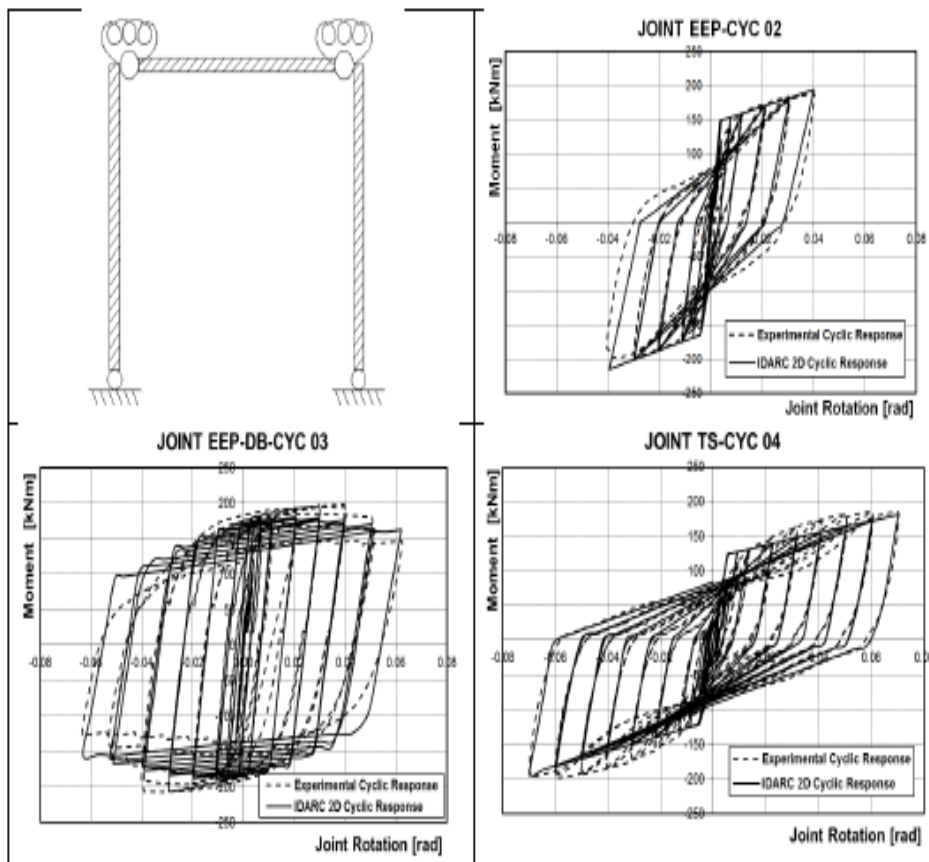
¹ Montuori

increases.



شکل ۲-۲- اتصال پیچی [۲۳]

در این پژوهش بار گذاری تا محدوده غیر خطی انجام و منطقه گسیختگی تا حد خرابی و جاری شدن مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق تعداد ۸ عدد پیچ پر مقاومت از نوع A490 با اتصال پلیت و برش گیر انتهایی بارگذاری و مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نیز منحنی هیسترسیز اتصال مذکور تحت بارگذاری چرخه ای ترسیم گردیده که به قرار زیر است.



شکل ۲-۳- منحنی هیسترسیس اتصال پیچی [۲۳]

چیئول هو لی^۱ (۲۰۰۶) [۱۴] و همکاران به بررسی اتصالات صلب با مقطع بال کاهش یافته برای تیرهای عمیق پرداختند و مطابق اشکال ۲-۴ چندین مدل آزمایشگاهی را ساختند و به منحنی هیسترسیز مطابق شکل ۳-۵ دست یافتند که نشان می دهد تیر با مقطع بال کاهش یافته چرخش پلاستیک را تا ۴۵٪ افزایش می دهد.

¹ Cheol-Ho Lee



الف

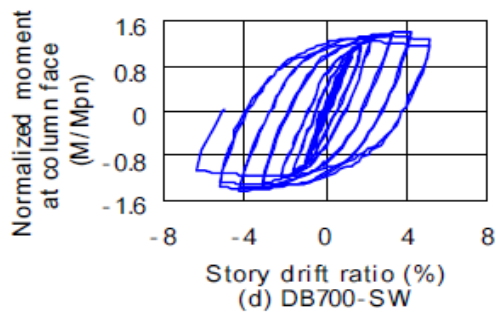
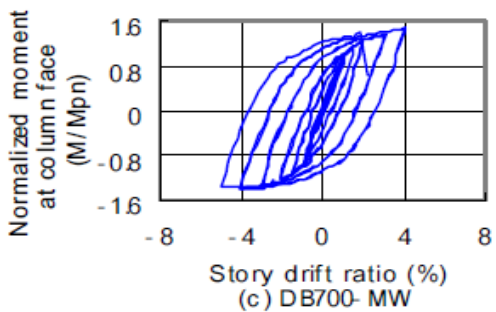
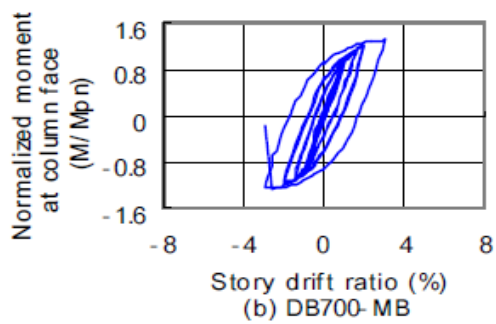
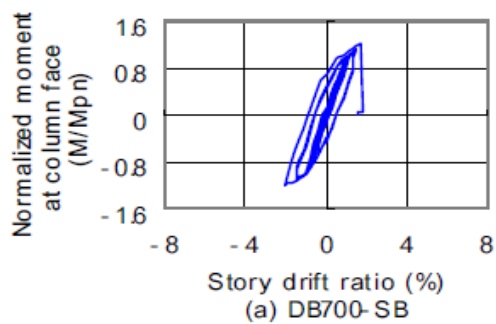


ب



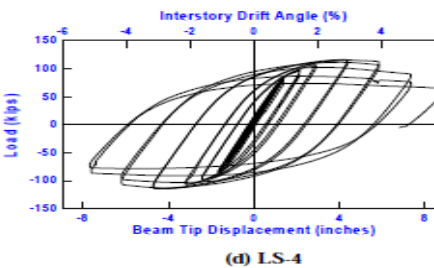
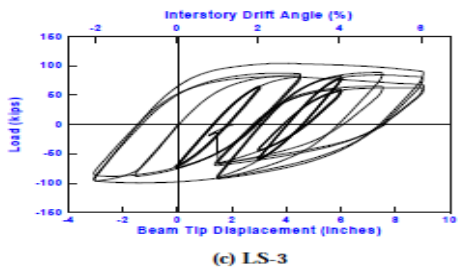
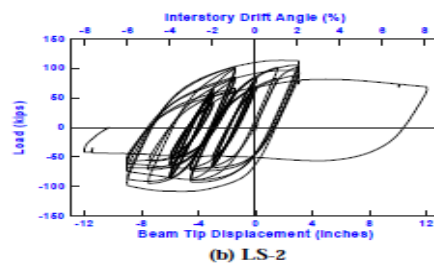
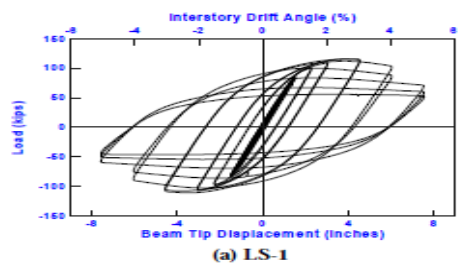
ج

شکل ۲-۴- نمونه های ساخته شده در آزمایشگاه [۱۴]



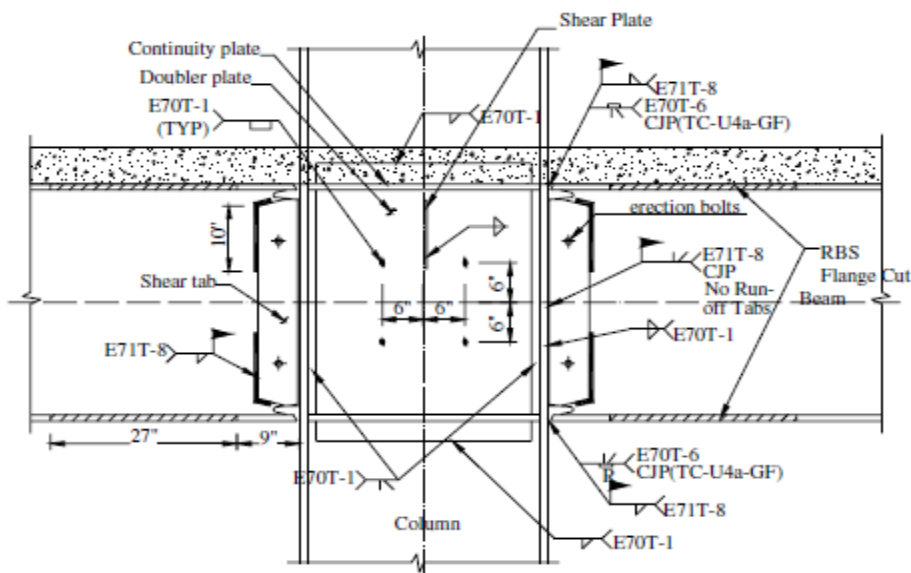
شکل ۲-۵- منحنی هسترسیز [۱۴]

Uang و Gilton (2000) [۱۵] اتصال صلب فولادی با مقطع کاهش یافته تحت اثر دو بارگذاری رفت و برگشتی SAC و زلزله نزدیک گسل را بررسی کردند و اثر تغییر بارگذاری را در عملکرد اتصال RBS نشان دادند.

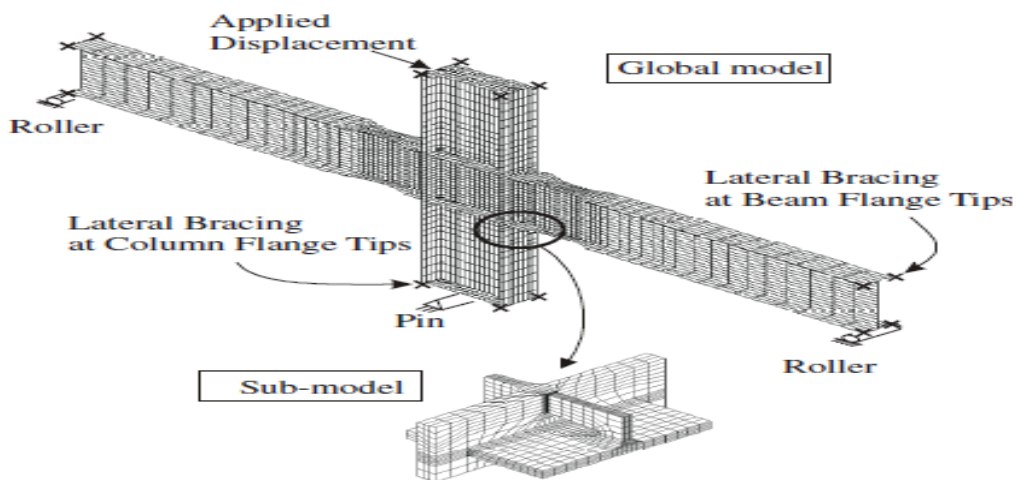


شکل ۲-۶- منحنی هسترسیز [۱۵]

ژیافنگ ژهانگ^۱ و همکاران (۲۰۰۴) [۱۶] به بررسی اتصالات صلب با مقطع بال کاهش یافته برای تیرهای عمیق پرداختند و مطابق اشکال ۲-۶ چندین مدل با استفاده از نرم افزار اجزا محدود آباکوس ساختند و به منحنی هیسترسیز مطابق شکل ۲-۷ دست یافتند که در آن به مقایسه مدل آزمایشگاهی و مدل عددی پرداخته که نشان می دهد نتایج این مدل ها بسیار به هم نزدیک است. هم چنین ایشان حساسیت نوع المان را برای مدل اتصال فولادی بررسی کردند و دریافتند که در مدل های ۳ بعدی المان هشت گره ای C3D8 نزدیک ترین جواب را به مدل های آزمایشگاهی دارد.

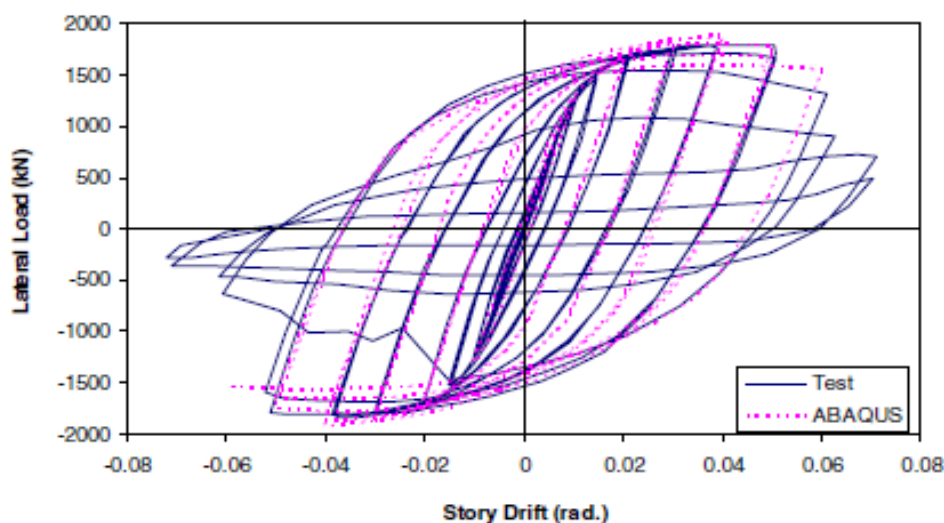


شکل ۲-۷- شمایک نمونه آزمایشگاهی [۳۳]



شکل ۲-۸- مدل ساخته شده در آباکوس [۳۳]

¹ Xiaofeng ZHANG



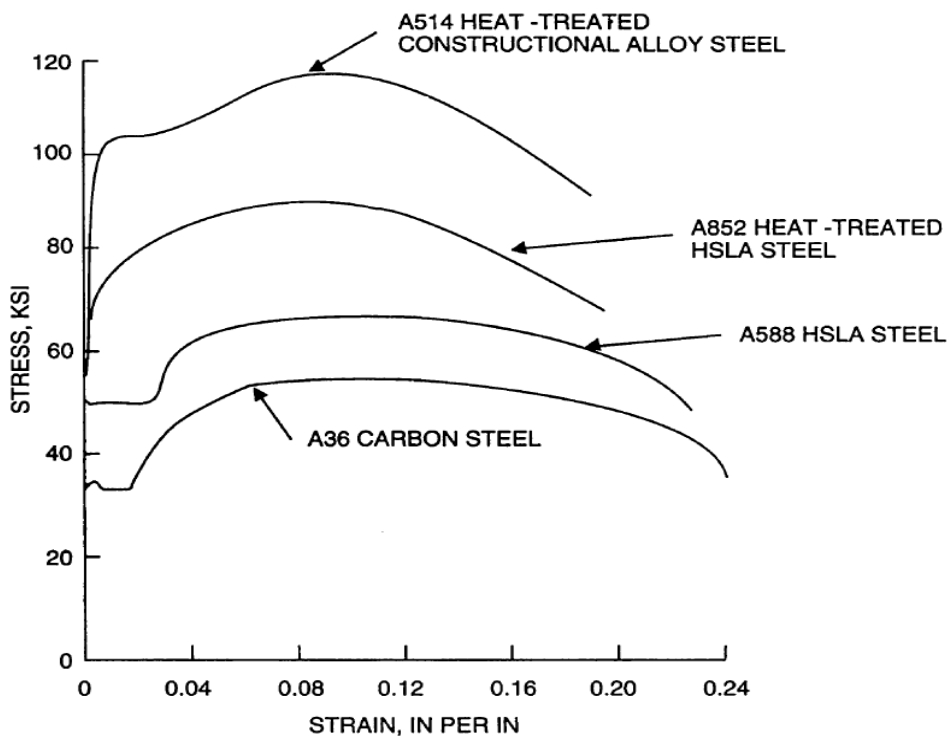
شکل ۲-۹- منحنی هسترسیز [۳۳]

هم چنین با استفاده از نمونه های آزمایشگاهی و مدل های عددی، کماتش جانبی اتصال RBS اندرکنش با سقف کامپوزیت را مقایسه نمودند، هم چنین در همان پژوهش اثر حذف سقف کامپوزیت نیز بر رفتار کماتشی اتصال بررسی گردید.

Rahnavard و Siahpolo (2014) [۷ و ۱۷] با استفاده از مدل سازی عددی در نرم افزار آباکوس اتصالات صلب پیچی و جوشی معمولی و اتصالات جوشی و پیچی با مقطع بال کاهش یافته را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد در کلیه مدل ها مفصل پلاستیک از اتصال به ناحیه کاهش یافته منتقل می شود. ایشان هم چنین شکل پذیری این اتصالات را با هم مقایسه کردند.

به منظور تعیین خواص مکانیکی مواد به کار رفته در تیر مورد بحث که از نوع A36 می باشد از مقاله ارائه شده توسط راجر وبروکن برگ^۱ (۲۰۰۵) [۱۸] تهیه گردیده، خواص مکانیکی مصالح تعیین شده است. در این خصوص فولاد مذکور تیر A36 تحت آزمایش تنش - کرنش قرار گرفته و نتایج خروجی طبق منحنی نمودار ذیل ارائه گردیده است.

¹ Roger, Brockenbrough



شکل ۲-۱۰- منحنی تنش کرنش تیر A36 [۱۸]

ضمناً چنانچه فولاد مورد نظر تحت آزمایش کشش و فشار قرار گیرد شاخصهای مکانیکی آن مطابق جدول

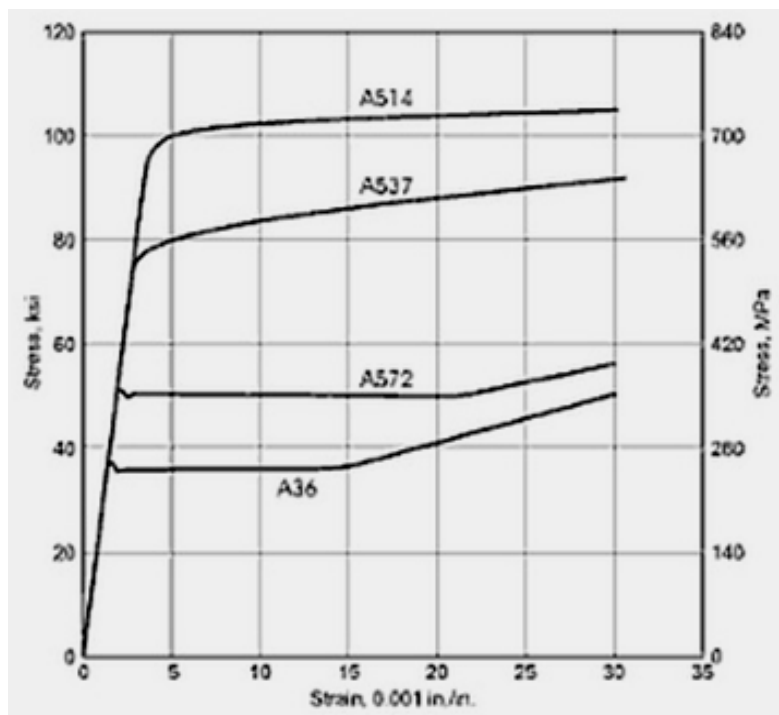
ذیل ارائه می گردد.

جدول ۱-۲: آزمایش فشار و کشش تیر A36 [۱۸]

ASTM designation	Plate thickness range, in	Structural shape flange or leg thickness range, in	Yield stress, ksi ¹	Tensile strength, ksi ¹	Elongation, %	
					In 2 in ²	In 8 in
A36	8 maximum	All	36	58-80	23-21	20
	Over 8	All	32	58-80	23	20
A283						
Grade C	All	¶	30	55-75	25	22
A529						
Grade 50	1 maximum	1½ max	50	70-100	21	18
Grade 55	1 maximum	1½ max	55	70-100	20	17
A573						
Grade 58	1½ maximum	¶	32	58-71	24	21
Grade 65	1½ maximum	¶	35	65-77	23	20
Grade 70	1½ maximum	¶	42	70-90	21	18
High-strength low-alloy steels						
A242	¾ maximum	1½ max	50	70	21	18
	Over ¾ to 1½ max	Over 1½ to 2	46	67	21	18
	Over 1½ to 4 max	Over 2	42	63	21	18
A588	4 maximum	All	50	70	21	18
	Over 4 to 5 max	All	46	67	21	—
	Over 5 to 8 max	All	42	63	21	—
A572						
Grade 42	6 maximum	All	42	60	24	20
Grade 50	4 maximum	All	50	65	21	18
Grade 55	2 maximum	All	55	70	20	17
Grade 60	1¼ maximum	2 max	60	75	18	16
Grade 65	1¼ maximum	2 max	65	80	17	15
A992	¶	All	50-65	65	21	18
A1043						
Grade 36	5 max	All	36-52	58	23	20
Grade 50	5 max	All	50-65	65	21	18
Heat-treated carbon and HSLA steels						
A633						
Grade A	4 maximum	¶	42	63-83	23	18
Grade C, D	2½ maximum	¶	50	70-90	23	18
	Over 2½ to 4 max	¶	46	65-85	23	18
Grade E	4 maximum	¶	60	80-100	23	18
	Over 4 to 6 max	¶	55	75-95	23	18
A678						
Grade A	1½ maximum	¶	50	70-90	22	—
Grade B	2½ maximum	¶	60	80-100	22	—
Grade C	¾ maximum	¶	75	95-115	19	—
	Over ¾ to 1½ max	¶	70	90-110	19	—
	Over 1½ to 2 max	¶	65	85-105	19	—
Grade D	3 maximum	¶	75	90-110	18	—
A852	4 maximum	¶	70	90-110	19	—
A913	¶	All	50	65	21	18
	¶	All	60	75	18	16
	¶	All	65	80	17	15
	¶	All	70	90	16	14

(Continued)

همچنین بمنظور تعیین خصوصیات مکانیکی فولاد ستون که از نوع A572 می باشد، نمونه آزمایشگاهی تحت آزمایش تنش - کشش قرار گرفته که نمودار تنش - کرنش آن به شکل ذیل ارائه می گردد.



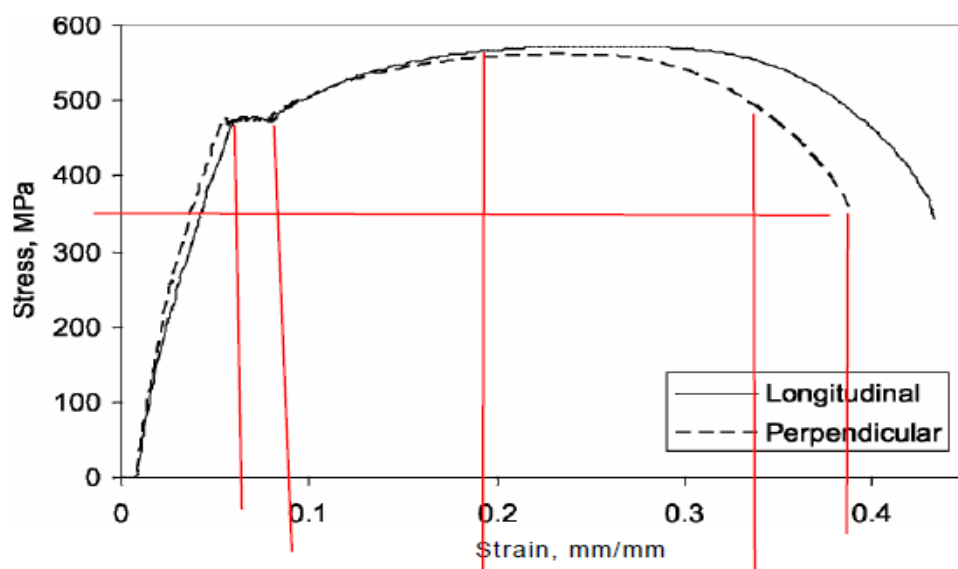
شکل ۲-۱۱- منحنی تنش کرنش ستون A572 [۱۸]

چن و همکاران^۱ (۲۰۰۵) [۱۹] بمنظور تعیین خواص مکانیکی الکتروود بکاررفته که از نوع ER70S می باشد، تحقیقات آزمایشگاهی صورت گرفته و نمودار تنش-کرنش الکتروود مصرفی به قرار ذیل است:

جدول ۲-۲- تنش کرنش الکتروود ER70S [۱۹]

		Longitudinal			Perpendicular		
		Tensile strength [MPa]	Yield Strength [MPa]	Elongation [%]	Tensile Strength [MPa]	Yield Strength [MPa]	Elongation [%]
DWIM	min.	558.54	472.97	25.6	555.42	468.47	26.2
	Avg.	565.76	475.22	31	564.46	478.47	28.47
	max.	572.97	478.83	36	575.17	486.04	33.6
DWM	min.	563.02	461.16	28.6	565.69	467.04	27.8
	Avg.	567.73	463.66	31.3	572.7	470.13	28
	max.	574.55	466	34.2	585.75	473.98	28.6

¹ Chen et al



شکل ۲-۱۲- نمودار تنش کرنش الکترود ER70S [۱۹]

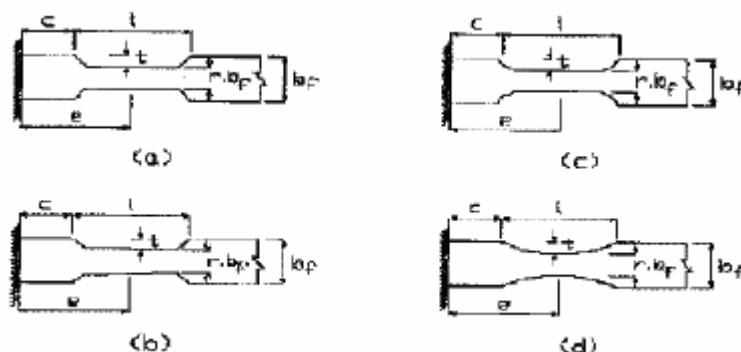
به منظور انجام تحقیق از آنجا که امکانات کافی برای ساخت مدل آزمایشگاهی فراهم نبود به نتایج ارائه شده در مقاله Chih- Kai Jao و Chung-Che Chou (۲۰۰۶) [۲۰ و ۲۱] بسنده شد. ابتدا نمونه های آزمایش شده در این مقاله بررسی گردید و سپس مناسب ترین نمونه برای تحقیق حاضر انتخاب شد.

فصل ۳: روش پژوهش

۱-۳- تاریخچه اتصالات جدید

از زلزله های ۱۹۹۴ نورتریج آمریکا و ۱۹۹۵ کوبه ژاپن به بعد، اتصالات خمشی متنوعی ابداع شدند که همگی کوشش می کردند که مشکلات مشاهده شده در قاب های خمشی این زلزله ها را رفع کنند. این کوشش ها که هم در جوشکاری و هم در طرح اتصالات صورت گرفتند منجر به پیدایش اتصالات خمشی تقویت شده ای نظیر ورق های پوششی (Cover Plates)، ریب (Ribs)، ورق های انتهایی (End Plates)، و اتصال گیردار درخت ژاپنی (Japanese tree fixed connection) و غیره گردیدند.

در قاب های خمشی فولادی چند طبقه، در عرف طراحی مطلوب است که قاب منظمی طراحی شود، به طوری که مفاصل پلاستیک بتوانند در تیرها تشکیل شده و ستون ها الاستیک باقی بماند به نحوی که اصل تیر ضعیف- ستون قوی، حاکم شود اگر چه در اتصالات خمشی تقویت شده فوق این قوانین رعایت شده است و بر مشکلات ناشی از زلزله فائق آمده اند ولی این اتصالات بسیار پر هزینه می باشند و از شکل پذیری و قابلیت اعتماد مناسبی برخوردار نیستند، تنها مزیت این اتصال نسبت به اتصال خمشی قبل از زلزله نورتریج آن است که همواره اتصالی را می سازند که قوی تر از تیر است. اما می توان همین کار را به وسیله تضعیف تیر در برابر اتصال (در طول محدودی از تیر در نزدیک اتصال) انجام داد. استفاده از مقطع کاهش یافته تیر (Reduced Beam Section) در این ناحیه نظیر یک ماهیچه استخوانی در عرض بال تیر و در مجاورت اتصال گیردار تیر به ستون، طرح بسیار مناسبی جهت بهبود شکل پذیری در قاب هایی که در معرض بارگذاری های شدید لرزه ای هستند، می باشد. ابتدا استخوان های مستقیم در سال ۱۹۹۶ ابداع شدند (شکل ۴-۱-۴a) و سپس شکل آن ها با توجه به نمودار لنگر خمشی تحت اثر بارهای جانبی تصحیح گشتند و استخوان های خطی به وجود آمده اند (شکل ۴-۱-۴b). بعد از آن به دلیل وجود تمرکز تنش در لبه های استخوان، نواحی انتقالی هموار و شعاعی گشتند و استخوانهای خطی شعاعی (شکل ۴-۱-۴c) در اواخر سال ۱۹۹۸ طرح شدند از طرفی باز هم یک مشکل وجود داشت و آن هم سختی فرم برش بال ها بود، لذا اتصالات استخوانی شعاعی (شکل ۴-۱-۴d) پا به عرصه حضور گذاشتند. اتصال استخوانی شعاعی با هندسه ی ساده ی خود که نواحی انتقالی در آن مستتر است، منجر به ارتقا اتصال استخوانی گشت.



شکل ۱-۳- انواع اتصالات استخوانی

۳-۲- نحوه تشکیل مفصل پلاستیک

بر اثر وارد آمدن بارهای جانبی به قاب ها و تغییرشکل غیر خطی در آن ها، مفاصل پلاستیک در نقاط متعددی از آن ها تشکیل می شود. قاب ها باید به گونه ای طراحی شوند که تغییرشکل خمیری مورد نیاز آن ها در نتیجه ایجاد مفصل پلاستیک در مقاطع از پیش تعیین شده ای از تیر تامین گردد. اتصال تیر به ستون باید از مقاومت کافی برخوردار باشد به گونه ای که محل ایجاد مفصل پلاستیک از ستون فاصله داشته باشد. این شرایط را می توان با ضعیف کردن نقاط مورد نظر تیر به صورت موضعی نیز فراهم نمود. تغییرشکل غیر خطی سازه های قابی در اثر پدید آمدن کرنش های خمشی و یا برشی غیر خطی در نقاط متعددی از سازه روی می دهد. در کرنش های غیر خطی زیاد، نقاط یاد شده مفصل پلاستیک را به وجود می آورند. مفصل های مذکور قادرند تحت اثر بارهای ثابت (یا تقریباً ثابت) و در نتیجه جاری شدن تارهای کششی و فشاری و کمانش تارهای فشاری کمانش های چشمگیری بنمایند. در صورتی که در یک قاب تعداد کافی مفصل پلاستیک ایجاد شود یا اصطلاحاً مکانیسم تشکیل شود، تغییرشکل جانبی خمیری در قاب به وجود می آید.

چنین وضعیتی با اتلاف انرژی قابل توجه و همین طور آسیب های موضعی در عضوهایی که کرنش بسیار زیادی را تحمل کرده اند، همراه است. تشکیل مفصل پلاستیک در ستون ها نامطلوب است، ایجاد مفصل پلاستیک در بخشی از ستون که در ناحیه اتصال قرار دارد موجب بروز تنش های ثانوی بسیار شدیدی در درز اتصال بال تیر به بال ستون می شود، این شرایط بسیار نامطلوب است زیرا منجر به شکست ترد می شود. به همین ترتیب، ایجاد مفصل پلاستیک در تیر ولی در کنار ستون کرنش های بسیار زیادی بر مصالح بال ستون و کرنش غیرخطی زیادی بر فلز جوش و نواحی حرارت دیده اطراف آن تحمیل می کند و می تواند منجر به بروز شکست ترد شود.

در حال حاضر توصیه بر این است که اتصال تیر به ستون به گونه ای ساخته شود که مفصل پلاستیک در فاصله مناسبی از کنار ستون تشکیل شود. چنین شرایطی را می توان با تقویت موضعی اتصال یا ضعیف کردن موضعی مقطعی از تیر به فاصله مناسب از ستون فراهم نمود. در تیرهای فولادی مفصل پلاستیک باید حداقل در همین حد با ستون فاصله داشته باشد. در صورتی که انتقال محل مفصل پلاستیک با تقویت اتصال انجام شود، ظرفیت خمشی ستون باید افزایش یابد تا از بروز شرایط ستون ضعیف جلوگیری به عمل آید.

بر مبنای موارد فوق الذکر، هدف از طراحی اتصال تامین شرایطی برای پیشگیری از تشکیل مفصل پلاستیک در ستون و یا مجاورت ستون و انتقال آن به موقعیت مشخصی در تیر می باشد. این امر با تقویت خود اتصال یا ضعیف کردن مقطعی از تیر امکان پذیر است. در ضمن کلیه اجزای اتصال باید برای ایجاد نیروهای حاصل از تشکیل مفصل پلاستیک و نیروهای ثقلی مقاومت کافی داشته باشند.

۳-۳- اتصال RBS و اجزای آن

با توجه به استفاده فراوان از قاب های خمشی فولادی در طراحی لرزه ای سازه ها، و با توجه به این نکته که این سازه ها در گذشته براساس ضوابط و آیین نامه هایی طراحی شده اند که ضوابط مربوط به نحوه تشکیل مفصل پلاستیک و نحوه گسترش آن را مورد بررسی قرار نداده اند، در نتیجه پس از زلزله نورتریج، تحقیقات به

سمت افزایش شکل پذیری اتصالات صلب پیش رفت و به طور کلی اتصالات پس از زلزله نورتریچ، شکل گرفت. در این اتصالات هدف به طور عمده انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر و به یک فاصله معین از بر ستون است. به گونه ای که در این اتصالات دور ساختن مفصل پلاستیک از بر ستون باعث کاهش تمرکز کرنش به وجد آمده در ناحیه جوش می شود و در نتیجه باعث کاهش میزان ترک خوردگی جوش و در نتیجه کاهش شکست ترد در اتصال می شود.

روش های متعددی برای انتقال مفصل پلاستیک پیشنهاد می شود که همان طور که در بالا گفته شد به دو دسته عمده تقسیم می شوند:

الف) یک سری از اتصالات پس از زلزله نورتریچ به گونه ای طراحی شدند که با افزودن اجزایی به اتصال باعث افزایش مقاومت تیر در ناحیه اتصال شده و باعث کاهش تنش در اتصال می شود. در نتیجه باعث انتقال مفصل پلاستیک به داخل تیر می شود و از چرخش اجزای اتصال نسبت به هم (تیر به ستون) جلوگیری می کنند که در نتیجه تنش کمتری در ناحیه جوش وارد می شود. استفاده از ماهیچه و یا پشت بند از این دسته اند. ب) با کاهش مقاومت تیر در بخش های مشخصی از تیر باعث تضعیف تیر در یک ناحیه مشخص و از پیش تعیین شده گشته که در نتیجه مفصل پلاستیک در این ناحیه تشکیل شده و از بر ستون به داخل تیر منتقل می شود. انواع اتصالات RBS از این دسته اند.

برای مقاوم سازی رفتار اتصالات از هر دو روش می توان بهره جست. هر کدام از این دو روش دارای مزایا و معایبی هستند که قبل از انتخاب جزئیات مناسب برای مقاوم سازی لرزه ای اتصال باید به طور کامل بررسی شوند.

یکی از پارامترهای تاثیرگذار در روند مقاوم سازی لرزه ای اتصالات فولادی، تاثیر مقاومت چشمه اتصال است. به فصل مشترک تیر و ستون چشمه اتصال می گویند. تحقیقات بسیاری بر روی اثر چشمه اتصال بر رفتار لرزه ای اتصالات انجام شده اما تحقیقاتی درباره تاثیر چشمه اتصال بر روند بهبود رفتار اتصال انجام نشده است. علت آن شاید ضخامت زیاد جان ستون در مقاطع متداول در آزمایش های انجام شده در جهان باشد که در نتیجه باعث کم اهمیت شدن تاثیر چشمه اتصال می شود. اصولاً یکی از معیارهای انتخاب طرح مقاوم سازی اتصال خمشی، مقاومت چشمه اتصال است. زیرا اگر چشمه اتصال بسیار ضعیف باشد، اجرای هرگونه مقاوم سازی برای اتصال فولادی بی فایده است.

از طرف دیگر تقویت چشمه اتصال، بسیار پرهزینه، دشوار و پیچیده است، در نتیجه به بررسی یکی از طرح های مقاوم سازی اتصالات در برابر نیروی زلزله است. برش بال تیر در ناحیه ای نزدیک ستون و در فاصله ای مشخص و با جزئیات مشخص صورت می پذیرد. این نوع اتصال در جهان با نام RBS و در ایران همان طور که در بالا گفته شد به نام اتصال استخوانی مشهور است.

۳-۴- روند طراحی اتصال با مقطع بال کاهش یافته

برای طراحی اتصال RBS با برش شعاعی بال از روابط پیشنهادی FEMA350 [۲۲] استفاده می شود.

$$a = (0.5 \sim 0.75) b_f \quad 1-3$$

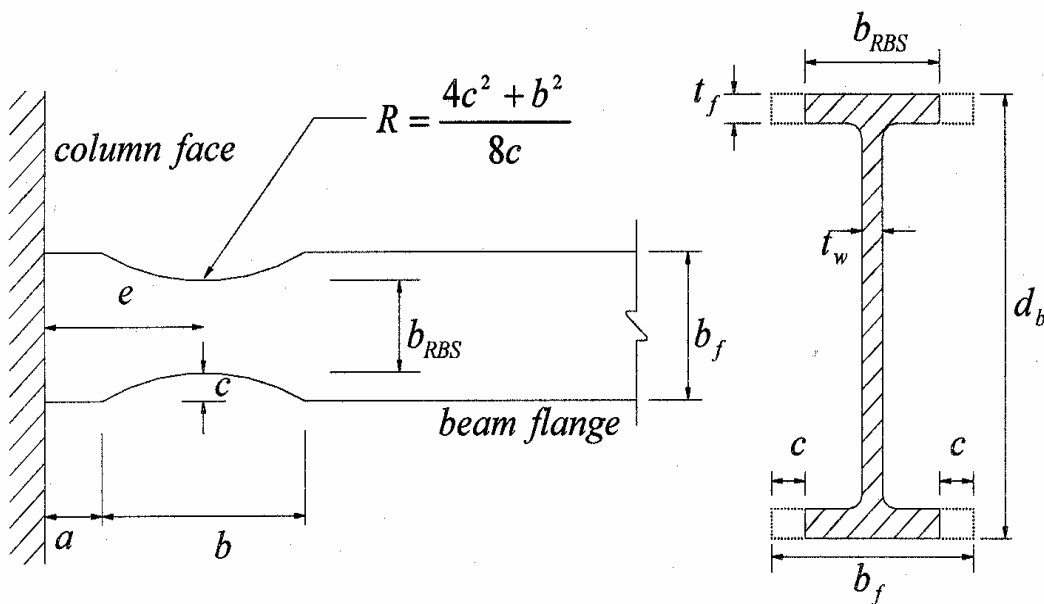
$$b = (0.65 \sim 0.85) d \quad 2-3$$

$$c = (0.2b_f \sim 0.25b_f) \quad 3-3$$

$$R = \frac{4c^2 + b^2}{8c} \quad 4-3$$

که در آن a, b, c, R به ترتیب برابر شعاع برش و میزان برش حداکثر و طول برش و فاصله ابتدای ناحیه بریده شده تا بر ستون است (شکل ۱۲). هم چنین d, b_f به ترتیب برابر با عرض بال تیر و ارتفاع مقطع تیر است.

بر اساس تمهیدات FEMA350، حداکثر میزان کاهش مقطع بال تیر برابر با ۵۰٪ می باشد، اما کاهش بیش از این مقدار می تواند مشکلات عدیده ای را برای پایداری تیر فراهم آورد (کمانش جان تیر، کمانش پیچشی بال و ...) در نتیجه حداکثر می توان ۵۰٪ مقطع بال پائینی تیر را کاهش داد که این میزان برش باعث کاهش در اساس مقطع پلاستیک نمونه به میزان ۱۹٪ می شود.



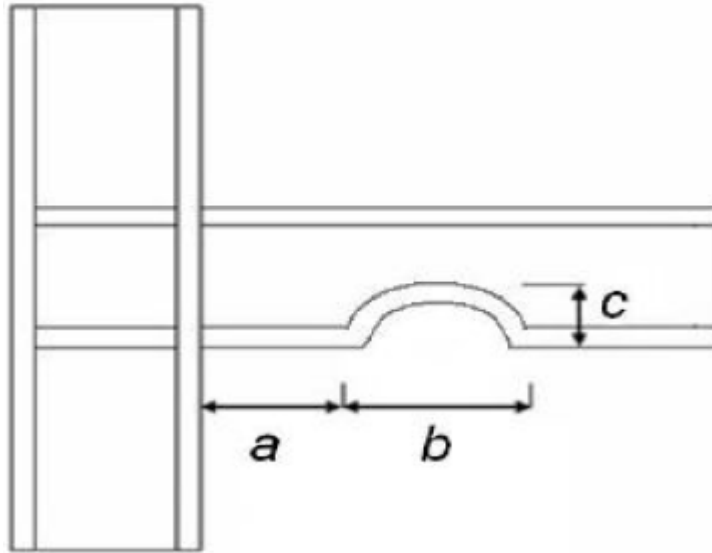
شکل ۳-۲- پارامترهای طراحی در اتصال با برش شعاعی

برای طراحی اتصال RBS با برش شعاعی جان از روابط پیشنهادی FEMA350 استفاده می شود [۲۲].

$$a = (0.5 \sim 0.75) b_f \quad 5-3$$

$$b = 1.4d \quad 6-3$$

$$c =$$



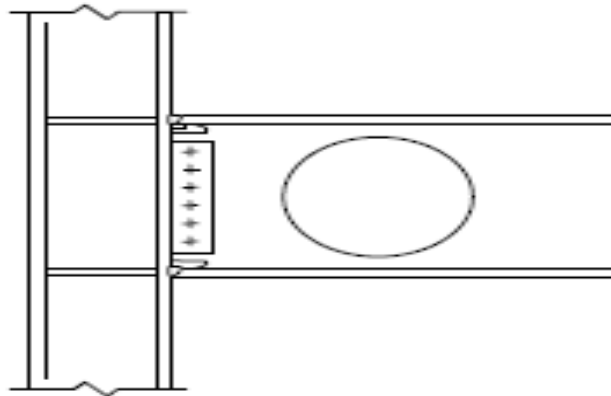
شکل ۳-۳- پارامترهای طراحی در اتصال با برش شعاعی جان

برای طراحی اتصال RBS با سوراخ دایره ای جان از رابطه پیشنهادی زیر استفاده می شود [۲۳].

$$a = H_t - \frac{2\sqrt{3}\alpha S}{t_w L_b}$$

۸-۳

که در آن H_t ارتفاع مقطع تیر، S اساس مقطع تیر، t_w ضخامت جان تیر، L_b طول کلی تیر، a ارتفاع حداکثر بازشو و α ضریبی بین ۰/۸ و ۱ می باشد.



شکل ۳-۴- پارامترهای طراحی در اتصال با سوراخ دایره ای در جان

۳-۵- طراحی چشمه اتصال

طراحی می بایست طوری انجام شود که چشمه اتصال در حالت تعادل باشد. برای کنترل حالت تعادل نسبت $\frac{V_{pz}}{V_y}$ کنترل می شود. V_y به ترتیب از روابط (۴-۹) و (۴-۱۰) بدست می آیند که V_y حد نهایی برش در چشمه اتصال است. در آئین نامه ایران (مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان - ویرایش ۱۳۸۷) [۸] از ضریب ۰/۵۵ استفاده شده و در آئین نامه AISC [۲۴] این ضریب برابر ۰/۶ است.

$$V_y = 0.55F_y d_c t_{cw} \left(1 + \frac{3b_c t_f^2}{d_b d_c t_{cw}}\right) \quad ۹-۳$$

$$V_y = 0.6F_y d_c t_{cw} \left(1 + \frac{3b_c t_f^2}{d_b d_c t_{cw}}\right) \quad ۱۰-۳$$

$$V_{pz} = \sum \frac{M_{yb}}{d_b - t_{fb}} \left(\frac{L}{L - d_c}\right) \left(\frac{h - d_b}{h}\right) \quad ۱۱-۳$$

$$V_{pz} = \beta_E \sum M_p \left(\frac{1}{0.95d_b} - \frac{L_b + d_c/2}{L_b} \frac{1}{H}\right) \quad ۱۲-۳$$

که در آن F_y , d_c , t_{cw} , t_f , d_b , L_b , H , M_{yb} و β_E به ترتیب برابر با تنش جاری شدگی چشمه اتصال، ارتفاع ستون، ضخامت چشمه اتصال، ضخامت بال ستون، ارتفاع تیر، طول دهانه تیر، ارتفاع ستون، مجموع لنگرهای وارد شونده بر ستون از طرف تیر، لنگر پلاستیک تیر (مقطع کاهش نیافته) و ضریب لنگر در اتصال کاهش یافته است.

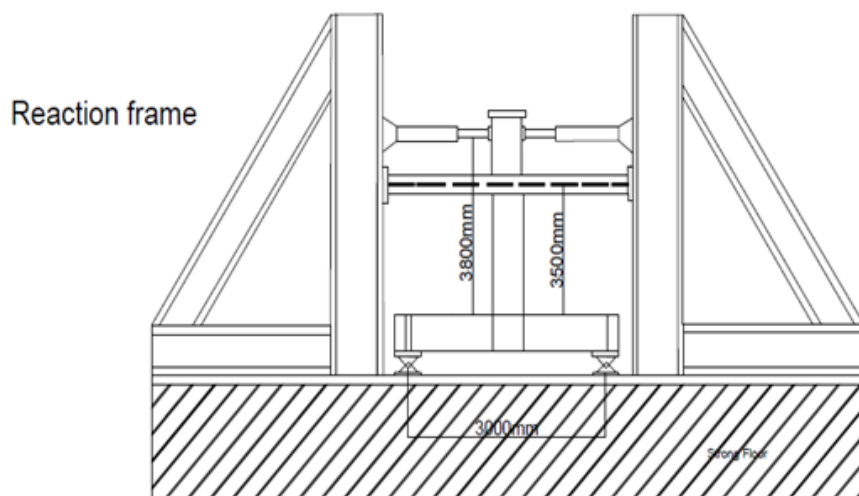
در رابطه ۴-۸ $\beta_E M_p$ حداکثر نیاز لرزه ای در بر ستون بوده که بر پایه تحقیقات Engelhard [۲۵]، β_E بین ۰/۸۵ تا ۱ است.

اگر $\frac{V_{pz}}{V_y}$ بیش از ۰/۹ باشد، چشمه اتصال ضعیف بوده و جاری شدگی از چشمه اتصال شروع می شود. 350 FEMA پیشنهاد می کند که بهتر است این مقدار بین ۰/۶ تا ۰/۹ باشد.

فصل ۴: تجزیه و تحلیل

۱-۴- مطالعه آزمایشگاهی

هندسه و شرایط مرزی اتصالات براساس نمونه آزمایشگاهی ساخته شده توسط Chung-Che Chih-Kai و Chou [۲۰ و ۲۱] می باشد. ارتفاع ستون و طول تیر به ترتیب ۳ و ۳/۸ متر می باشد. تیر در فاصله ۳/۵ متری از بر ستون دارای مهار جانبی است که این مهار فقط از کمانش در جهت عمود بر صفحه جان جلوگیری می کند. بارگذاری به صورت جابجایی توسط جک هیدرولیکی به انتهای تیر وارد می شود. شکل ۱-۴ شرایط مرزی و هندسه نمونه آزمایشگاهی را نشان می دهد. این مدل به عنوان مدل اصلی شناخته شده و بقیه اتصالات با آن مقایسه می شوند.



شکل ۱-۴- مدل آزمایشگاهی [۲۰ و ۲۱]

۲-۴- مدل سازی عددی

برای مدل سازی عددی این مطالعه از نرم افزار اجزای محدود آباکوس استفاده شده است که در زیر به خلاصه ای از آن می پردازیم.

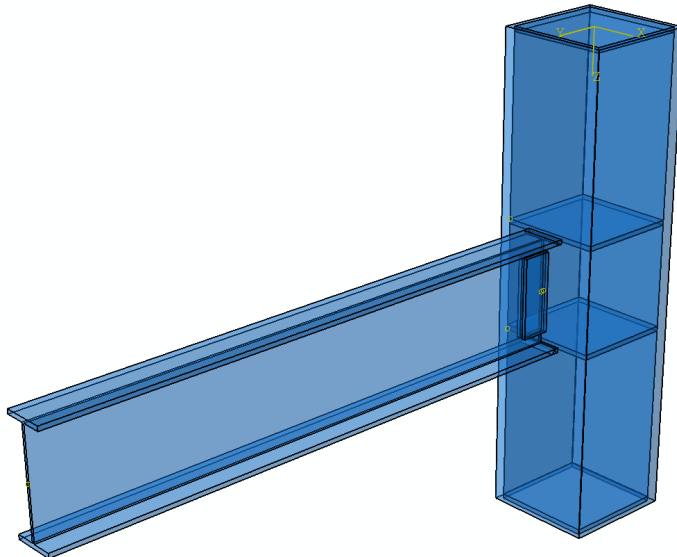
۱-۲-۴- نرم افزار Abaqus

Abaqus یک نرم افزار شبیه سازی قدرتمند جهت تحلیل مسائل مهندسی می باشد. اساس کار این نرم افزار روش اجزای محدود بوده و محدوده وسیعی از مسائل مهندسی را می توان با استفاده از آن تحلیل کرد، در آباکوس مجموعه کاملی از المان های مختلف وجود دارد. این المان ها شبیه سازی بیشتر مواد و سازه های مهندسی را در این نرم افزار ممکن می سازند. از جمله دیگر ویژگی های برتر این نرم افزار که آن را در جایگاه برتری نسبت به دیگر نرم افزار های اجزای محدود قرار می دهد قابلیت این نرم افزار در شبیه سازی مدل های متنوع مواد می باشد. در Abaqus می توان انواع فلزات، لاستیک ها، کامپوزیت ها، بتن های مسلح و مواد ژئوتکنیک و غیره را مدل کرد [۳۴].

۲-۲-۴- هندسه مدل در نرم افزار ABAQUS

اولین گام در مدل سازی عددی، ایجاد هندسه مدل می باشد. اجزای مختلف این نمونه یک به یک در ماژول Part ساخته شد. این اجزا شامل باکس ستون، تیر I شکل، برش گیر تیر، سخت کننده های درون ستون و جوش نفوذی تیر به ستون می باشد که هر یک بر اساس اندازه واقعی به دقت مدل گردید. این اجزا در ماژول Assembly به دقت در کنار یکدیگر قرار گرفته اند. توجه شود که در این ماژول فقط موقعیت هندسی اجزا نسبت به یکدیگر مشخص می گردد و هیچ گونه ارتباط مکانیکی و اندرکنشی تعریف نمی شود. در شکل زیر از قابلیت شفافیت تصویر در ABAQUS استفاده شده تا اجزای داخلی نیز قابل مشاهده باشند.

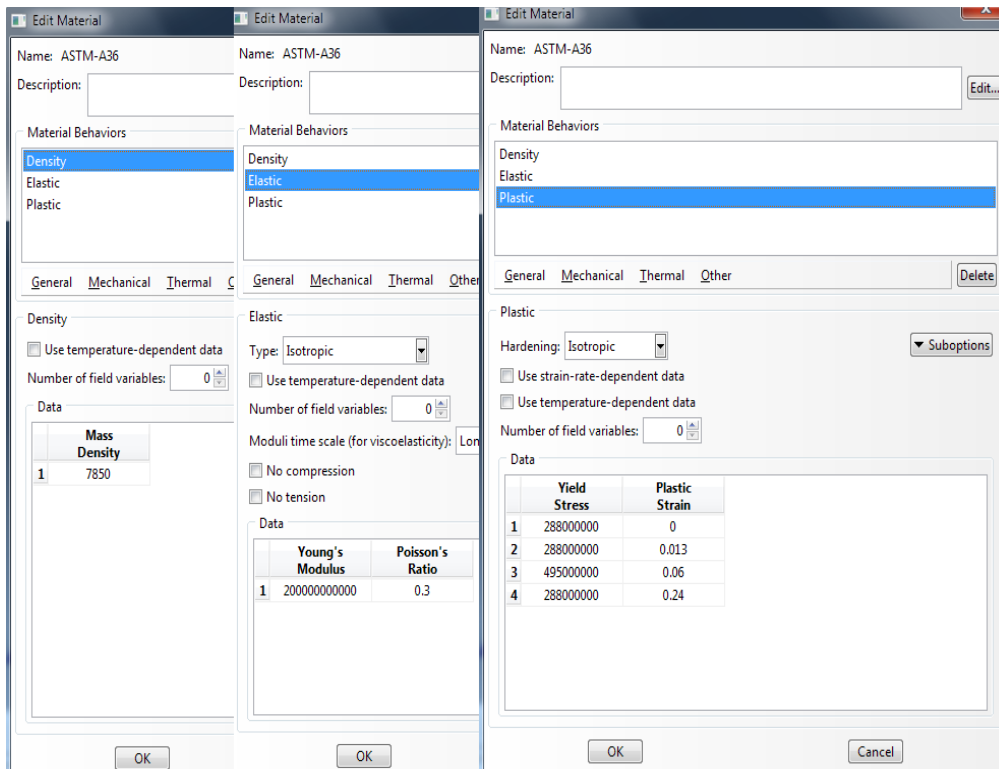
با مقایسه این مدل با مدل آزمایشگاهی یک تفاوت مشاهده می گردد. مورد اول پیچ هایی هستند که در نمونه آزمایشگاهی برش گیر را به جان تیر متصل می کردند. این پیچ ها در مدل عددی حذف شده اند زیرا نقشی در انتقال لنگر بازی نکرده و فقط مدل سازی آنها بر پیچیدگی محاسبات و مدل سازی می افزاید.



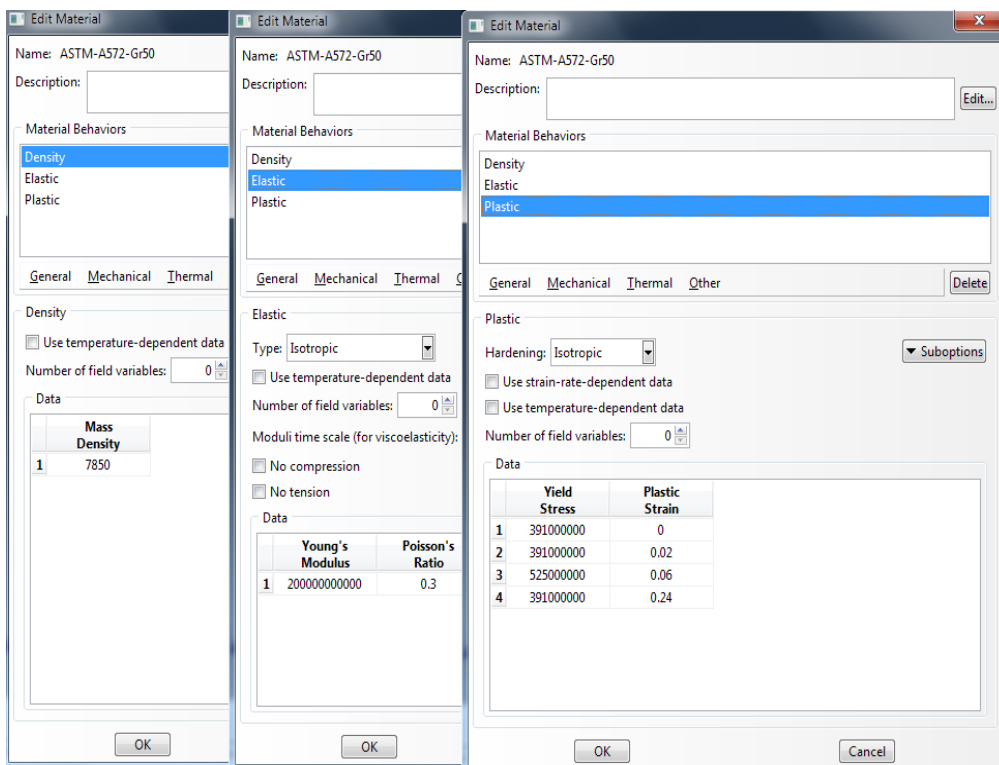
شکل ۲-۴- هندسه مدل در ABAQUS

۳-۲-۴- تعریف خصوصیات مصالح

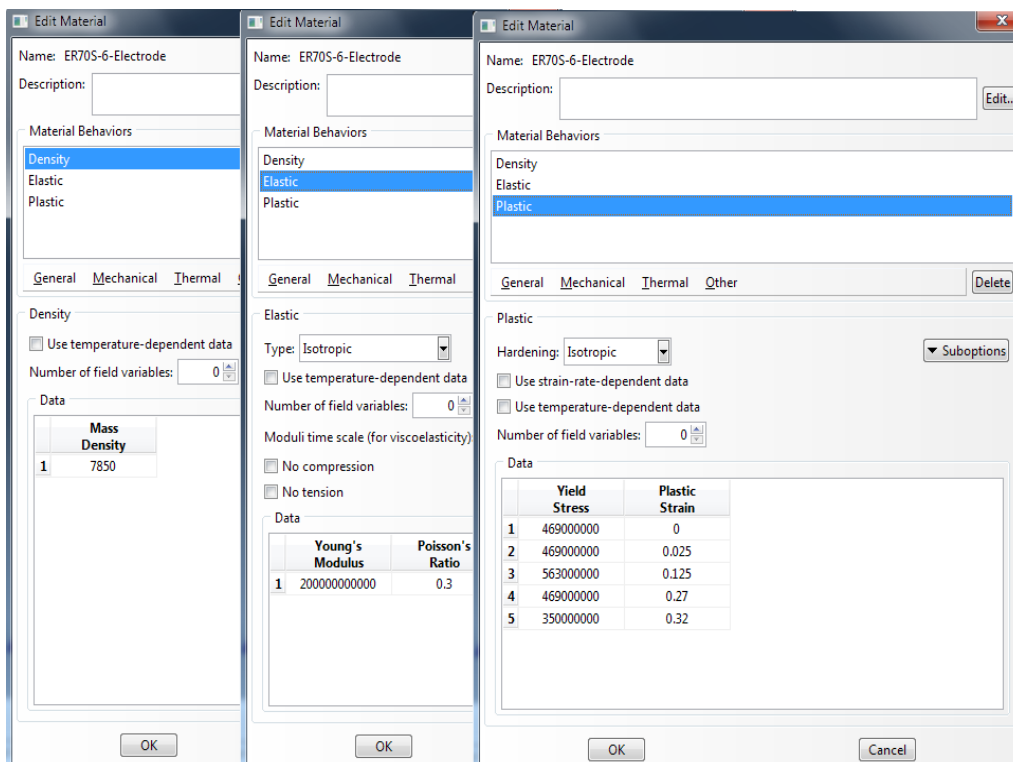
مشخصات مصالح در بخش قبل ارائه شد. بر اساس نمودار های تنش و کرنش رفتار مواد در ABAQUS تعریف شده است. هر یک از مواد با نام خودشان تعریف شده و برای هر کدام در ماژول Property سه خصوصیت رفتاری مانند چگالی (Density)، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون و رفتار پلاستیک تعریف شده است. خصوصیات تعریف شده برای تیر، ستون و جوش در شکل های زیر ارائه شده است.



شکل ۳-۴- خصوصیات رفتاری تیر



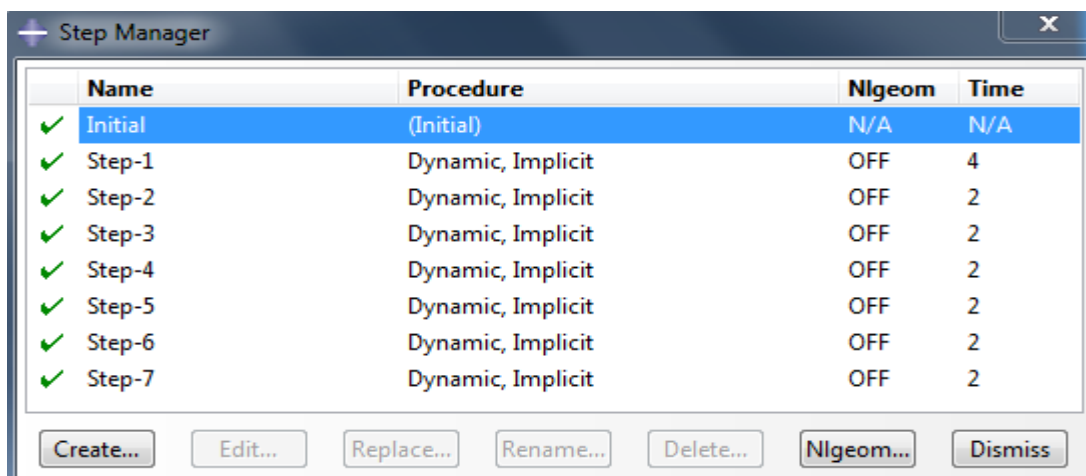
شکل ۴-۴- خصوصیات رفتاری ستون



شکل ۴-۵- خصوصیات رفتاری جوش

۴-۲-۴- مراحل حل براساس تاریخچه بارگذاری SAC

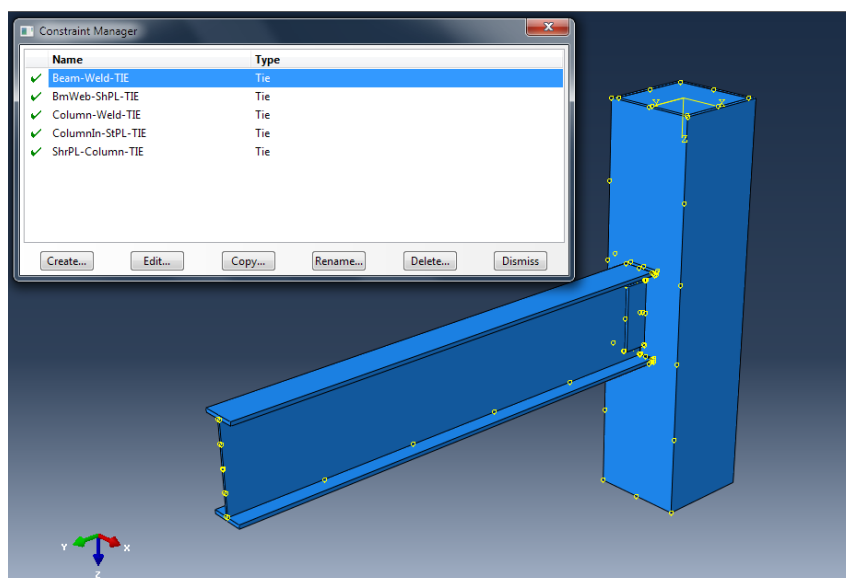
در ماژول Step مراحل تحلیل بصورت پی در پی تعریف شده است. هر مرحله از بارگذاری SAC بصورت یک Step تعریف گردید. در شکل زیر ستون اول از سمت چپ نام انتخاب شده برای هر Step و ستون دوم نوع تحلیل است. در اینجا تحلیل از نوع دینامیکی بصورت ضمنی (Implicit) انجام شده است. ستون سوم از سمت چپ گزینه تغییر شکل های خیلی بزرگ است و ستون آخر یا ستون سمت راست تعداد زمان بارگذاری را نشان می دهد که مطابق با بارگذاری SAC می باشد. البته این مورد نیاز به توضیحات بیشتری دارد که در بخش بارگذاری بیشتر توضیح داده خواهد شد.



شکل ۴-۶- مراحل تحلیل در نرم افزار ABAQUS

۴-۲-۵- اندرکنش ها

ارتباطات بین اجزا در ماژول Interaction تعریف می گردد. در اینجا اجزای متصل به یکدیگر به هم مقید (Tie) شده اند. این اتصال ها شامل اتصال بال تیر به جوش نفوذی، اتصال جوش نفوذی به ستون، اتصال جان تیر به برش گیر، اتصال برش گیر به ستون و اتصال سخت کننده ها به ستون می باشد. از آنجا که جسم جوش نفوذی در اینجا مدل شده دیگر نیازی به تعریف اندرکنش های پیچیده برای تعریف رفتار اتصال بال تیر به ستون نمی باشد و خصوصیات رفتاری کاملی که برای جوش تعریف شده، رفتار آن را به طور کامل نشان خواهد داد.



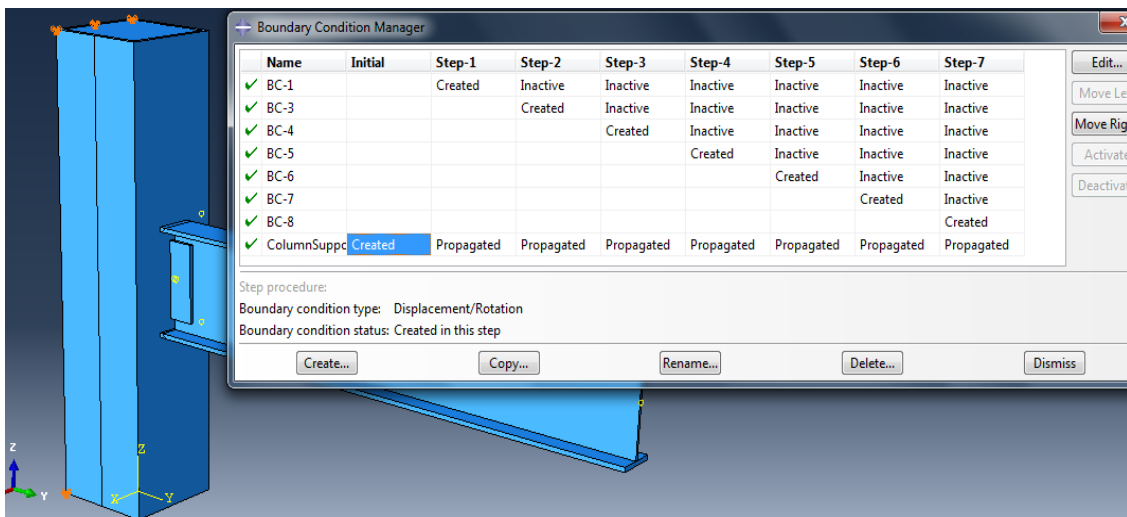
شکل ۴-۷- اندرکنش های تعریف شده در نرم افزار ABAQUS

۴-۲-۶- بارگذاری و شرایط مرزی

همانطور که در توضیح مراحل تحلیل و مازول Step بیان شد بارگذاری به صورت مرحله به مرحله و سیکلیک اعمال می شود. این بارگذاری به صورت اعمال تغییر مکان مشخص به نوک تیر می باشد. بر اساس طول تیر مقادیر مشخص شده در استاندارد SAC که بر حسب رادیان می باشد به تغییر مکان نوک تیر تبدیل گردید و بصورت یک شرط مرزی با تغییر مکان مشخص به تیر وارد گردید. این بار همانطور که در شکل زیر مشخص شده، به دو نقطه روی تار خنثی تیر اعمال گردید تا تقارن حفظ گردد. همچنین تغییر مکان تیر در جهت عمود بر صفحه آن مقید شد.

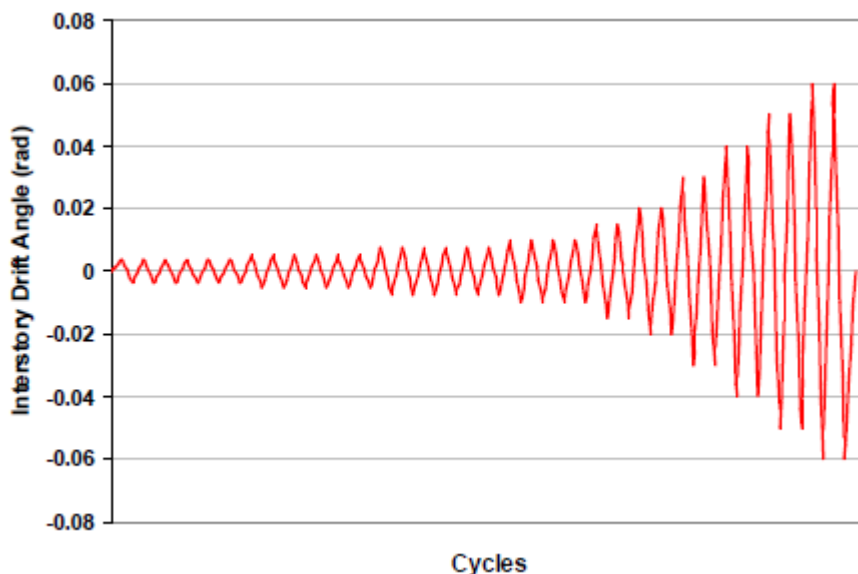
چنانچه در شکل زیر مشخص است با فعال شدن هر بار، بارگذاری قبل غیر فعال می گردد. مثلاً با فعال شدن بارگذاری شماره ۳ بارگذاری شماره دو غیر فعال (Inactive) شده است.

شرایط مرزی ستون نیز بصورت گیر دار در دو انتهای آن اعمال شده است. فاصله دو تکیه گاه با فاصله تکیه گاهها در نمونه آزمایشگاهی یکسان است. این شرط مرزی با نام Support Column در شکل زیر مشخص است. چنانچه مشاهده می شود این شرط مرزی از ابتدا تا پایان مراحل حل فعال می باشد.

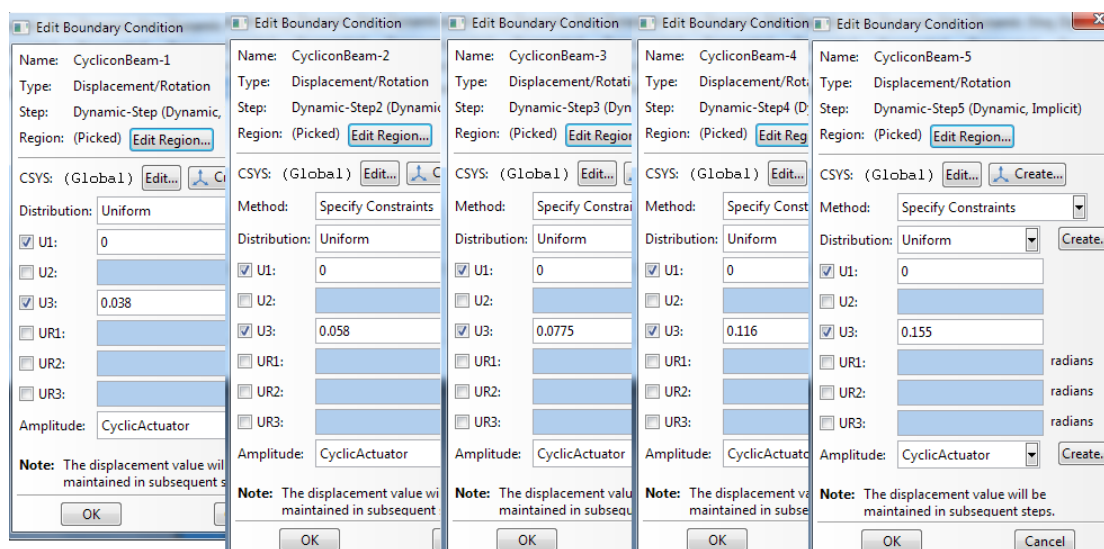


شکل ۴-۸- بارگذاری تعریف شده روی تیر در نرم افزار ABAQUS

مقادیر تغییر مکان اعمال شده به تیر در هر مرحله بارگذاری در شکل زیر آورده شده است. $U1$ که تغییر مکان عمود بر جان تیر می باشد صفر در نظر گرفته شده و $U3$ که مقدار تغییر مکان در راستای جان تیر می باشد بر اساس مقادیر SAC و با تبدیل رادیان به تغییر مکان اعمال شده است.



شکل ۴-۹- شکل شماتیک الگوی بارگذاری SAC [۳۵]



شکل ۴-۱۰- مقادیر تغییر مکان اعمال شده به تیر در نرم افزار ABAQUS تا چرخش ۰/۴

در پایین هر یک از پنجره ها گزینه Amplitude دیده می شود که نشان دهنده نحوه اعمال تغییر مکان می باشد. از آنجا که این بارگذاری باید بصورت رفت و برگشتی اعمال گردد تنها تعریف مقدار بار کافی نیست. در این صورت ABAQUS فقط یک بار و آن هم در یک جهت بار را اعمال خواهد کرد. بنابراین از گزینه Amplitude استفاده می گردد. در کار حاضر یک Amplitude از نوع رفت و برگشتی (Periodic) تعریف گردید. این بارگذاری یک بارگذاری با این فرمول می باشد:

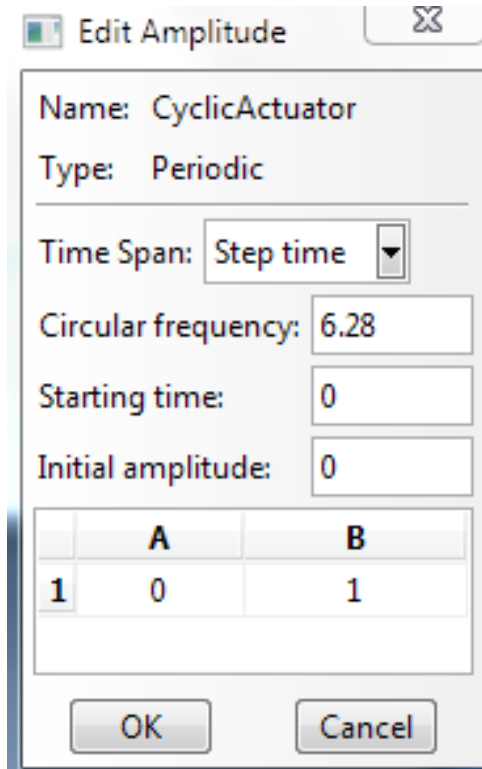
۴-۱

$$f(x) = A_0 + (A \cos \omega(t - t_0) + B \sin \omega(t - Z))$$

در این رابطه A_0 و Z صفر در نظر گرفته شده اند. A_0 در شکل زیر Initial Amplitude می باشد. t_0

نیز که در شکل زیر Starting Time است صفر تعیین گردید. $B=1$ و $\omega = 2\pi = 6.28$ می باشد. با این

مقادیر بارگذاری بصورت یک بار سینوسی با پریود ۱ ثانیه در نظر گرفته شد. حال زمان هر Step مشخص می کند که یک بار چند مرتبه بر سازه وارد گردد. به عنوان مثال در اولین Step (شکل ۴-۱۲) زمان ۴ ثانیه تعریف شده که به این معنی است که بار در ۴ سیکل به سازه وارد می گردد. لازم به ذکر است که مقادیر بدست آمده از رابطه Amplitude در هر زمان در مقدار U3 ضرب شده و مقدار تغییر مکانی را که می بایست به تیر اعمال گردد مشخص می نماید.

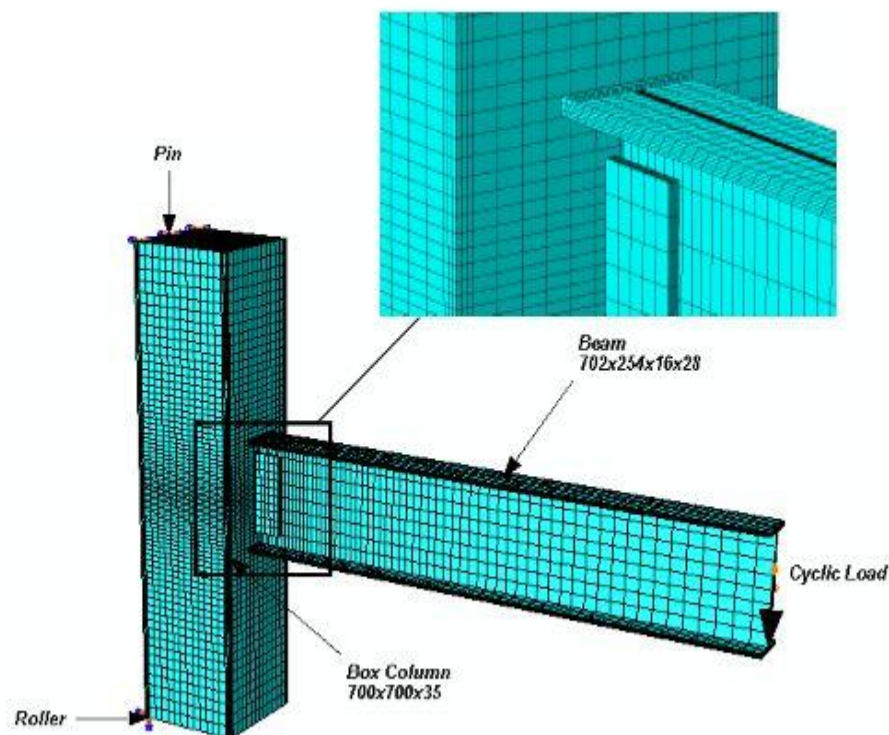


شکل ۴-۱۱- مقادیر و پارامترهای تعریف شده برای Amplitude

۴-۲-۷- گسسته سازی (مش بندی)

برای گسسته سازی تیر، ستون، ورق سخت کننده، ورق برشی و جوش از المان هشت گره ای^۱ C3D8 استفاده شد که در شکل زیر مشاهده می گردد. این المان دارای هشت گره است که در آن هر گره سه درجه آزادی دارد.

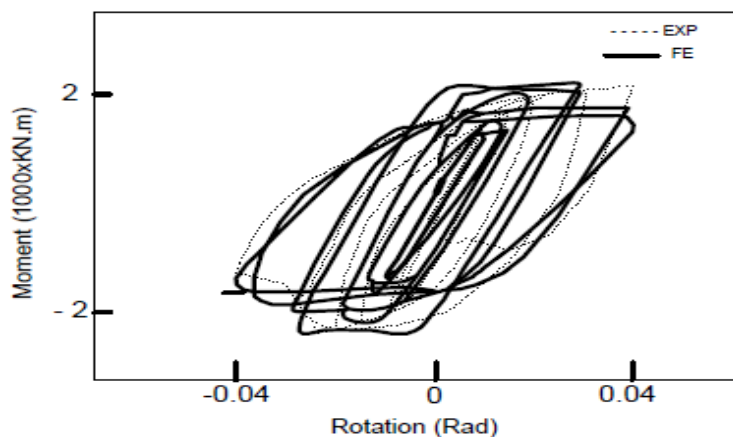
^۱ 8-node linear brick



شکل ۴-۱۲- مش بندی اجزای اتصال صلب جوشی معمولی

۴-۲-۸- صحت سنجی نتایج تحلیل

برای صحت سنجی مدل عددی از تطبیق نمودار چرخه ای لنگر- دوران اتصال ORC با نمودار چرخه ای لنگر- دوران نمونه آزمایشگاهی ساخته شده توسط Chung-Che Chou و Chih-Kai [6] استفاده شده است (شکل ۴-۱۳). این دو نمودار تا دوران 0.04 بارگذاری شده اند. با توجه به شکل ۴-۱۳ مشاهده می شود که مدل عددی مطابقت مناسبی با نمونه آزمایشگاهی دارد و این اختلاف کمتر از ۴ درصد است.



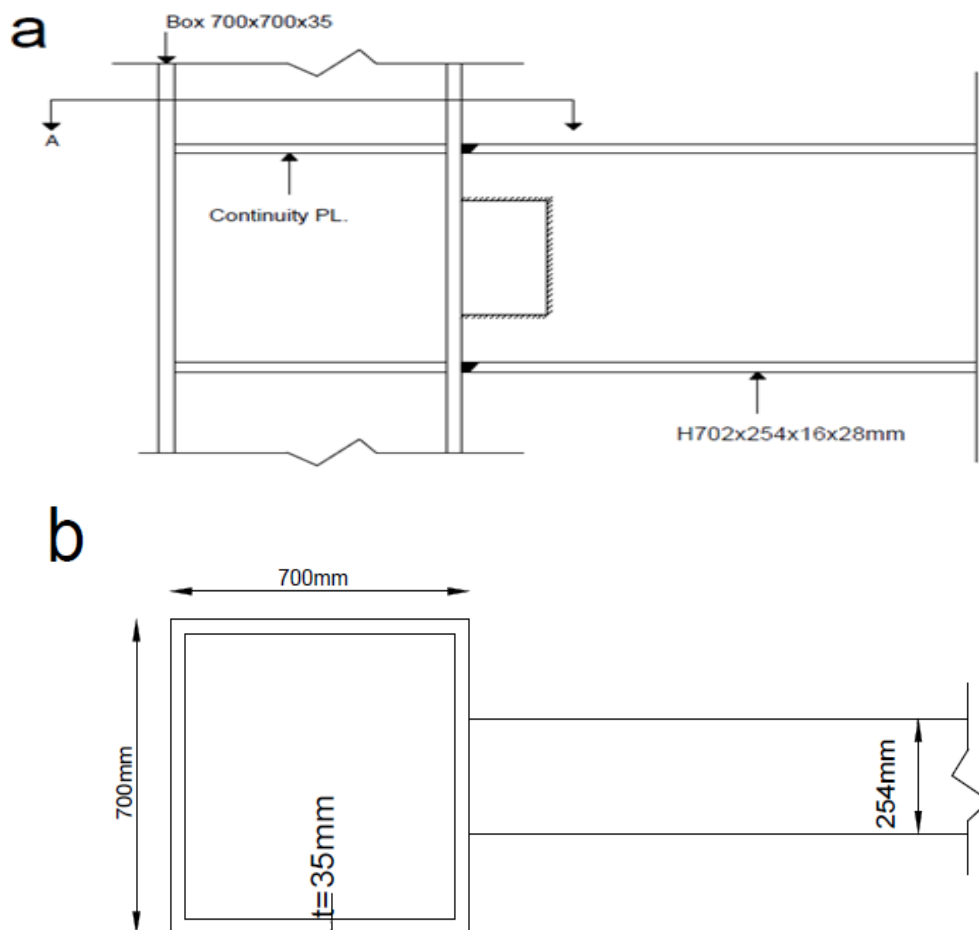
شکل ۴-۱۳- صحت سنجی مدل عددی براساس مرجع ۷

۳-۴- انواع نمونه های مدل شده با استفاده از نرم افزار آباکوس

۳-۴-۱- انواع مدل های با مقطع بال کاهش یافته

در این مطالعه برای بررسی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته ۵۴ نمونه با انواع اشکال کاهش بال مدل سازی گردید. با توجه به این که ارایه نتایج همه این مدل ها در این پایان نامه امکان پذیر نمی باشد، در نهایت از میان آن ها مدل های با کیفیت بهتر انتخاب شدند. نتیجه کلی این مدل ها نشان داد که بهترین کاهش بال به صورت دایره ای برابر با مساحت بریده شده به صورت شعاعی مطابق آیین نامه می باشد. این مدل ها عبارتند از اتصال صلب جوشی معمولی^۱ (ORC)، یک اتصال با مقطع بال کاهش یافته به صورت کاهش شعاعی^۲ (RBS)، سه اتصال با کاهش بال به صورت دایره های متوالی و یکسان^۳ (RBS-SH) و سه اتصال با کاهش بال به صورت دایره های متوالی که شعاع این دایره ها به صورت متوالی ابتدا افزایش سپس کاهش می یابد^۴ (RBS-SH).

جزئیات این مدل ها در شکل ۲ نمایش و مشخصات آن در جدول ۴-۱ آمده است.



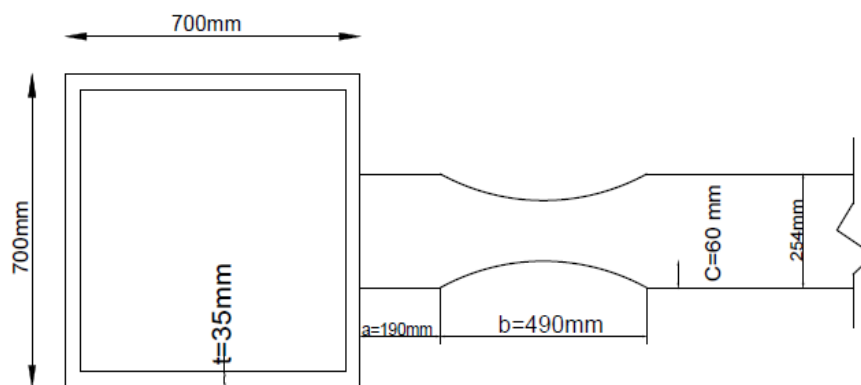
¹Ordinary rigid connection

²Reduce beam section

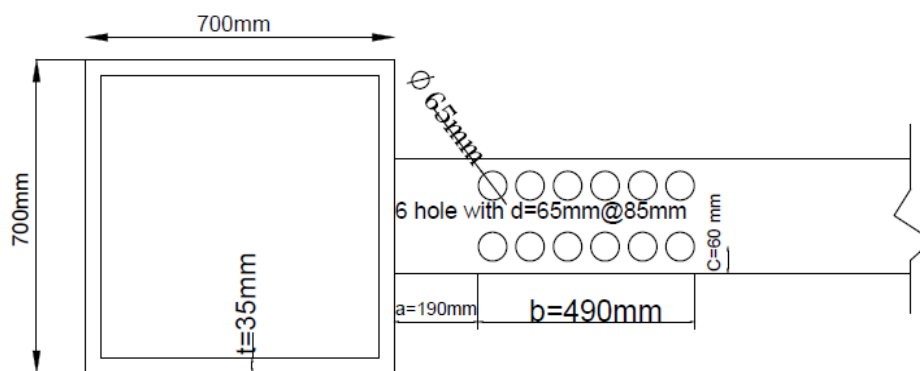
³Reduce beam section with same holes

⁴Reduce beam section with various holes

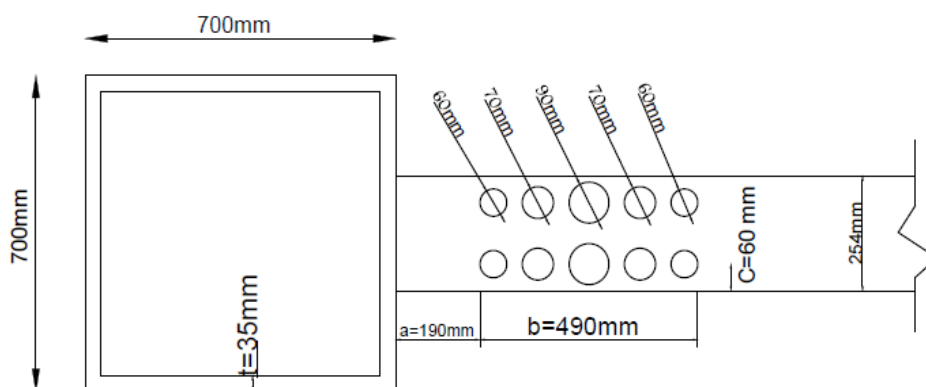
c



d



e



شکل ۴-۱۴ - جزئیات اتصال (a) نمونه اتصال (b) ORC (c) RBS (d) RBS2-SH (e) RBS1-VH

جدول ۴-۱- مشخصات کاهش بال تیر

Models	Beam	Column	H (mm)	L _b (mm)	L ₀ (mm)	Reduce parameters (mm)
ORC	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	-
RBS	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	a=190 b=490 c=60
RBS1-SH	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	Five circle with d=70@105 on right and left
RBS2-SH	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	Six circle with d=65@85 on right and left
RBS3-SH	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	Seven circle with d=60@71 on right and left
RBS1-VH	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	Five circle that increase gradually d=60&70&90&70&60 on right and left
RBS2-VH	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	Six circle that increase gradually d=50&60&80&80&60&50 on right and left
RBS3-VH	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	Seven circle that increase gradually d=40&50&70&85&70&50 &40 on right and left

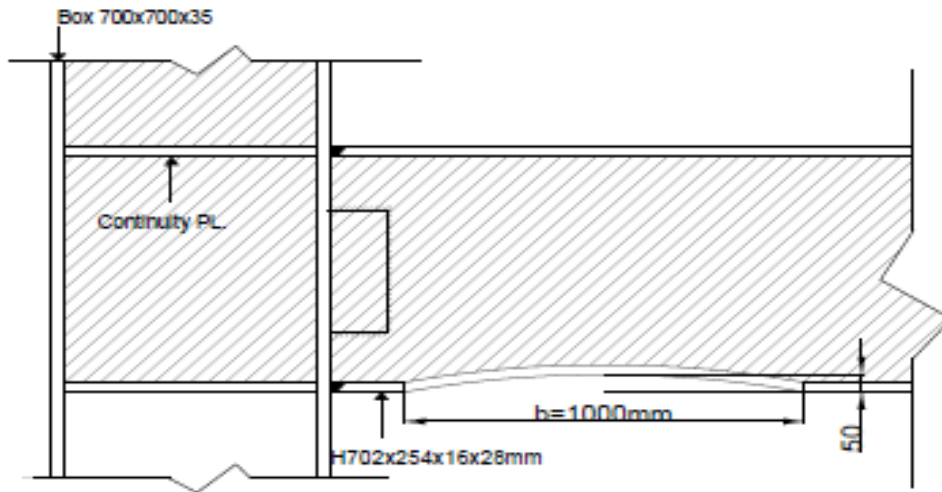
۴-۳-۲- انواع مدل های با مقطع جان کاهش یافته

پس از مدلسازی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته، اتصالات با مقطع جان کاهش یافته نیز مدل گردیدند. در این مطالعه برای بررسی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته ۱۰ نمونه با انواع اشکال کاهش بال مدل سازی گردید. با توجه به این که ارایه نتایج همه این مدل ها در این پایان نامه امکان پذیر نمی باشد، در نهایت از میان آن ها ۵ مدل با کیفیت بهتر انتخاب شدند. این مدل ها عبارتند از یک اتصال با مقطع جان کاهش یافته به صورت کاهش شعاعی^۱ (RBS-W)، اتصال صلب جوشی با کاهش جان به صورت دایره ای^۲

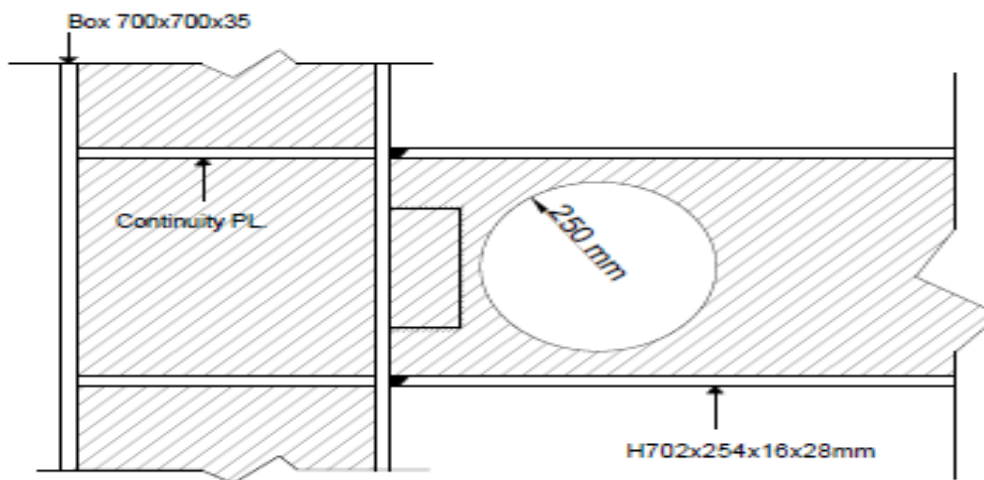
^۱Reduce beam section-web

^۲Reduce beam section-web hole

(RBS1-WH)، اتصال صلب جوشی با کاهش جان به صورت ترکیب دایره و مربع (RBS2-WH) و دو نوع اتصال صلب جوشی با کاهش سینوسی جان^۱ (RBS1-S و RBS2-S).
 جزئیات این مدل ها در شکل ۲ نمایش و مشخصات آن در جدول ۴-۲ آمده است.

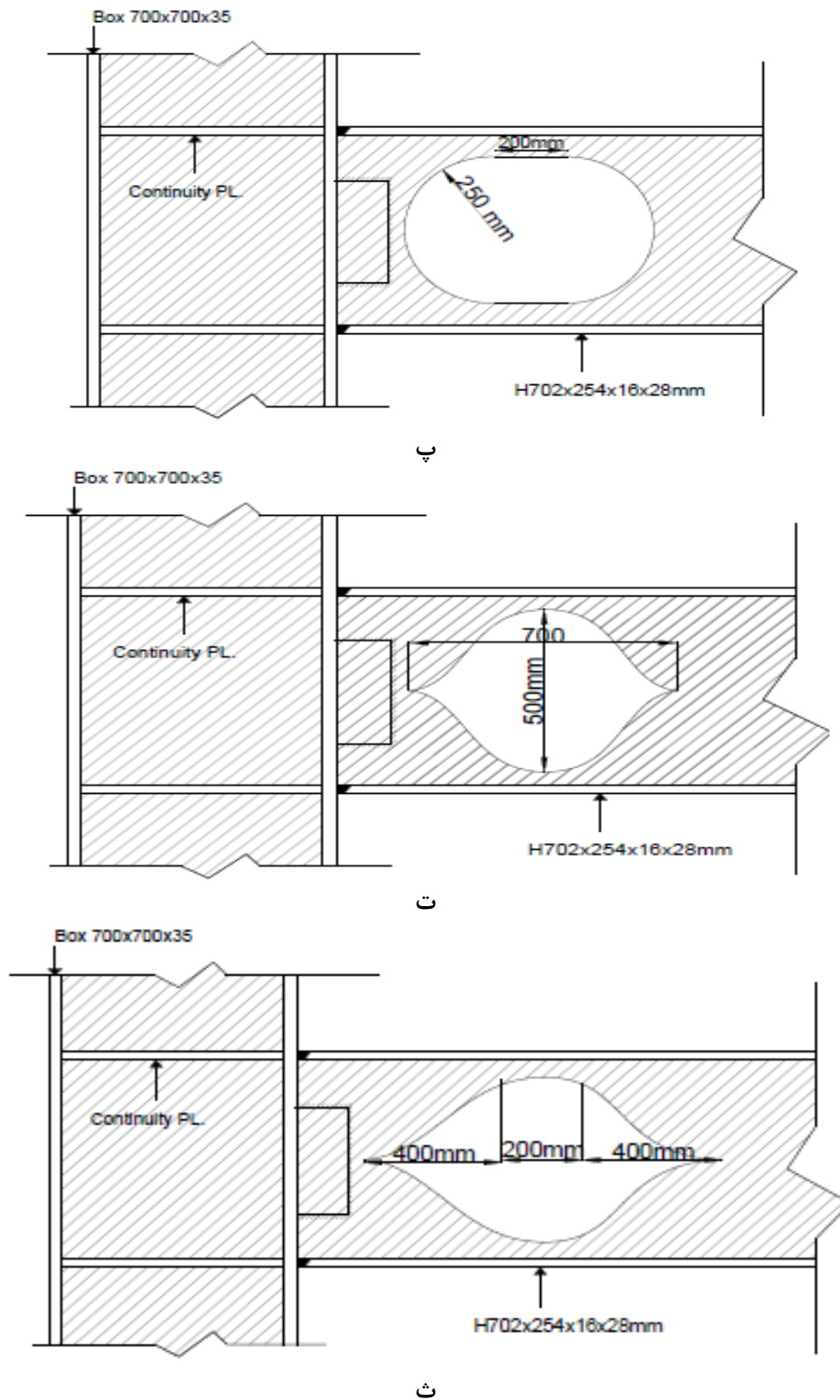


الف



ب

³Reduce beam section-sin



شکل ۴-۱۵- جزئیات نمونه های اتصالات الف) RBS-W ب) RBS1-WH پ) RBS2-WH ت) RBS1-
 S ت) RBS2-S

جدول ۴-۲- مشخصات کاهش جان تیر

Models	Beam	Column	H (mm)	L _b (mm)	L ₀ (mm)	Reduce parameters (mm)
RBS-W	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	a=190 b=1000 c=50
RBS1-WH	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	a=190 r=250
RBS2-WH	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	a=190 r=250 b=900
RBS1-S	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	a=190 h=500 b=700
RBS2-S	H 702x254x16x28	Box 700x700x35	3000	3800	3500	a=190 h=500 b=1000

پارامترهای مهمی که در این مطالعه مورد ارزیابی قرار می گیرند عبارتند از: ۱- بررسی و نمایش محل تمرکز تنش در کلیه مدل ها ۲- تعیین محل تشکیل مفصل پلاستیک ۳- ترسیم منحنی لنگر- دوران تیر برای کلیه مدل ها و بررسی شکل پذیری آن ها ۴- ترسیم منحنی لنگر- دوران چشمه اتصال برای کلیه مدل ها ۵- محاسبه سختی اتصالات و طبقه بندی آنان براساس سختی آن ها ۶- تعیین انرژی مستهلک شده در مدل های اتصال ۷- محاسبه کمانش جانبی تیر در ناحیه اتصال در طول زمان اعمال بارگذاری چرخه ای.

۴-۴- نمایش کانتوری تنش و کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) برای مدل های ساخته شده

۴-۴-۱- معیار فون مایسز

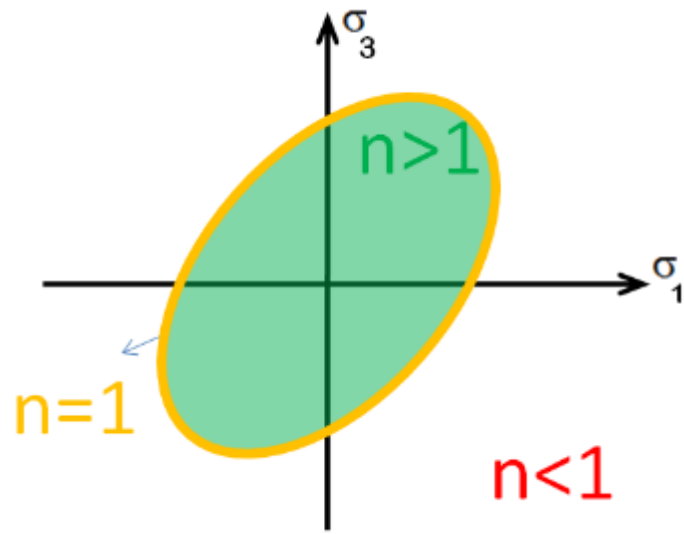
بر مبنای این تئوری، قطعه وقتی تسلیم می شود که حداکثر انرژی واپیچش (اعوجاجی) به انرژی واپیچش قطعه ی تحت آزمایش ساده در لحظه ی تسلیم برسد. این نظریه انرژی کششی را به کرنش ربط می دهد و به زبان ساده بیان می کند که می خواهیم با بدست آوردن انرژی کرنشی و حذف مقادارش از تنش های اصلی به نیروی واپیچش برسیم.

تنش فون میسز بطور کلی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$S_y^2 = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \quad ۲-۴$$

و ضریب اطمینان در این تئوری برابر است با:

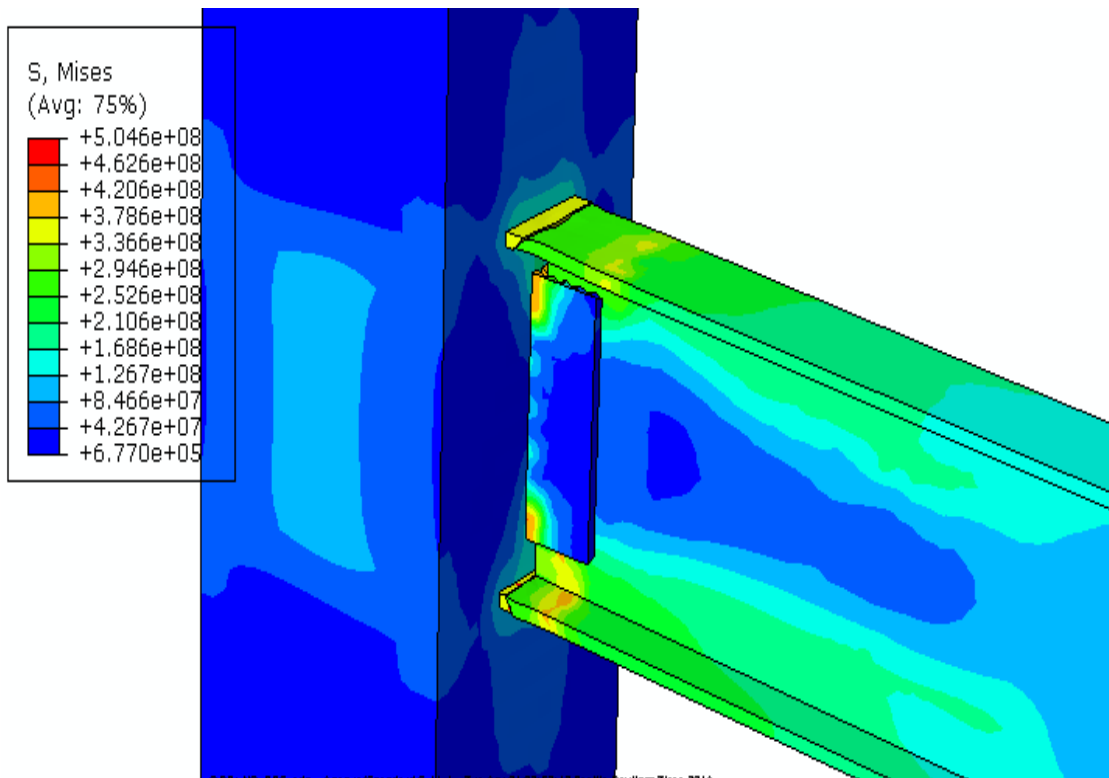
$$n = \frac{S_y}{\left(\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right)^{1/2}} \quad ۳-۴$$



شکل ۴-۱۶- منحنی معیار فون مایسز

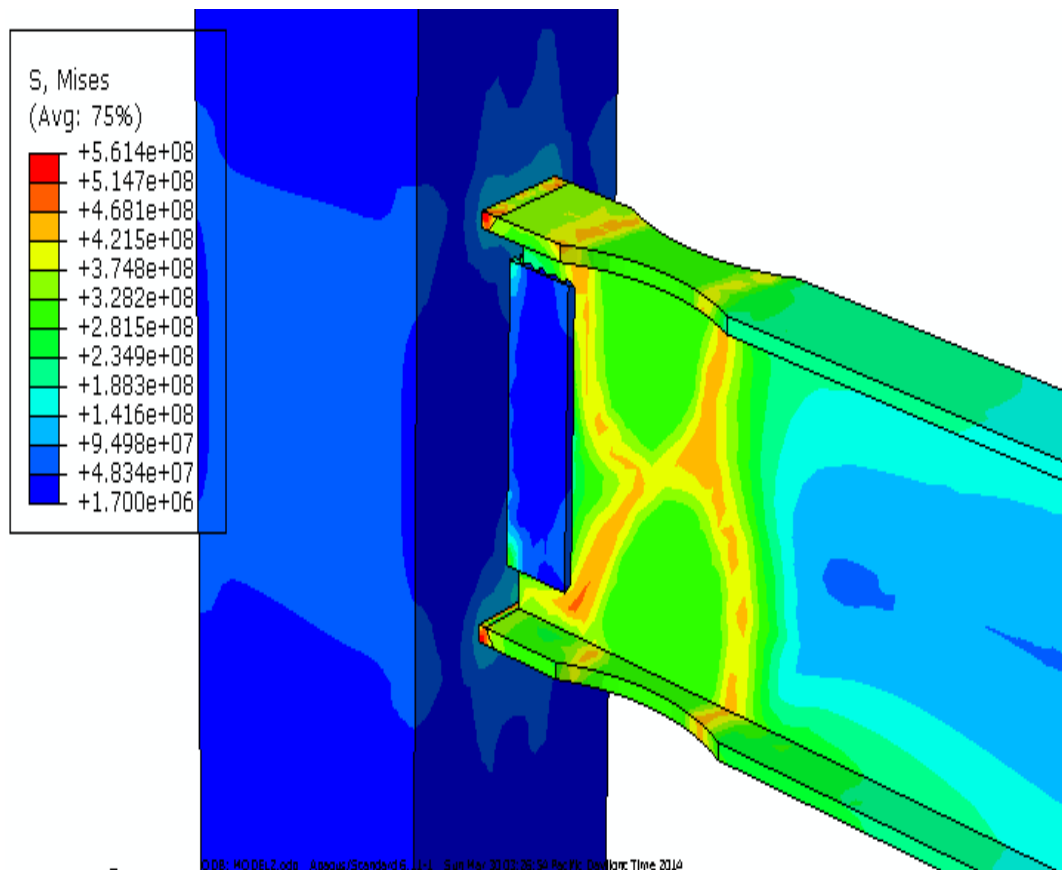
۲-۴-۴- معیار فون مایسز برای اتصالات با مقطع بال کاهش یافته

شکل ۱۷-۴ توزیع کانتوری معیار فون مایسز را برای اتصال صلب معمولی (ORC) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز تنش در جوش اتصال تیر به ستون و صفحه اتصال تیر به ستون قرار دارد. این تمرکز تنش در ناحیه اتصال ممکن است که باعث ایجاد ترک در جوش ناحیه اتصال گردد. با توجه به شکل ۴-۱۷ می توان دریافت که بخشی از تمرکز تنش در چشمه اتصال قرار دارد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۵۰۰۰ و ۱۵۰۰ مگاپاسکال می باشد.



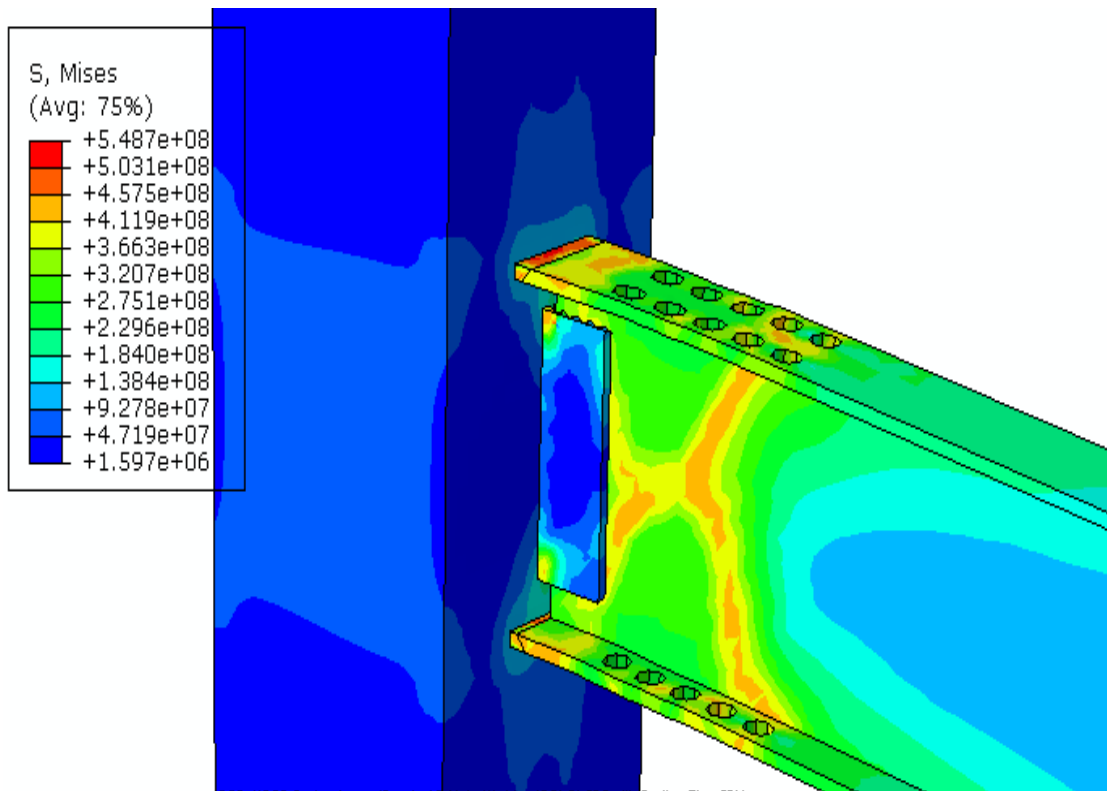
شکل ۱۷-۴ - توزیع تنش - معیار فون مایسز مدل ORC

شکل ۴-۱۸ توزیع کانتوری معیار فون مایسز را برای اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت شعاعی (RBS) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز تنش در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. با توجه به شکل ۴-۱۸ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش بال تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۵۶۰۰ ، ۳۵۰۰ و ۷۰۰ مگاپاسکال می باشد. همان گونه که پیش تر گفته شد، ماهیت روش کاهش بال انتقال تنش از اتصال به تیر است بنابراین این مدل توزیع تنش مناسبی را برای اتصال نشان می دهد زیرا تمرکز آن در تیر می باشد.



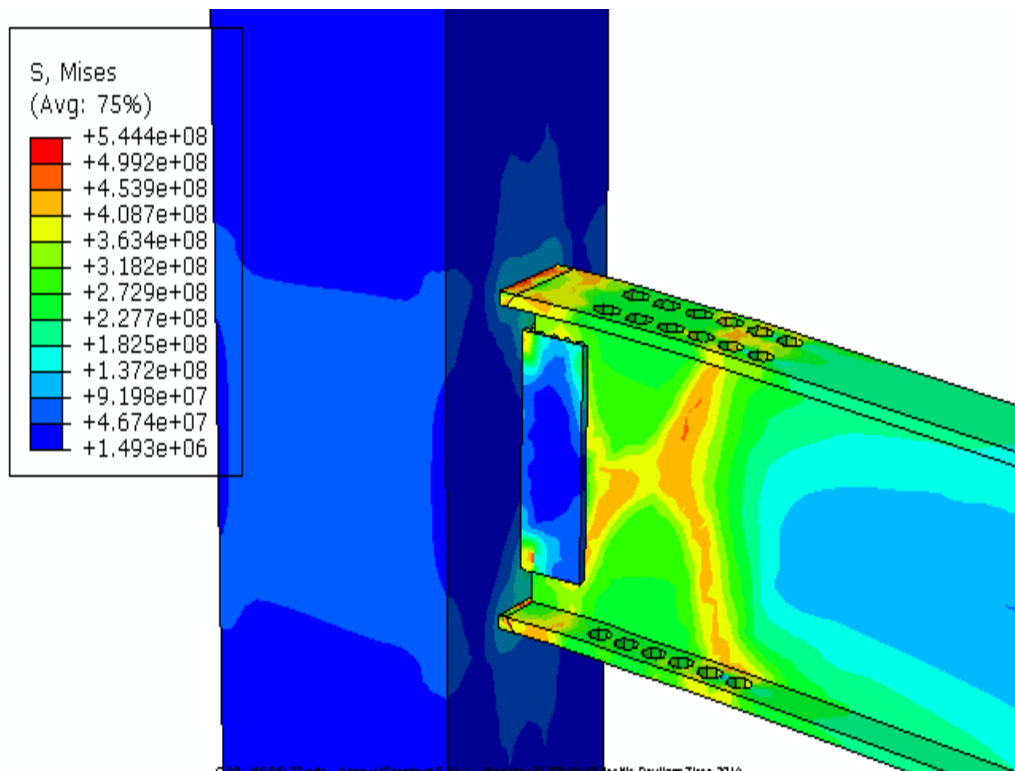
شکل ۴-۱۸- توزیع تنش- معیار فون مایسز مدل RBS

شکل ۴-۱۹ توزیع کانتوری معیار فون مایسز را برای اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و یکسان (RBS1-SH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود بخش عمده ای از تمرکز تنش در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. با توجه به شکل ۴-۱۹ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS1-SH نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش بال تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۵۰۰۰ ، ۵۲۰۰ و ۹۲۰ مگاپاسکال می باشد. همان گونه که پیش تر گفته شد، ماهیت روش کاهش بال انتقال تنش از اتصال به تیر است بنابراین این مدل توزیع تنش نسبتاً مناسبی را برای اتصال نشان می دهد زیرا اندازه تنش در تیر و جوش تقریباً یکسان بوده و با توجه به اینکه مقاومت جوش بیشتر بوده می توان پایداری اتصال را تضمین نمود.



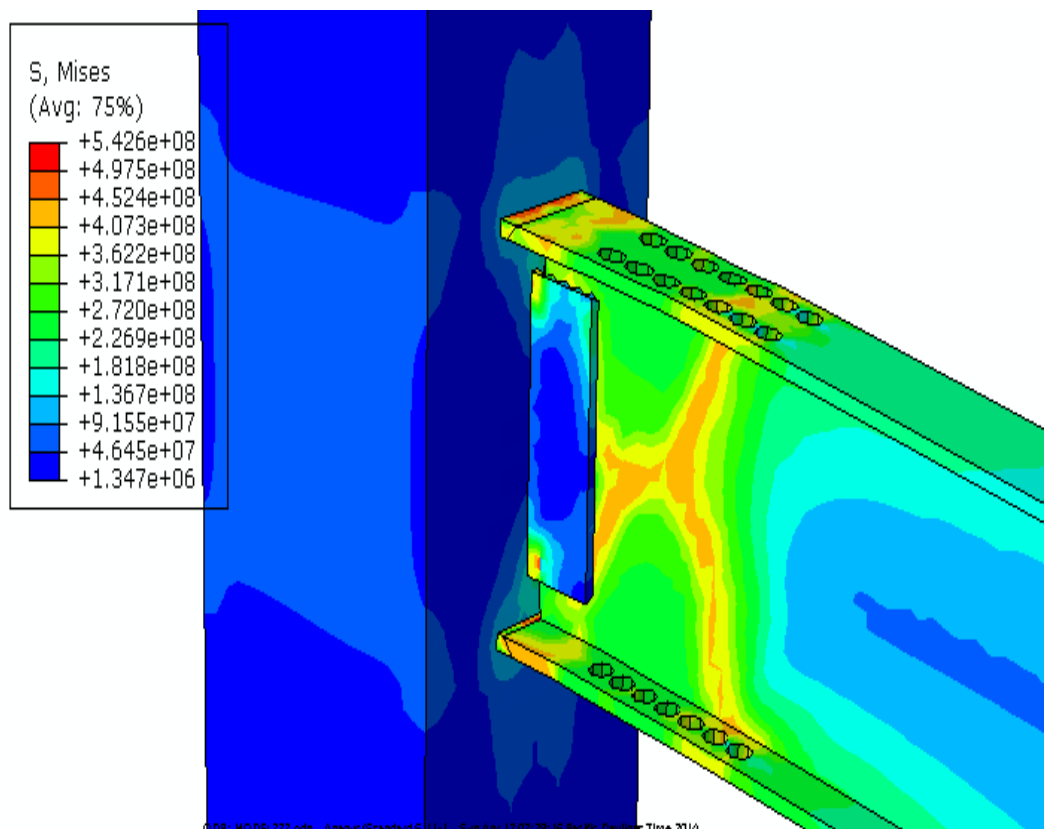
شکل ۴-۱۹- توزیع تنش- معیار فون مایسز مدل RBS1-SH

شکل ۴-۲۰ توزیع کانتوری معیار فون مایسز را برای نوع دوم اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و یکسان (RBS2-SH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود بخش عمده ای از تمرکز تنش در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. با توجه به شکل ۴-۲۰ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS2-SH نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش بال تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۵۴۰۰ ، ۴۵۰۰ و ۹۰۰ مگاپاسکال می باشد. همان گونه که پیش تر گفته شد، ماهیت روش کاهش بال انتقال تنش از اتصال به تیر است بنابراین این مدل توزیع تنش نسبتا مناسبی را برای اتصال نشان می دهد زیرا اندازه تنش در تیر و جوش تقریبا یکسان بوده و با توجه به اینکه مقاومت جوش بیشتر بوده می توان پایداری اتصال را تضمین نمود. هم چنین اتصال RBS2-SH در مقایسه با اتصال RBS1-SH عملکرد مناسب تری را نشان می دهد زیرا انتقال تنش را بهتر انجام می دهد.



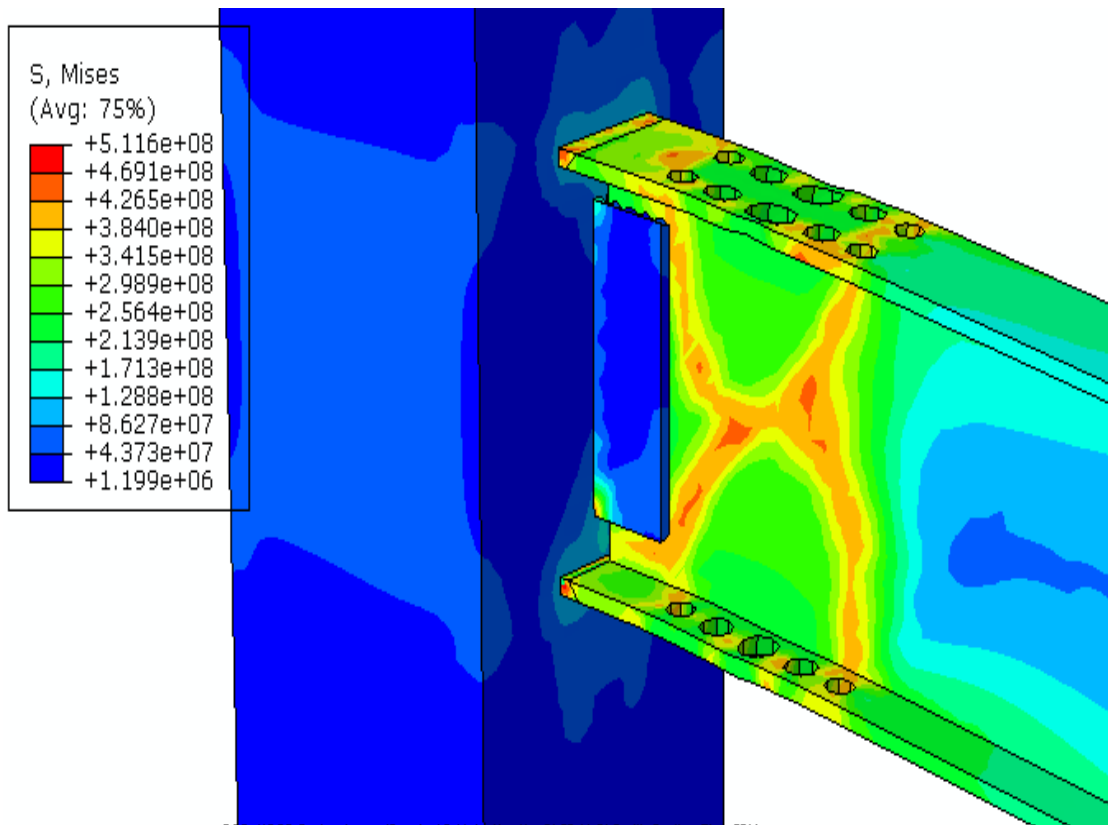
شکل ۴-۲۰- توزیع تنش - معیار فون مایسز مدل RBS2-SH

شکل ۴-۲۱ توزیع کانتوری معیار فون مایسز را برای نوع سوم اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و یکسان (RBS3-SH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود بخش عمده ای از تمرکز تنش در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. با توجه به شکل ۴-۲۱ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS3-SH نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش بال تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۵۴۰۰ ، ۴۷۰۰ و ۷۰۰ مگاپاسکال می باشد. همان گونه که پیش تر گفته شد، ماهیت روش کاهش بال انتقال تنش از اتصال به تیر است بنابراین این مدل توزیع تنش نسبتاً مناسبی را برای اتصال نشان می دهد زیرا اندازه تنش در تیر و جوش تقریباً یکسان بوده و با توجه به اینکه مقاومت جوش بیشتر بوده می توان پایداری اتصال را تضمین نمود. هم چنین اتصال RBS3-SH در مقایسه با اتصال RBS1-SH و RBS2-SH عملکرد مناسب تری را نشان می دهد زیرا انتقال تنش را بهتر انجام می دهد. با توجه به مدل های با کاهش بال به صورت دایره های متوالی می توان دریافت که برای کاهش بال به صورت دایره های متوالی، استفاده از دایره های با قطر بیشتر و تعداد بیشتر بر دایره های با قطر بیشتر و تعداد کمتر ارجح تر می باشد.



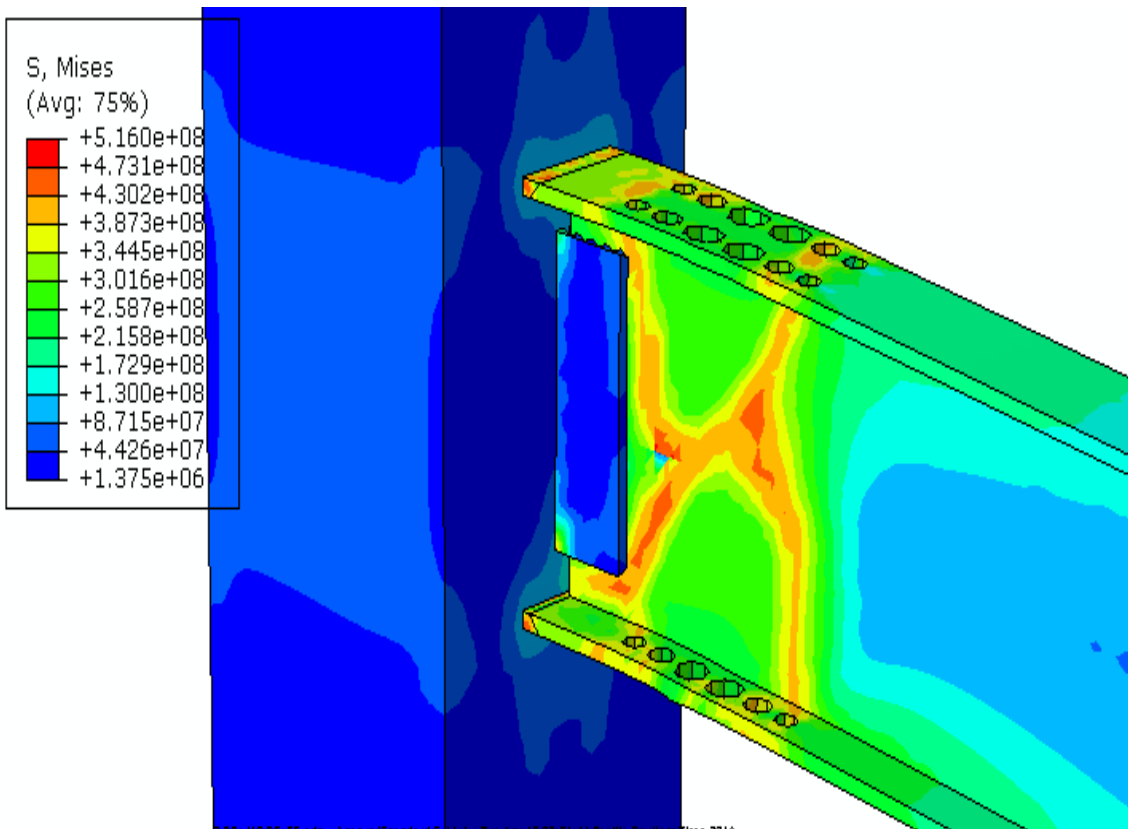
شکل ۴-۲۱- توزیع تنش- معیار فون مایسز مدل RBS3-S

شکل ۴-۲۲ توزیع کانتوری معیار فون مایسز برای نوع اول اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و متغیر که شعاع آن ها ابتدا افزایش سپس کاهش می یابد (RBS1-VH) را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز تنش در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. با توجه به شکل ۴-۲۲ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS1-VH نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش بال تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۵۱۰۰ ، ۳۰۰۰ و ۶۵۰ مگاپاسکال می باشد. همان گونه که پیش تر گفته شد، ماهیت روش کاهش بال انتقال تنش از اتصال به تیر است بنابراین این مدل توزیع تنش مناسبی را برای اتصال نشان می دهد زیرا تمرکز آن در تیر می باشد. هم چنین اتصال RBS1-VH در مقایسه با اتصال با کاهش شعاعی بال و اتصال کاهش یافته با استفاده از دایره های متوالی و یکسان عملکرد مناسب تری را نشان می دهد زیرا انتقال تنش را بهتر انجام می دهد.



شکل ۴-۲۲- توزیع تنش- معیار فون مایسز مدل RBS1-VH

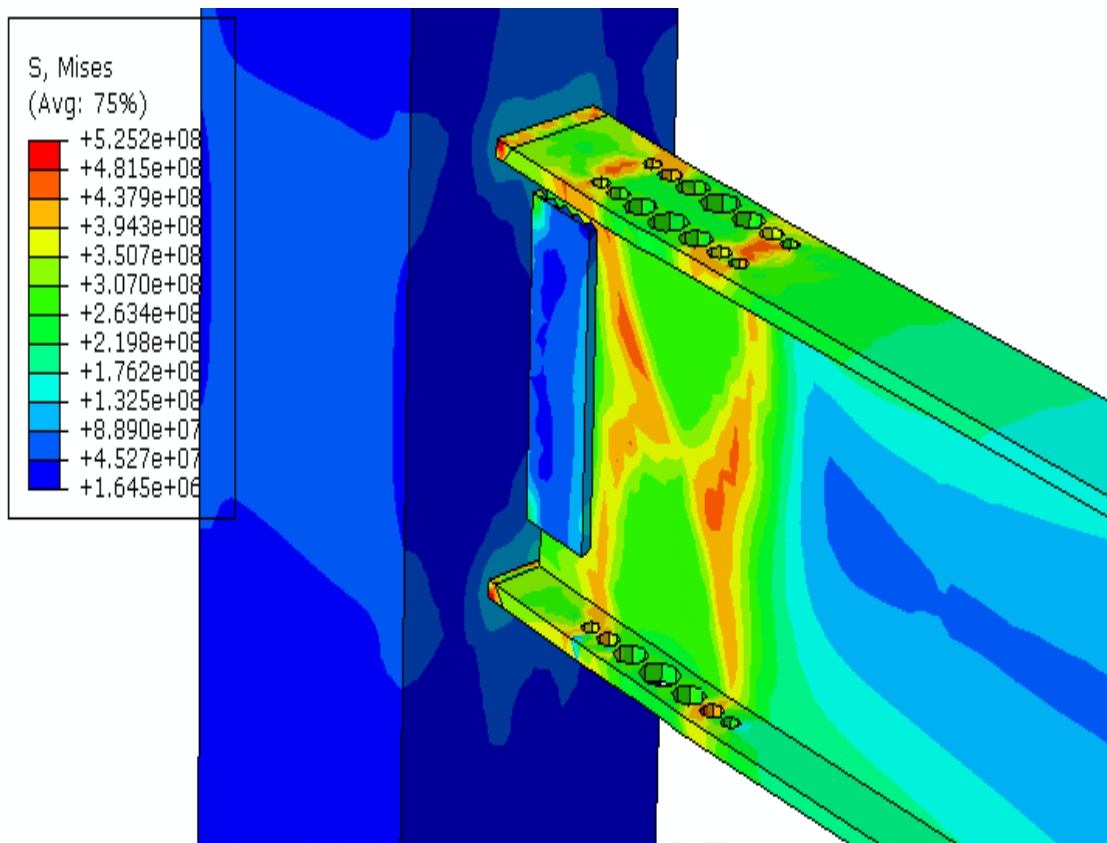
شکل ۴-۲۳ توزیع کانتوری معیار فون مایسز برای نوع دوم اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و متغیر که شعاع آن ها ابتدا افزایش سپس کاهش می یابد (RBS2-VH) را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز تنش در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. با توجه به شکل ۴-۲۳ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS2-VH نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش بال تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۵۱۶۰ ، ۲۷۰۰ و ۴۰۰ مگاپاسکال می باشد. همان گونه که پیش تر گفته شد، ماهیت روش کاهش بال انتقال تنش از اتصال به تیر است بنابراین این مدل توزیع تنش مناسبی را برای اتصال نشان می دهد زیرا تمرکز آن در تیر می باشد. هم چنین اتصال RBS2-VH در مقایسه با اتصال با کاهش شعاعی بال و اتصال کاهش یافته با استفاده از دایره های متوالی و یکسان عملکرد مناسب تری را نشان می دهد زیرا انتقال تنش را بهتر انجام می دهد.



شکل ۴-۲۳- توزیع تنش - معیار فون مایسز مدل RBS2-VH

شکل ۴-۲۴ توزیع کانتوری معیار فون مایسز برای نوع دوم اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و متغیر که شعاع آن ها ابتدا افزایش سپس کاهش می یابد (RBS3-VH) را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز تنش در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. با توجه به شکل ۴-۲۴ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS3-VH نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش بال تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۵۲۵۰ ، ۲۶۰۰ و ۴۰۰ مگاپاسکال می باشد. همان گونه که پیش تر گفته شد، ماهیت روش کاهش بال انتقال تنش از اتصال به تیر است بنابراین این مدل توزیع تنش مناسبی را برای اتصال نشان می دهد زیرا تمرکز آن در تیر می باشد. هم چنین اتصال RBS3-VH در مقایسه با اتصال با کاهش شعاعی بال و اتصال کاهش یافته با استفاده از دایره های متوالی و یکسان عملکرد مناسب تری را نشان می دهد زیرا انتقال تنش را بهتر انجام می دهد.

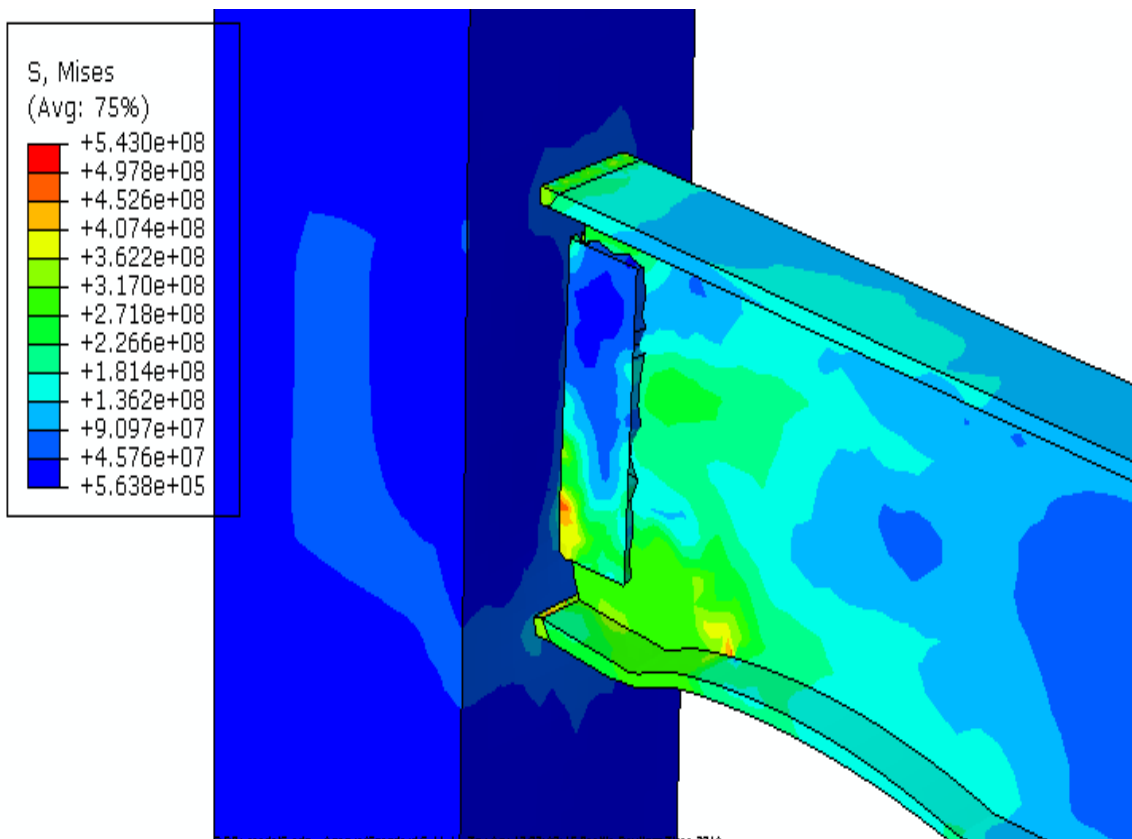
با توجه توزیع تنش در کلیه اتصالات با کاهش بال می توان دریافت که کاهش بال به صورت دایره های متوالی و متغیر (RBS-VH) تمرکز تنش را با کیفیت بهتری از اتصال به تیر منتقل می کند. هم چنین مشاهده گردید که اتصالات RBS-VH کمترین تنش را به جوش و چشمه اتصال وارد می کنند.



شکل ۴-۲۴- توزیع تنش - معیار فون مایسز مدل RBS3-VH

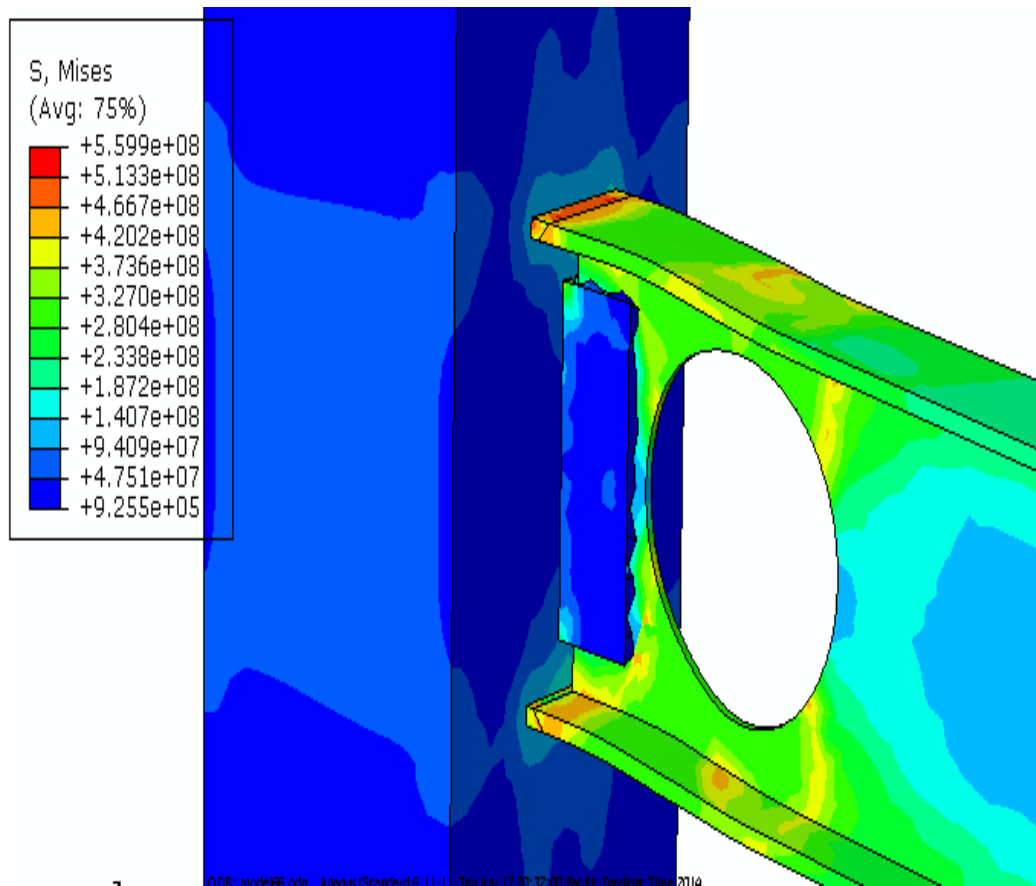
۳-۴-۴- معیار فون مایسز برای اتصالات با مقطع جان کاهش یافته

شکل ۴-۲۵ توزیع کانتوری معیار فون مایسز را برای اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت شعاعی (RBS-W) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز تنش در ابتدای ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون فاصله گرفته است. با توجه به شکل ۴-۲۵ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS-W نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش جان تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۵۴۰۰، ۴۵۰۰ و ۱۰۰۰ مگاپاسکال می باشد. لازم به ذکر است که اجرای این نوع کاهش جان اندکی دشوار است.



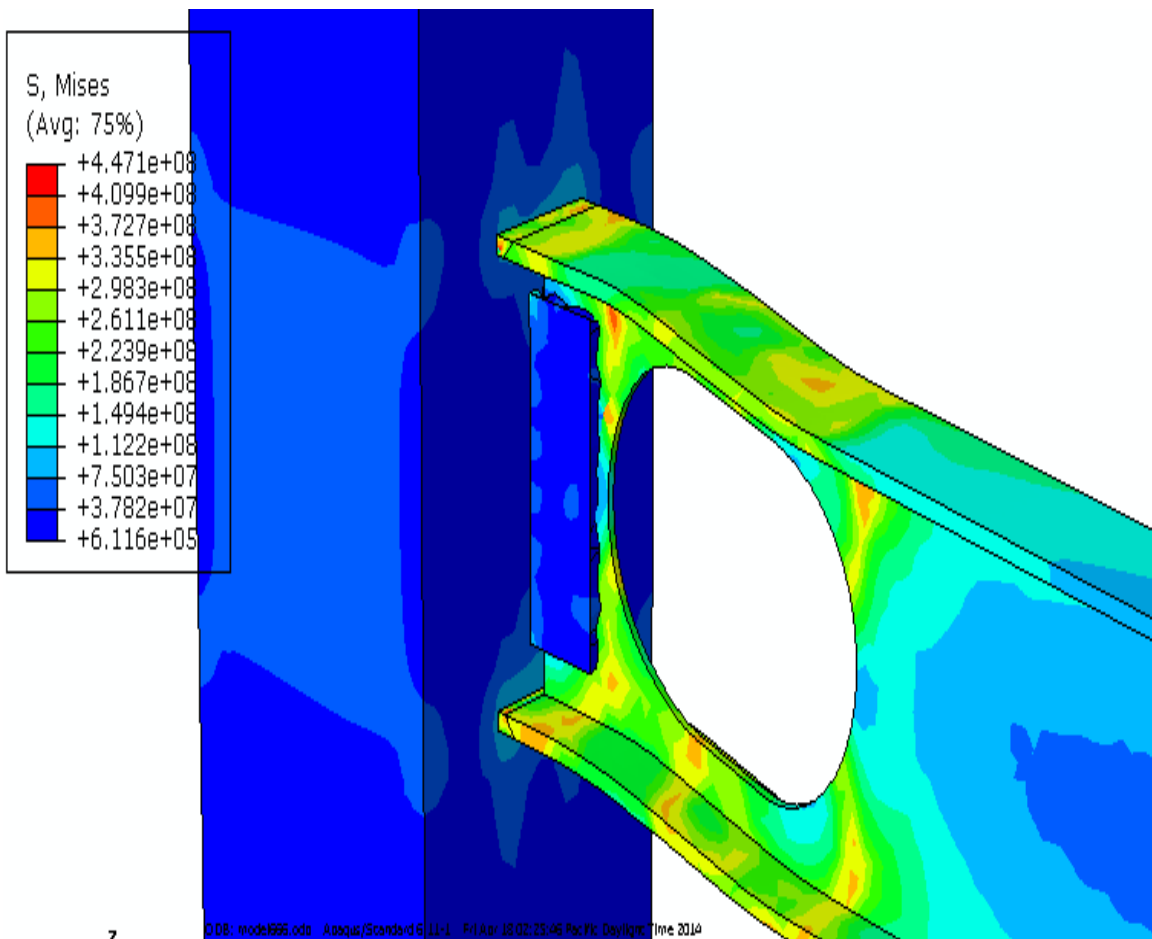
شکل ۴-۲۵- توزیع تنش- معیار فون مایسز مدل RBS-W

شکل ۴-۲۶ توزیع کانتوری معیار فون مایسز را برای اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سوراخ دایره ای در جان (RBS1-WH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود بخشی از تمرکز تنش به ناحیه کاهش یافته انتقال می یابد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون فاصله گرفته است. با توجه به شکل ۴-۲۵ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS-W نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش جان تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۵۰۰۰، ۱۰۰۰ و ۵۵۰۰ مگاپاسکال می باشد. لازم به ذکر است که اجرای این نوع کاهش به سادگی امکان پذیر است.



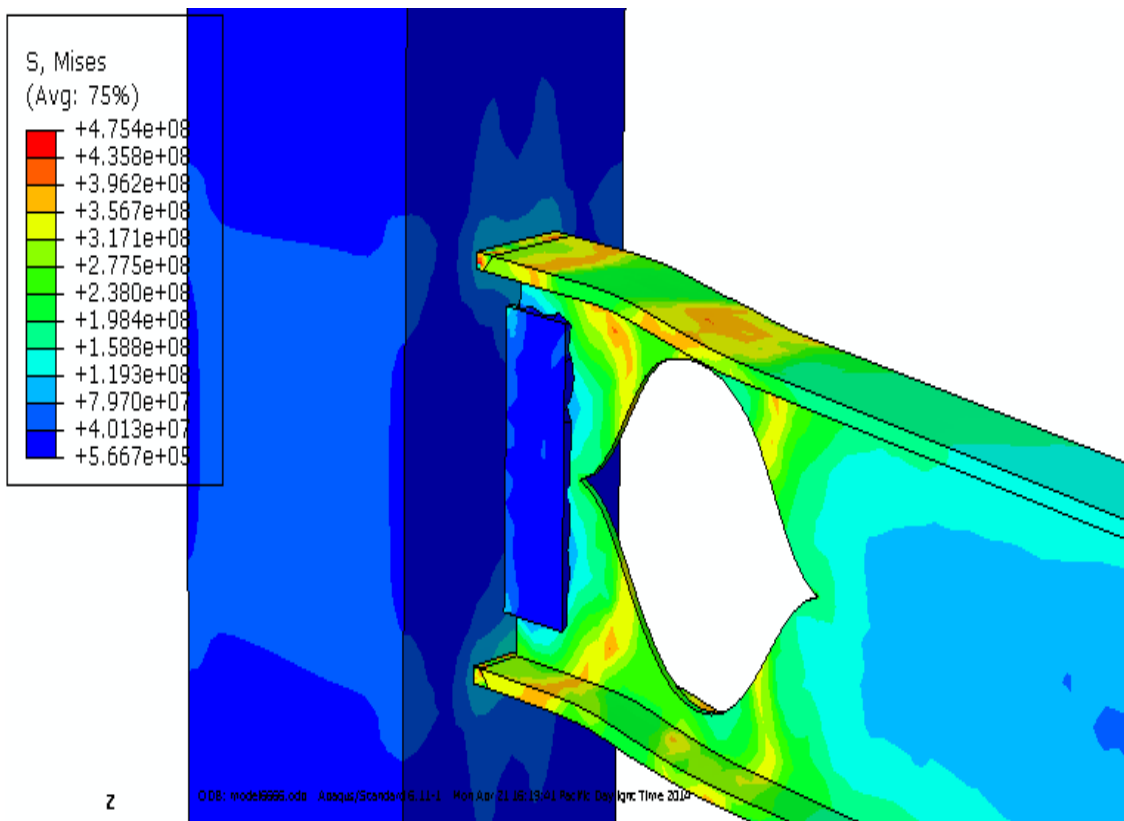
شکل ۴-۲۶- توزیع تنش - معیار فون مایسز مدل RBS1-WH

شکل ۴-۲۶ توزیع کانتوری معیار فون مایسز برای نوع دوم اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سوراخ ترکیبی دایره و مربع در جان (RBS2-WH) را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز تنش در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. با توجه به شکل ۴-۲۶ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS2-WH نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش جان تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۴۴۷۰ ، ۲۶۰۰ و ۴۰۰ مگاپاسکال می باشد. همان گونه که پیش تر گفته شد، ماهیت روش کاهش جان انتقال تنش از اتصال به تیر است بنابراین این مدل توزیع تنش مناسبی را برای اتصال نشان می دهد زیرا تمرکز آن در تیر می باشد. هم چنین اتصال RBS3-VH در مقایسه با اتصال با کاهش شعاعی جان و اتصال کاهش یافته با استفاده از سوراخ دایره ای در جان عملکرد مناسب تری را نشان می دهد زیرا انتقال تنش را بهتر انجام می دهد. لازم به ذکر است که اجرای این نوع کاهش به سادگی امکان پذیر است.



شکل ۴-۲۷- توزیع تنش - معیار فون مایسز مدل RBS2-WH

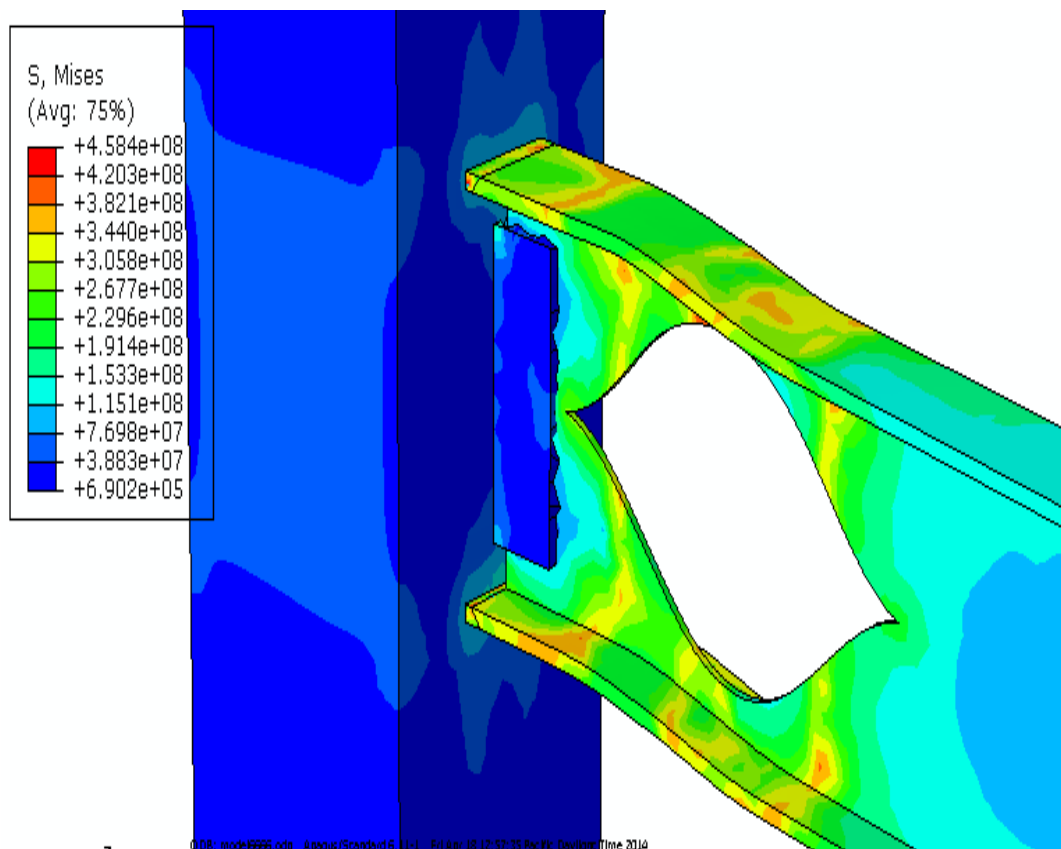
شکل ۴-۲۸ توزیع کانتوری معیار فون مایسز برای نوع اول اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سینوسی (RBS1-S) را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز تنش در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. با توجه به شکل ۴-۲۸ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS1-S نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش جان تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۴۷۰۰، ۲۶۰۰ و ۴۰۰ مگاپاسکال می باشد. همان گونه که پیش تر گفته شد، ماهیت روش کاهش جان انتقال تنش از اتصال به تیر است بنابراین این مدل توزیع تنش مناسبی را برای اتصال نشان می دهد زیرا تمرکز آن در تیر می باشد. هم چنین اتصال RBS1-S در مقایسه با اتصال با کاهش شعاعی جان و اتصال کاهش یافته با استفاده از سوراخ دایره ای در جان عملکرد مناسب تری را نشان می دهد زیرا انتقال تنش را بهتر انجام می دهد. لازم به ذکر است که اجرای این نوع کاهش به سادگی امکان پذیر است.



شکل ۴-۲۸- توزیع تنش- معیار فون مایسز مدل RBS1-S

شکل ۴-۲۹ توزیع کانتوری معیار فون مایسز برای نوع اول اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سینوسی (RBS1-S) را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز تنش در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر تمرکز تنش از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. با توجه به شکل ۴-۲۹ می توان دریافت که تمرکز تنش در چشمه اتصال برای مدل RBS1-S نسبت به مدل ORC کاهش یافته است، این بدان معناست که کاهش جان تیر از تنش وارد به چشمه اتصال می کاهد. مطابق شکل مشاهده می شود که اندازه تنش در ناحیه کاهش یافته، اتصال و چشمه اتصال به ترتیب ۴۶۰۰، ۲۶۰۰ و ۴۰۰ مگاپاسکال می باشد. همان گونه که پیش تر گفته شد، ماهیت روش کاهش جان انتقال تنش از اتصال به تیر است بنابراین این مدل توزیع تنش مناسبی را برای اتصال نشان می دهد زیرا تمرکز آن در تیر می باشد. هم چنین اتصال RBS1-S در مقایسه با اتصال با کاهش شعاعی جان و اتصال کاهش یافته با استفاده از سوراخ دایره ای در جان عملکرد مناسب تری را نشان می دهد زیرا انتقال تنش را بهتر انجام می دهد. لازم به ذکر است که اجرای این نوع کاهش به سادگی امکان پذیر است.

با توجه توزیع تنش در کلیه اتصالات با کاهش جان می توان دریافت که کاهش جان به صورت سوراخ با فرم سینوسی (RBS-S) تمرکز تنش را با کیفیت بهتری از اتصال به تیر منتقل می کند. هم چنین مشاهده گردید که اتصالات RBS-S کمترین تنش را به جوش و چشمه اتصال وارد می کنند.



شکل ۴-۲۹- توزیع تنش- معیار فون مایسز مدل RBS2-VH

۴-۴-۴- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ)

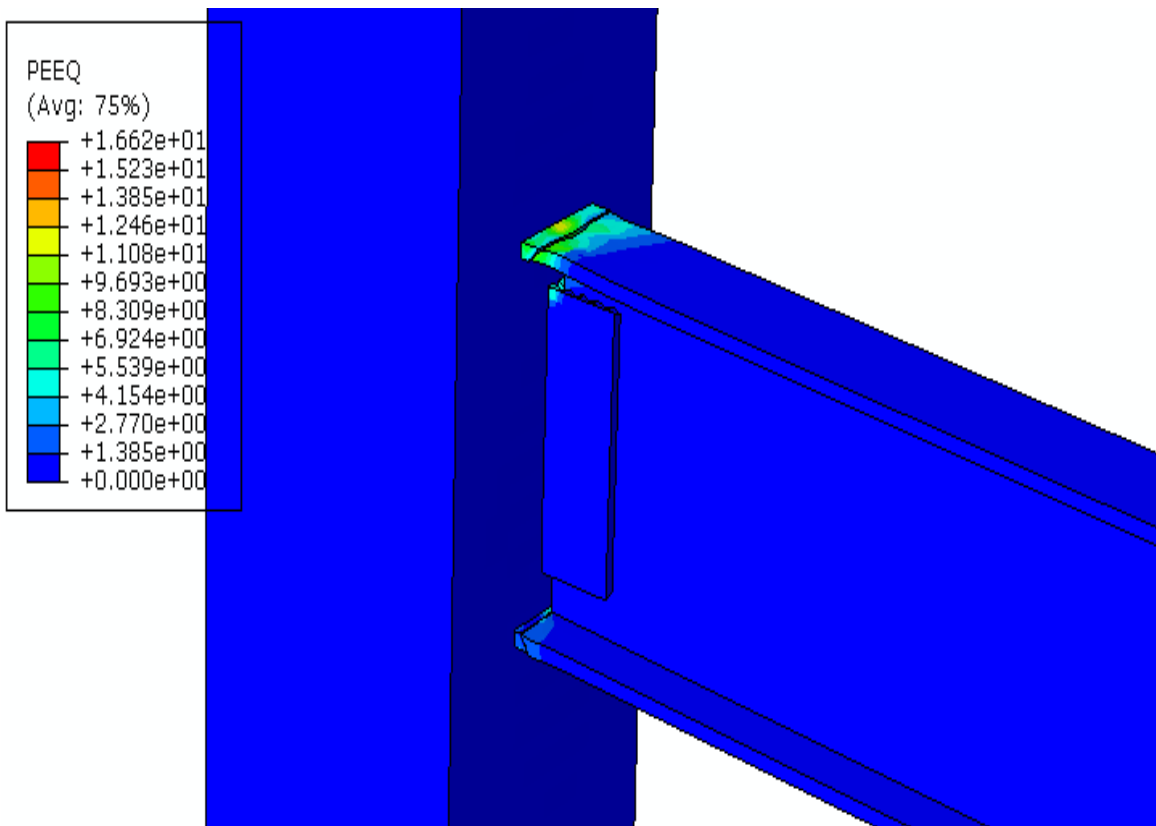
PEEQ مخفف عبارت کرنش پلاستیک معادل است که از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$PEEQ = \sqrt{\frac{2}{3} \varepsilon_{ij} \varepsilon_{ij}} \quad ۴-۴$$

که در آن ε_{ij} ترکیب کرنش پلاستیک در دو جهت 1 و 2 است.

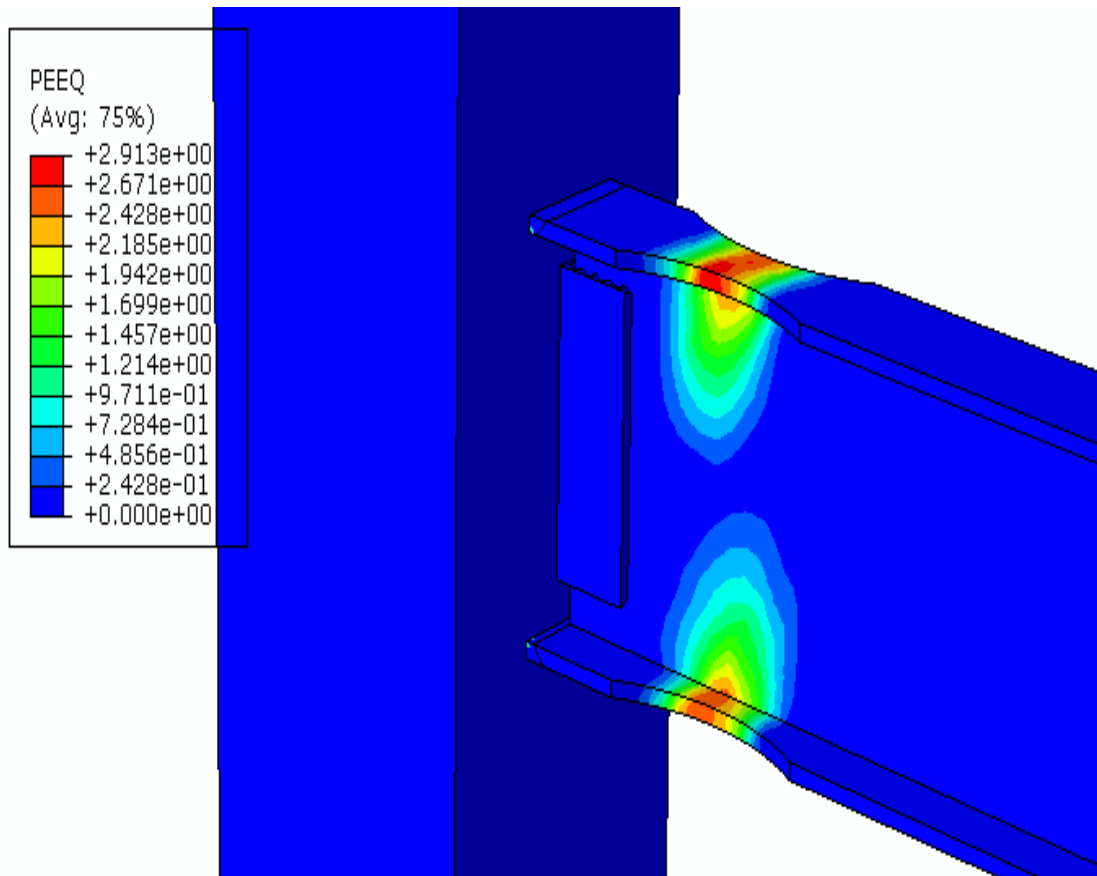
۴-۴-۵- نمایش کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) برای مدل های با مقطع بال کاهش یافته

همان گونه که پیش تر گفته شد هدف از اتصال با مقطع کاهش یافته انتقال تمرکز تنش و مفصل پلاستیک از ناحیه اتصال به درون تیر است. شکل ۴-۳۰ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای اتصال صلب معمولی (ORC) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در جوش اتصال تیر به ستون و صفحه اتصال تیر به ستون قرار دارد. این تمرکز تنش در ناحیه اتصال به آن معنی است که مفصل پلاستیک در ناحیه اتصال تشکیل می شود که این مفصل پلاستیک باعث فروریختن سازه می شود.



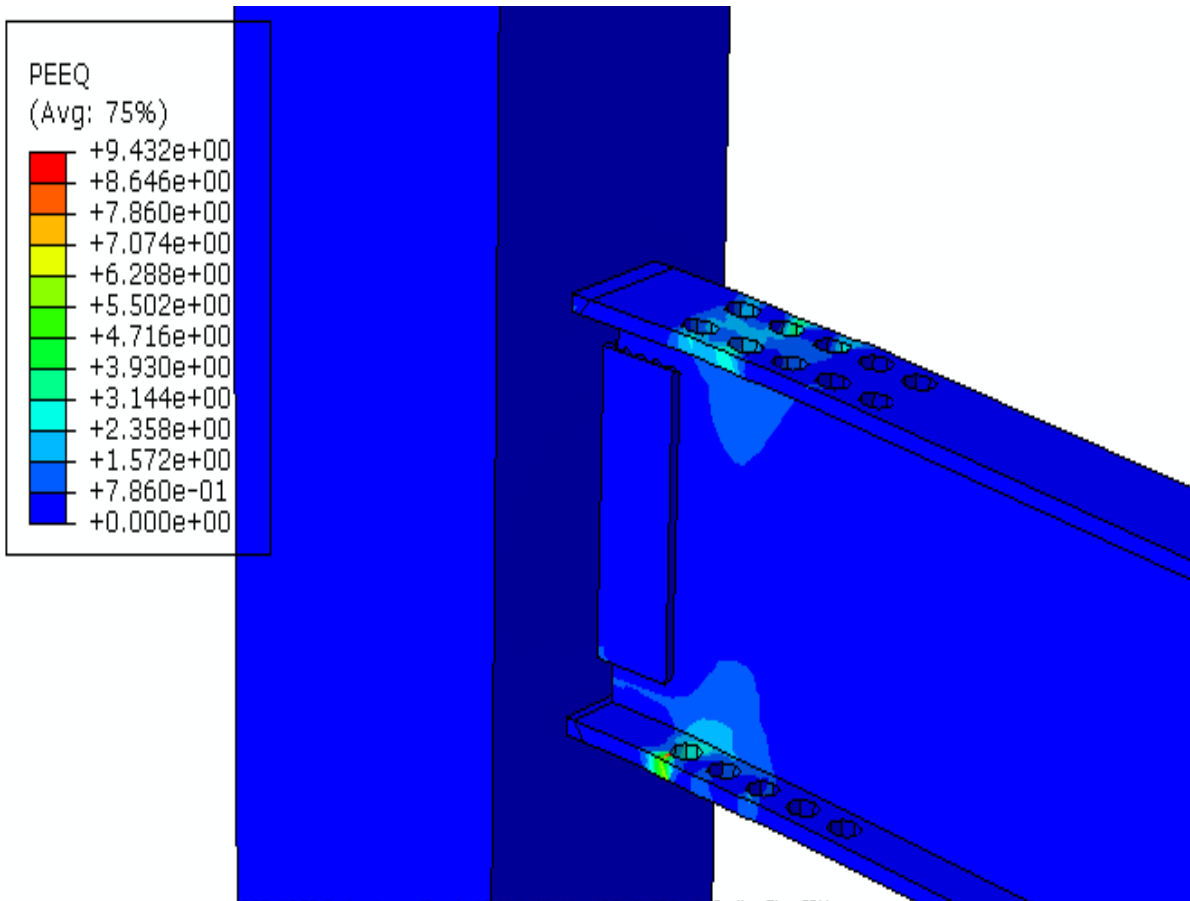
شکل ۴-۳۰- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل ORC

شکل ۴-۳۱ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت شعاعی (RBS) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است. مطابق شکل ۴-۳۱ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل $2/91$ می باشد.



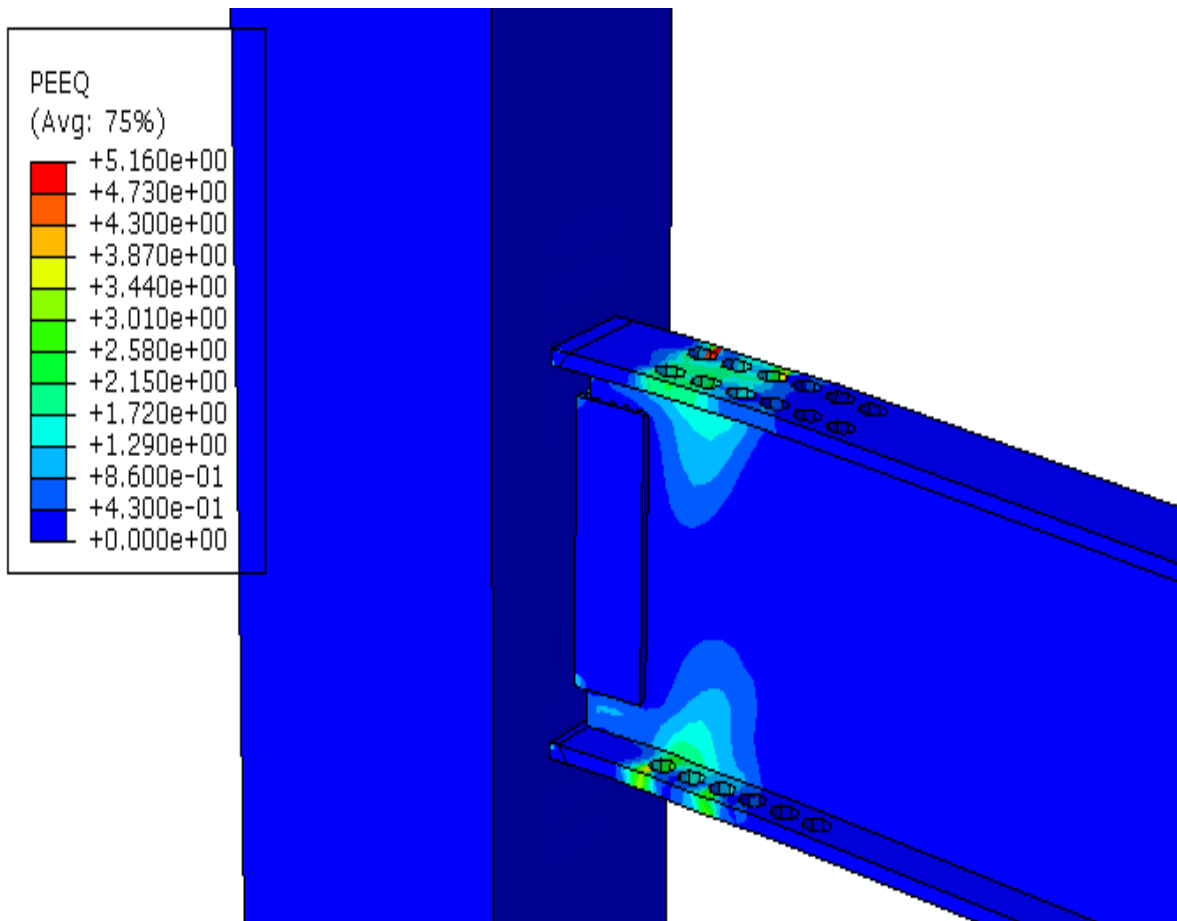
شکل ۴-۳۱- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS

شکل ۴-۳۲ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و یکسان (RBS1-SH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است و در تیر گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۳۲ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۹/۴ می باشد.



شکل ۴-۳۲- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS1-SH

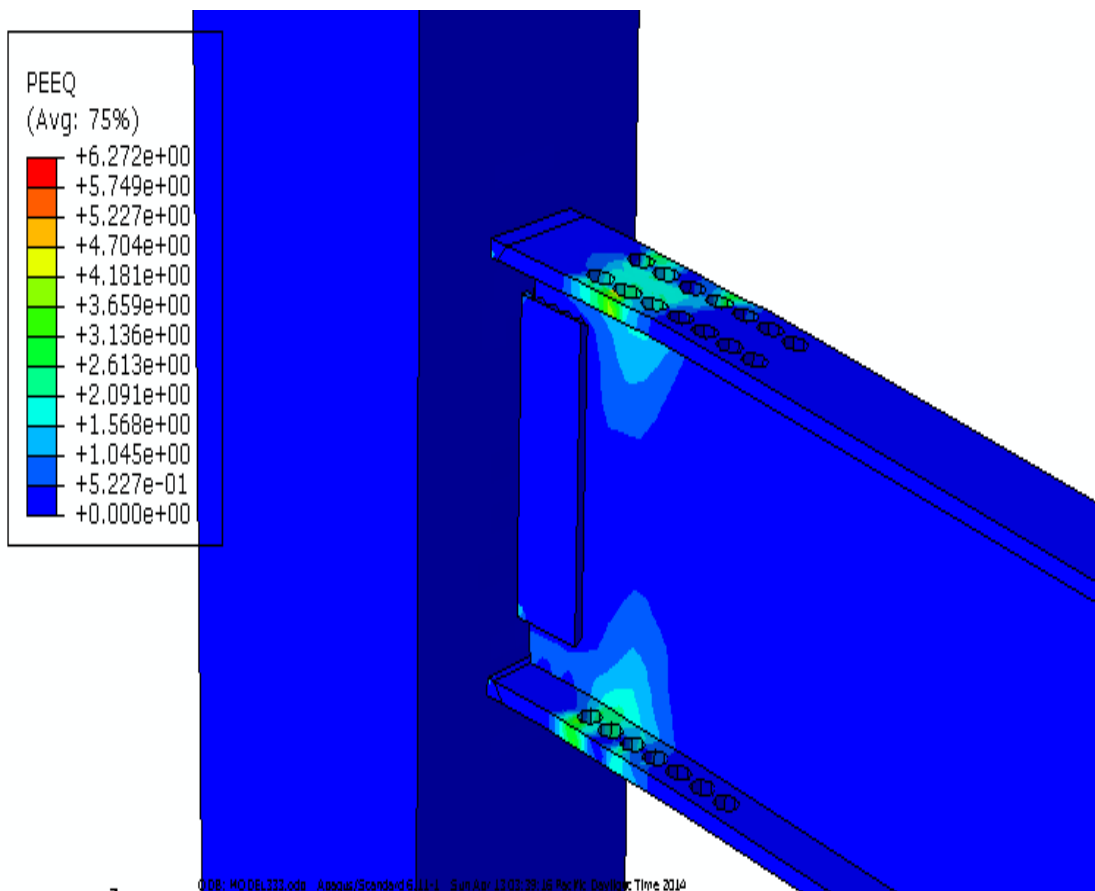
شکل ۴-۳۳ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای نوع دوم اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و یکسان (RBS2-SH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است و در تیر گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۳۳ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۵/۱ می باشد.



شکل ۴-۳۳- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS2-SH

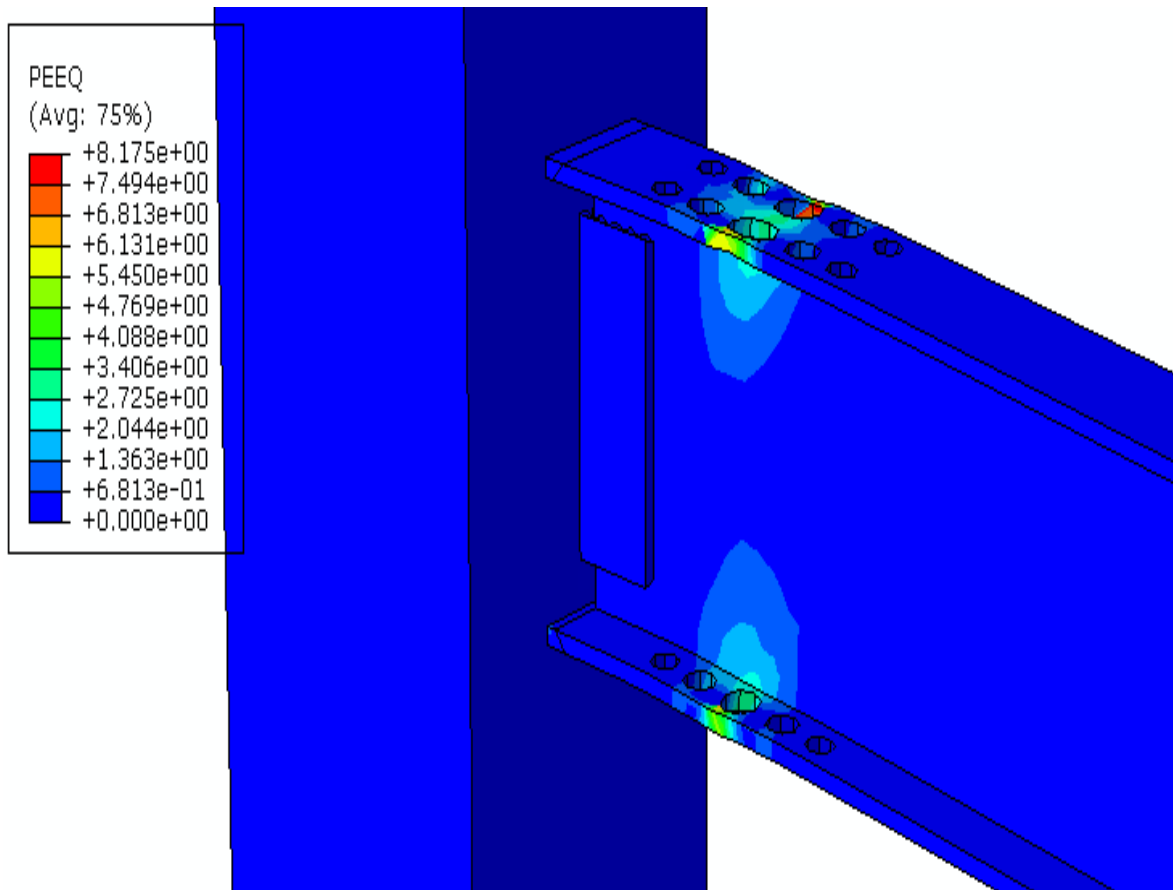
شکل ۴-۳۴ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای نوع سوم اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و یکسان (RBS3-SH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است و در تیر گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۳۴ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۶/۲ می باشد.

با توجه به شکل های توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصالات با کاهش بال به صورت دایره های متوالی و یکسان مشاهده شد که بخش اندکی از کرنش پلاستیک به سمت اتصال گسترش یافته است.



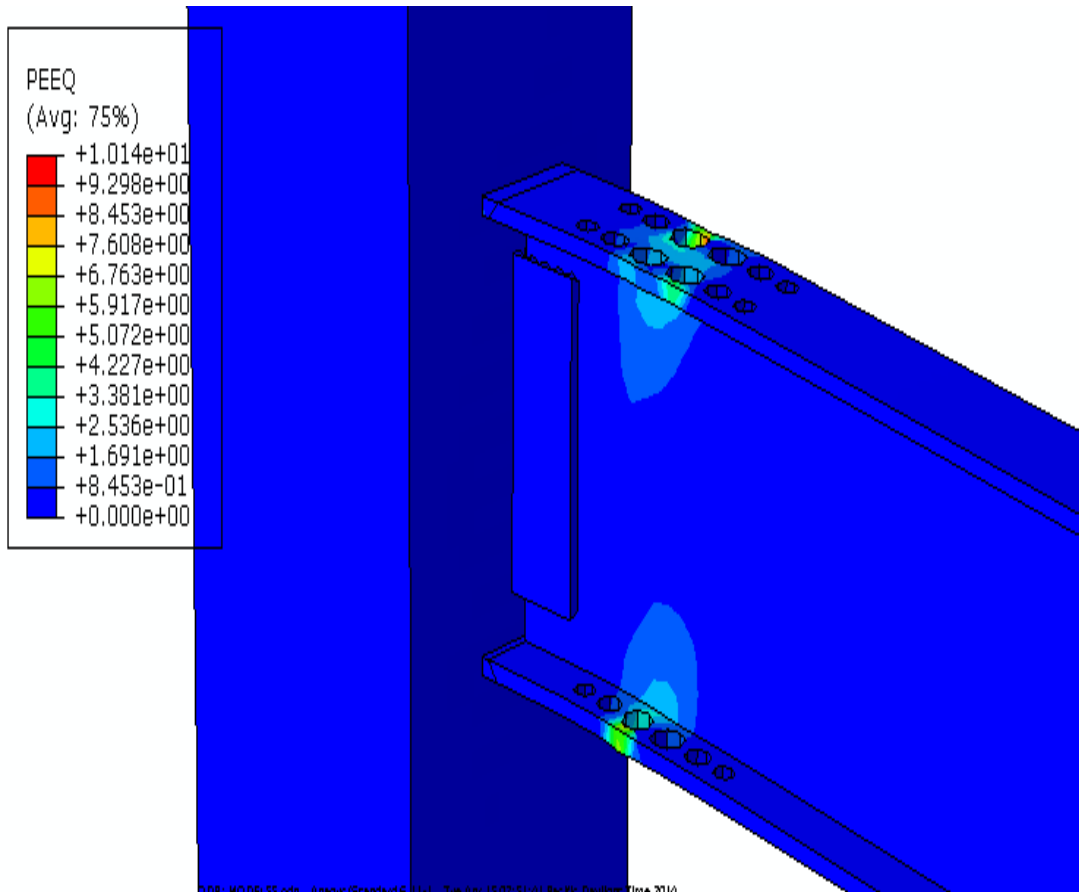
شکل ۴-۳۴- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS3-SH

شکل ۴-۳۵ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای نوع اول اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و متغیر که شعاع آن ها ابتدا افزایش سپس کاهش می یابد (-RBS1 VH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است و در تیر گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۳۵ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۸/۱ می باشد. هم چنین مشاهده می شود که اثری از گسترش مفصل پلاستیک به سمت اتصال وجود ندارد.



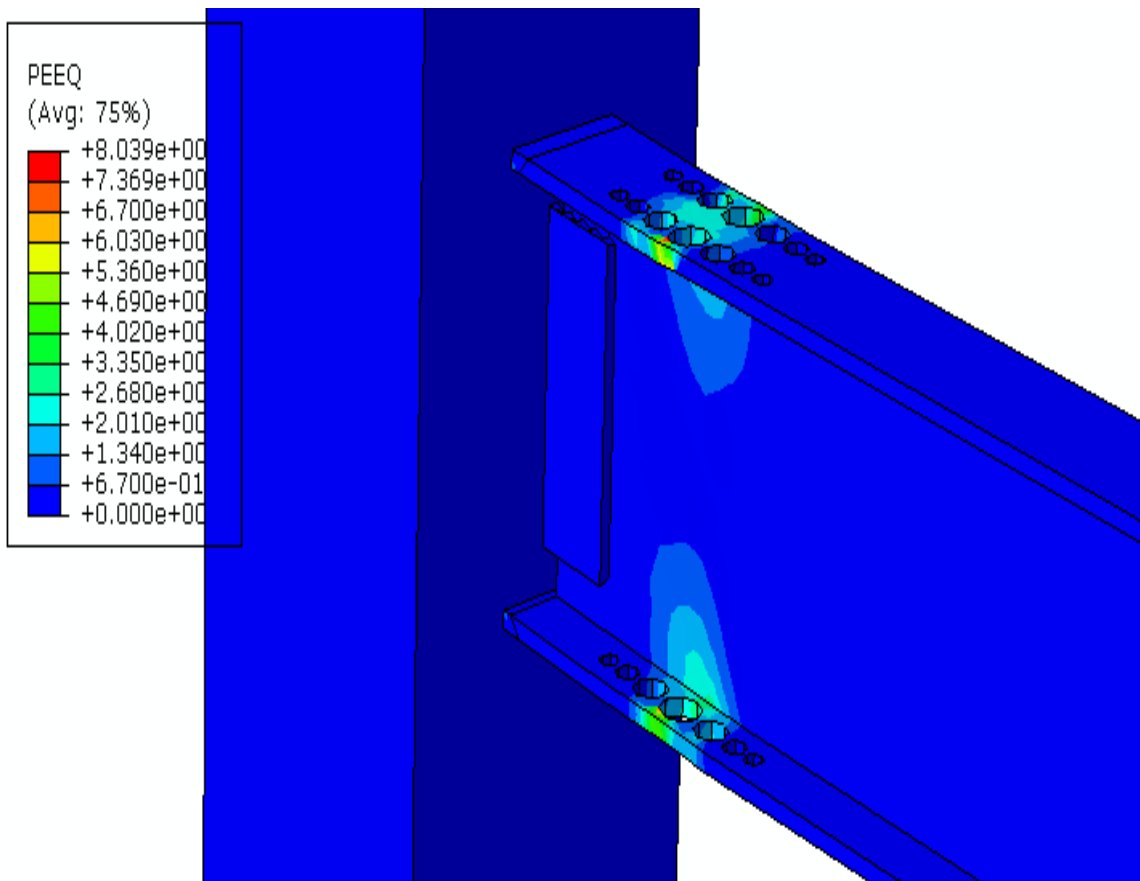
شکل ۴-۳۵- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS1-VH

شکل ۴-۳۶ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای نوع دوم اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و متغیر که شعاع آن ها ابتدا افزایش سپس کاهش می یابد (-RBS2 VH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است و در تیر گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۳۶ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۱۰/۱ می باشد. هم چنین مشاهده می شود که اثری از گسترش مفصل پلاستیک به سمت اتصال وجود ندارد.



شکل ۴-۳۶- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS2-VH

شکل ۴-۳۷ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای نوع دوم اتصال صلب با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و متغیر که شعاع آن ها ابتدا افزایش سپس کاهش می یابد (-RBS3 VH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است و در تیر گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۳۷ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۸ می باشد. هم چنین مشاهده می شود که اثری از گسترش مفصل پلاستیک به سمت اتصال وجود ندارد. با توجه به شکل های توزیع کرنش پلاستیک معادل در اتصالات با کاهش بال به صورت دایره های متوالی و متغیر مشاهده شد که مفصل پلاستیک را با کیفیت برتری نسبت به دیگر اتصالات با کاهش بال منتقل می کند.

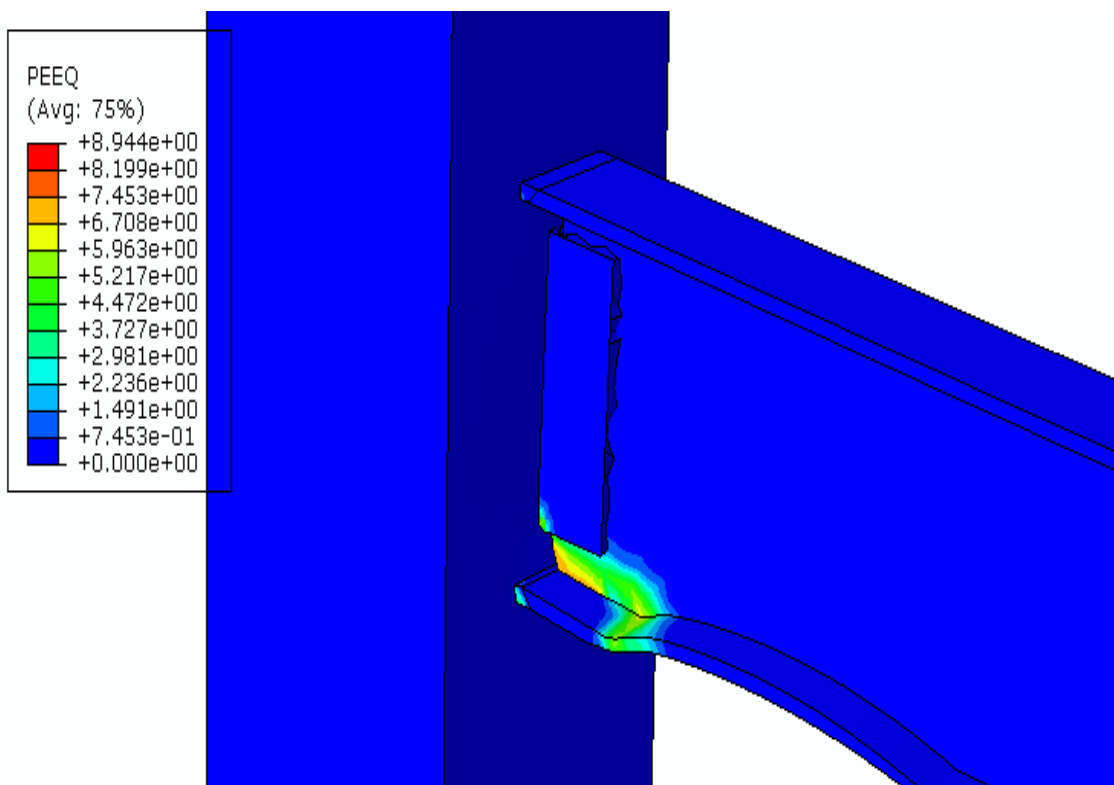


شکل ۴-۳۷- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS3-VH

۴-۴-۶- نمایش کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) برای مدل های با مقطع جان کاهش

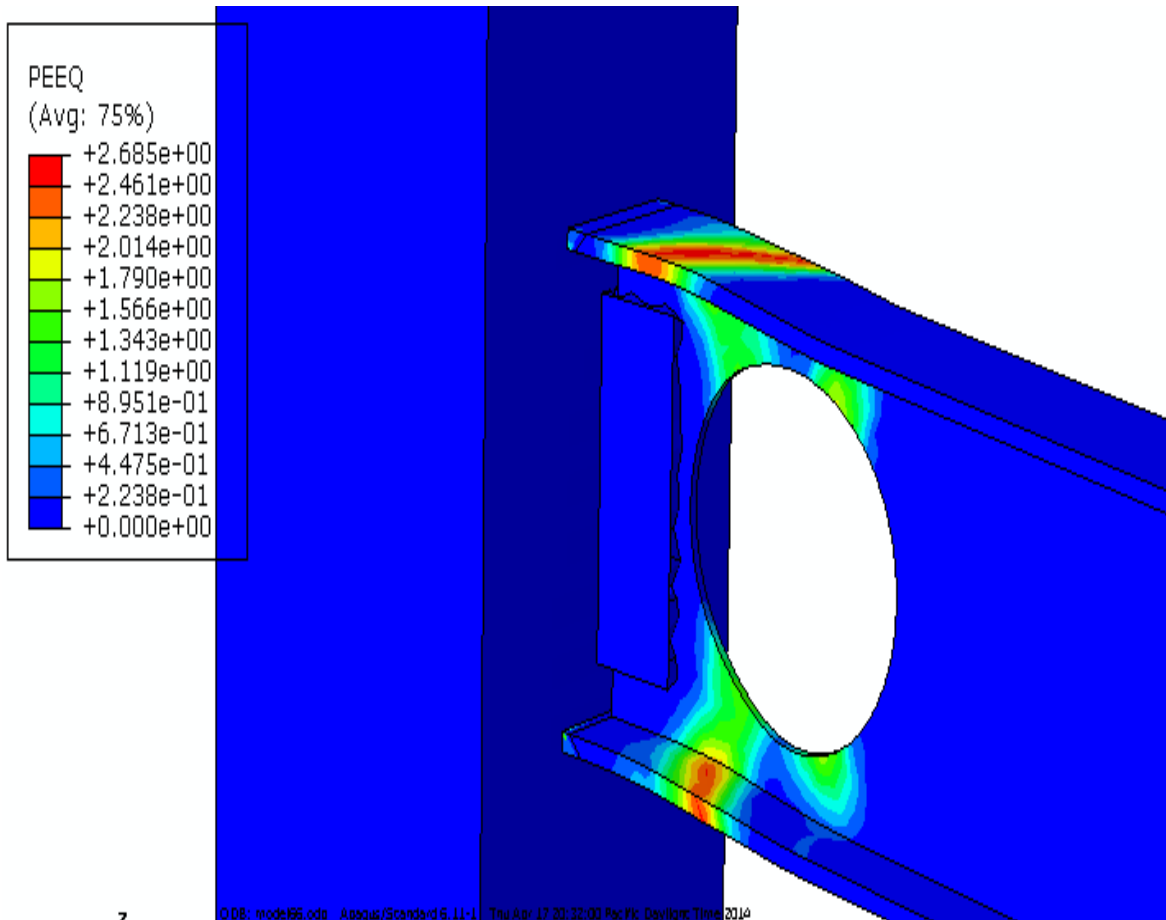
یافته

شکل ۴-۳۱ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت شعاعی (RBS) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار می گیرد سپس به سمت ناحیه اتصال گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۳۱ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۸/۹۱ می باشد.



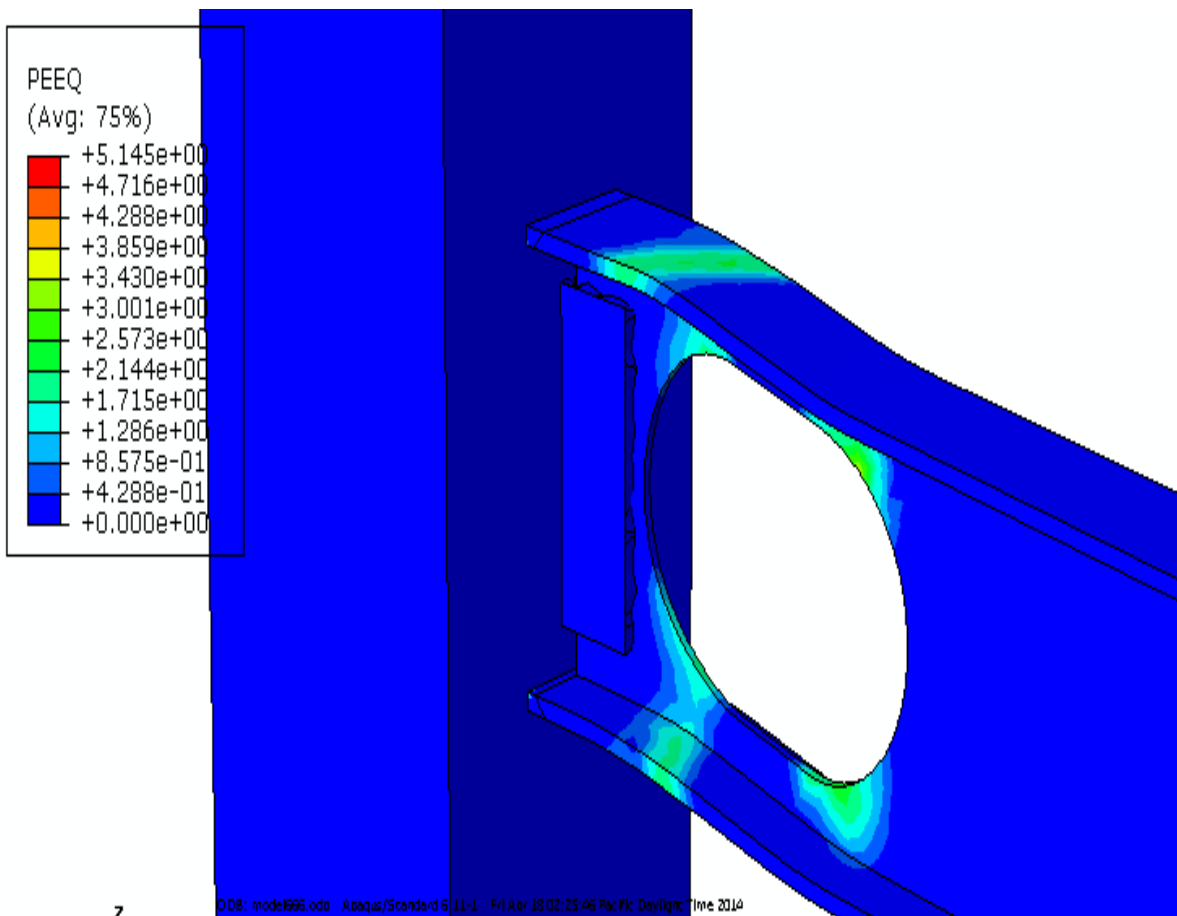
شکل ۴-۳۸- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS-W

شکل ۴-۳۹ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سوراخ دایره ای در جان (RBS1-WH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است و در تیر گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۳۹ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۲/۶ می باشد. هم چنین مشاهده می شود که اثری از گسترش مفصل پلاستیک به سمت اتصال وجود ندارد.



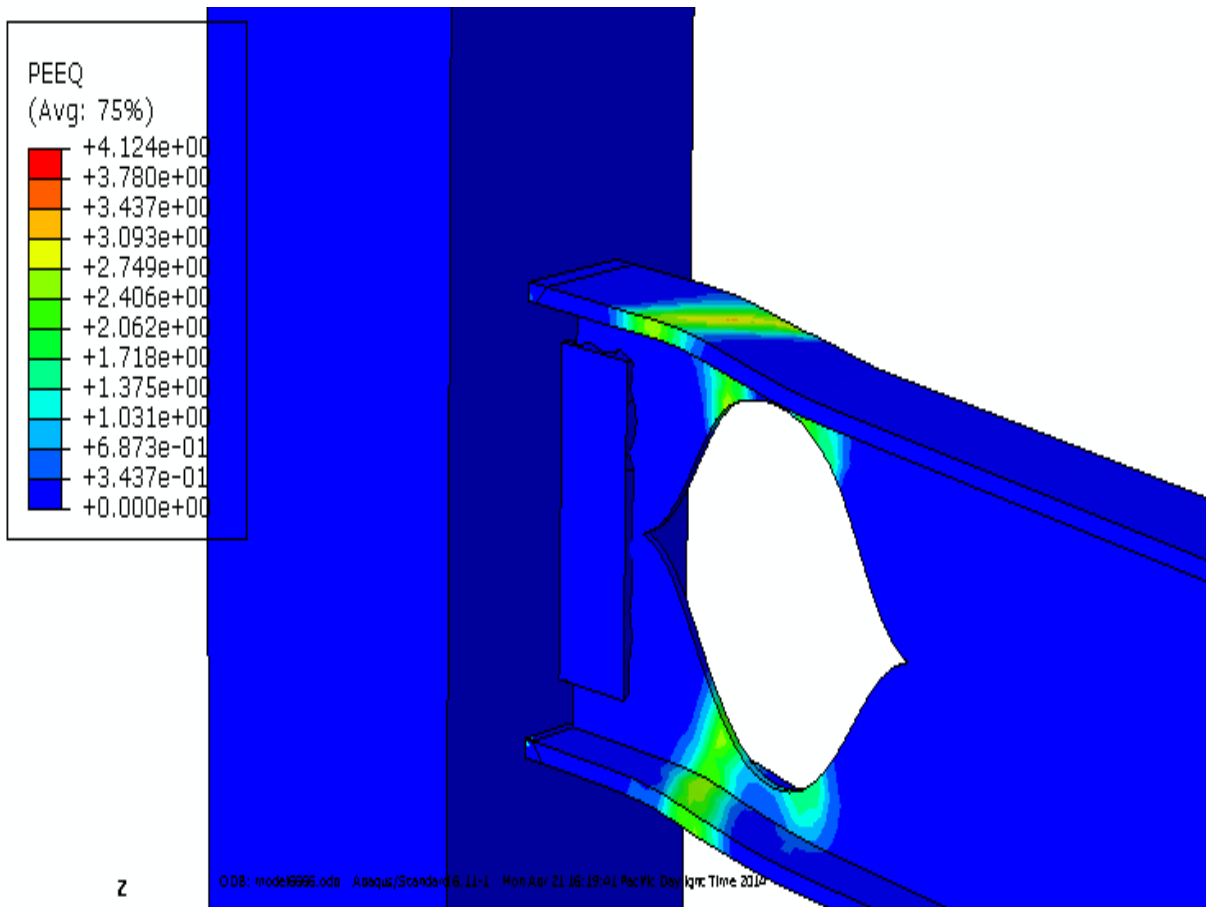
شکل ۴-۳۹- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS1-WH

شکل ۴-۴۰ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای نوع دوم اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سوراخ ترکیبی دایره و مربع در جان (RBS2-WH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است و در تیر گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۴۰ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۵/۱ می باشد. هم چنین مشاهده می شود که اثری از گسترش مفصل پلاستیک به سمت اتصال وجود ندارد.



شکل ۴-۴۰- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS2-WH

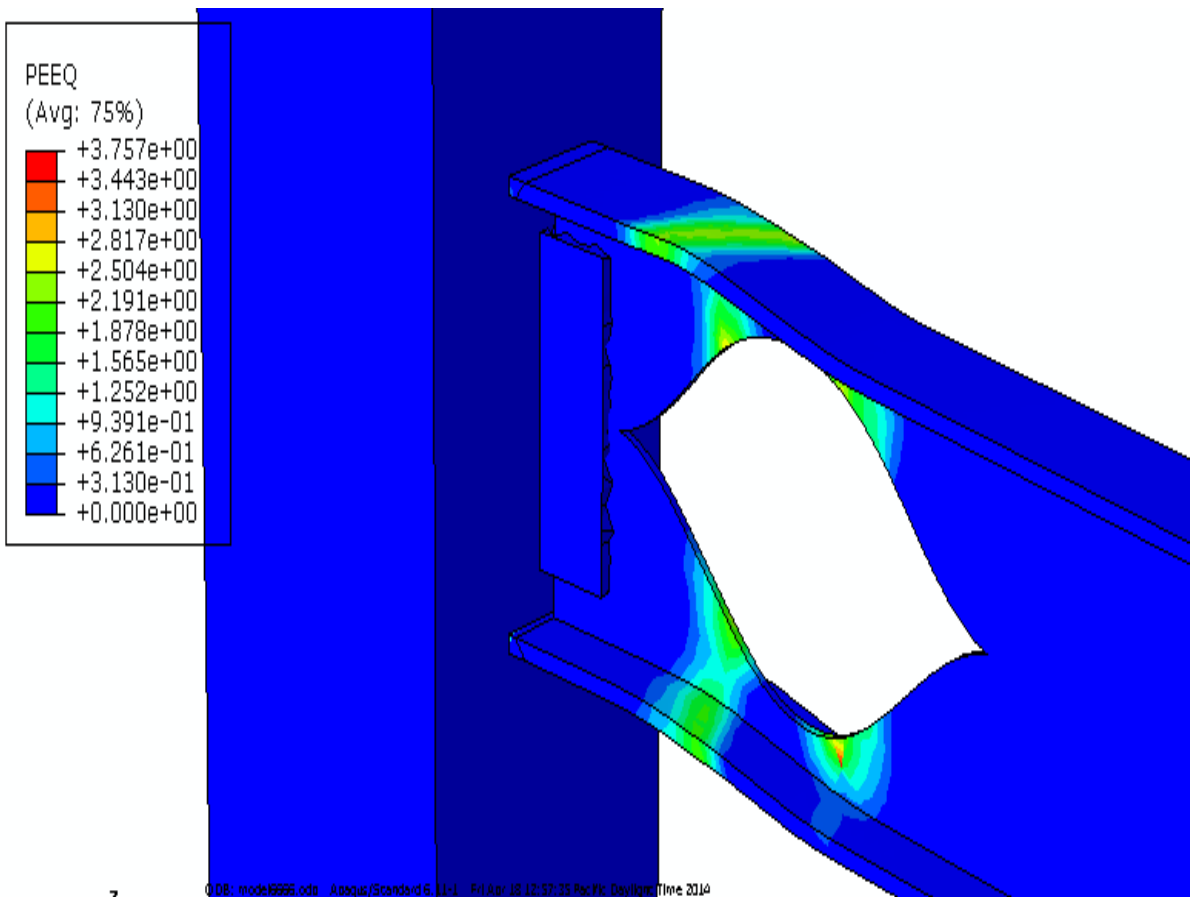
شکل ۴-۴۱ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای نوع اول اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سینوسی (RBS1-S) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است و در تیر گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۴۱ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۴/۱ می باشد. هم چنین مشاهده می شود که اثری از گسترش مفصل پلاستیک به سمت اتصال وجود ندارد.



شکل ۴-۴۱- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS1-S

شکل ۴-۴ توزیع کانتوری کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) را برای نوع اول اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سینوسی (RBS1-S) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود تمرکز کرنش پلاستیک معادل در ناحیه کاهش یافته قرار دارد. به عبارت دیگر مفصل پلاستیک از جوش اتصال تیر به ستون به ناحیه کاهش یافته منتقل شده است و در تیر گسترش می یابد. مطابق شکل ۴-۴ مشاهده می شود که مقدار کرنش پلاستیک معادل ۳/۷ می باشد. هم چنین مشاهده می شود که اثری از گسترش مفصل پلاستیک به سمت اتصال وجود ندارد.

با توجه توزیع کرنش پلاستیک معادل در کلیه اتصالات با کاهش جان می توان دریافت که کاهش جان به صورت سوراخ با فرم سینوسی (RBS-S) و ترکیب دایره و مربع (RBS-WH) مفصل پلاستیک را با کیفیت بهتری از اتصال به تیر منتقل می کند.

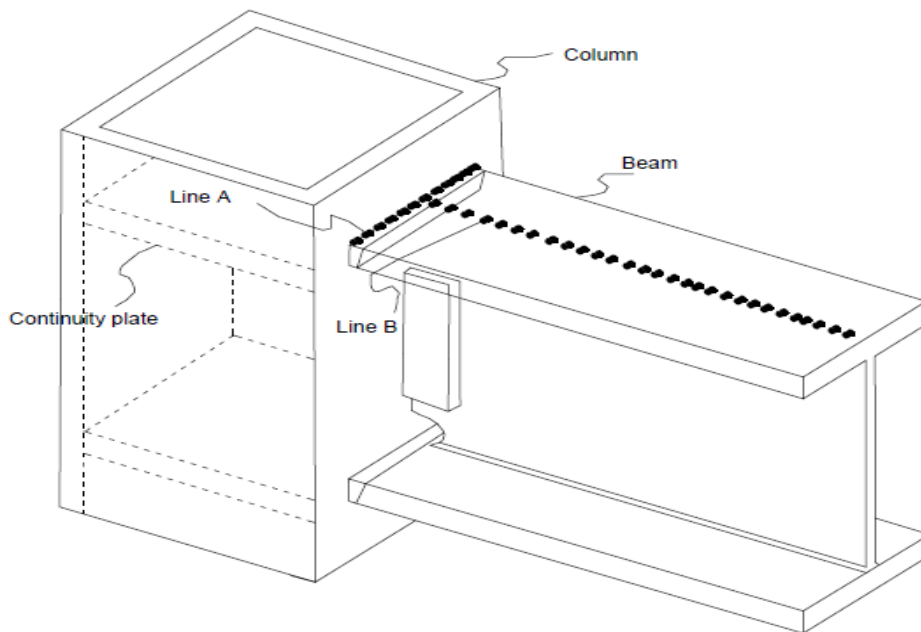


شکل ۴-۴- کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) مدل RBS2-S

۴-۵- بررسی نمودار تنش و کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) بر روی نوار جوش و تیر

شکل ۴-۴۳ اتصال صلب معمولی ORC را نشان می دهد که در آن Line A و Line B به ترتیب نوار بحرانی بر روی جوش اتصال تیر به ستون و نوار بر روی بال بالایی تیر و در جهت طول می باشد. در این بخش دو نوار بحرانی برای اتصال در نظر گرفته شده است که ابتدا تنش عمودی σ_{11} بر روی این دو نوار محاسبه شده سپس بر تنش تسلیم F_y تقسیم می شود. این عملیات در دو قسمت انجام می شود که در قسمت اول اتصال صلب معمولی (RBS) و اتصال با کاهش بال شعاعی (RBS) با اتصال با مقطع کاهش یافته به صورت دایره های یکسان (RBS-SH) مقایسه می شود و در قسمت دوم اتصال صلب معمولی (RBS) و اتصال با کاهش بال شعاعی (RBS) با اتصال با مقطع کاهش یافته به صورت دایره های متغیر (RBS-VH) مقایسه می گردد.

پس از مقایسه تنش، تمام مراحل فوق برای مقایسه کرنش پلاستیک معادل در نوارهای بحرانی میان مدل ها صورت می گیرد.

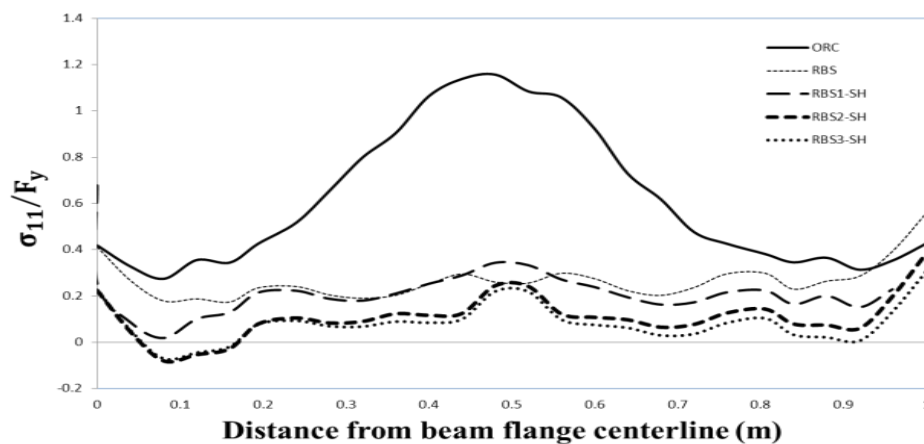


شکل ۴-۴۳- نوارهای بحرانی بر روی جوش و طول تیر

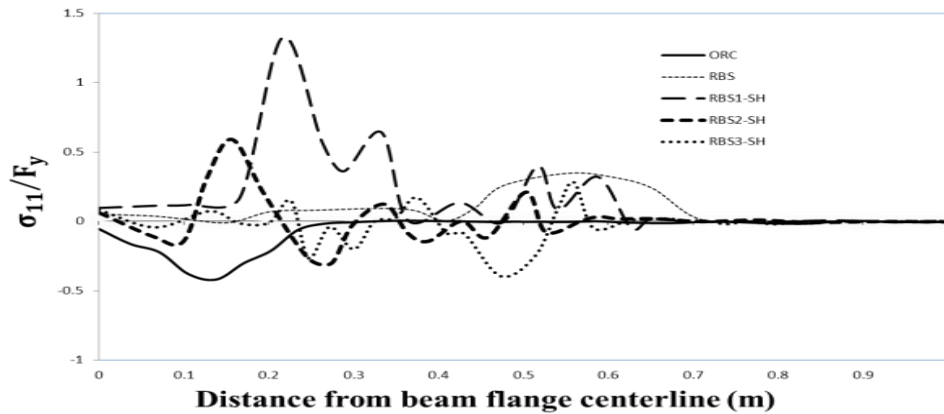
شکل ۴-۴۴-الف نمودار نسبت تنش عمود بر تنش تسلیم را بر روی نوار جوش اتصال تیر به ستون (Line A) نشان می دهد که در آن اتصال صلب معمولی (ORC) و اتصال با کاهش بال شعاعی (RBS) با اتصال با مقطع کاهش یافته به صورت دایره های یکسان (RBS-SH) مقایسه می شوند. همان گونه که مشاهده می شود تنها اتصال ORC نسبت تنش بیشتر از یک دارد، هم چنین اتصال RBS3-SH نسبت تنش کمتری نسبت به بقیه اتصالات دارد.

نسبت تنش عمود بر تنش تسلیم جوش در اتصال ORC نشان گر آن است که جوش وارد ناحیه پلاستیک می گردد، این در حالی است که جوش ناحیه اتصال در تمامی اتصالات با مقطع کاهش یافته با ضریب اطمینان بالا الاستیک باقی می ماند.

شکل ۴-۴۴-ب نمودار نسبت تنش عمود بر تنش تسلیم را بر روی نوار طول تیر (Line B) نشان می دهد که در آن اتصال صلب معمولی (ORC) و اتصال با کاهش بال شعاعی (RBS) با اتصال با مقطع کاهش یافته به صورت دایره های یکسان (RBS-SH) مقایسه می شوند. همان گونه که مشاهده می شود تنها اتصال RBS1-SH نسبت تنش بیشتر از یک دارد که نشان می دهد بخش زیادی از تمرکز تنش در فاصله مشخصی از اتصال دارد و مفصل پلاستیک در این ناحیه قرار می گیرد. هم چنین مشاهده می شود که برای بقیه اتصالات با مقطع کاهش یافته تمرکز تنش در طول ناحیه تیر است ولی برای اتصال صلب معمولی در تمرکز تنش در ابتدای تیر قرار دارد.



الف



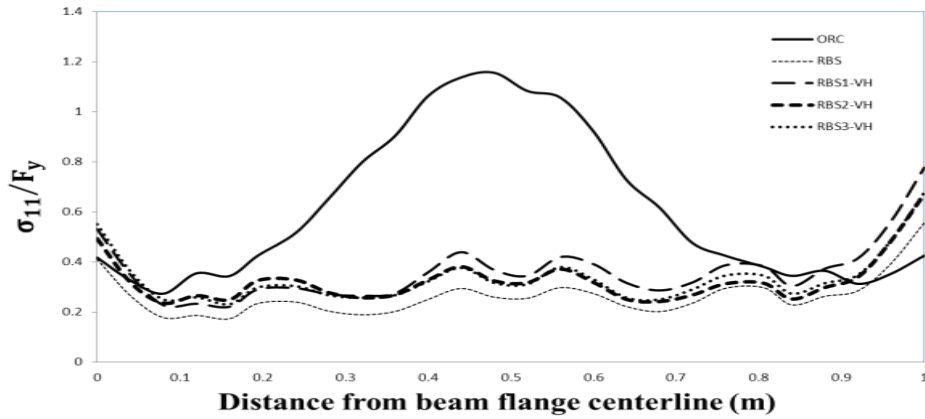
ب

شکل ۴-۴۴- بررسی تنش بر روی نوارهای بحرانی الف (Line A) ب (Line B)

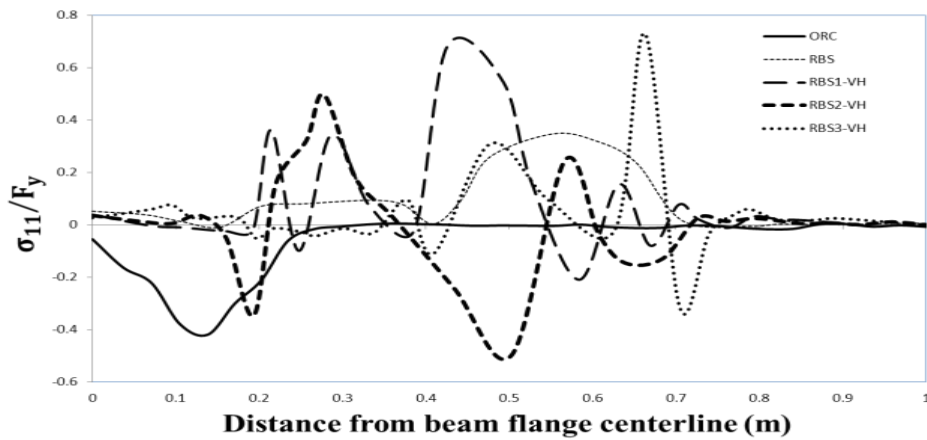
شکل ۴-۴۵- الف نمودار نسبت تنش عمود بر تنش تسلیم را بر روی نوار جوش اتصال تیر به ستون (Line A) نشان می دهد که در آن اتصال صلب معمولی (ORC) و اتصال با کاهش بال شعاعی (RBS) با اتصال با مقطع کاهش یافته به صورت دایره های متغییر (RBS-VH) مقایسه می شوند. همان گونه که مشاهده می شود تنها اتصال ORC نسبت تنش بیشتر از یک دارد، هم چنین اتصال RBS3-VH نسبت تنش کمتری نسبت به بقیه اتصالات دارد.

نسبت تنش عمود بر تنش تسلیم جوش در اتصال ORC نشان گر آن است که جوش وارد ناحیه پلاستیک می گردد، این در حالی است که جوش ناحیه اتصال در تمامی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته با ضریب اطمینان بالا الاستیک باقی می مانند.

شکل ۴-۴۵- ب نمودار نسبت تنش عمود بر تنش تسلیم را بر روی نوار طول تیر (Line B) نشان می دهد که در آن اتصال صلب معمولی (ORC) و اتصال با کاهش بال شعاعی (RBS) با اتصال با مقطع کاهش یافته به صورت دایره های متغییر (RBS-VH) مقایسه می شوند. همان گونه که مشاهده می شود اتصالات RBS-VH نسبت تنش بیشتر از یک دارند که نشان می دهد بخش زیادی از تمرکز تنش در فاصله مشخصی از اتصال دارد و مفصل پلاستیک در این ناحیه قرار می گیرد.



الف

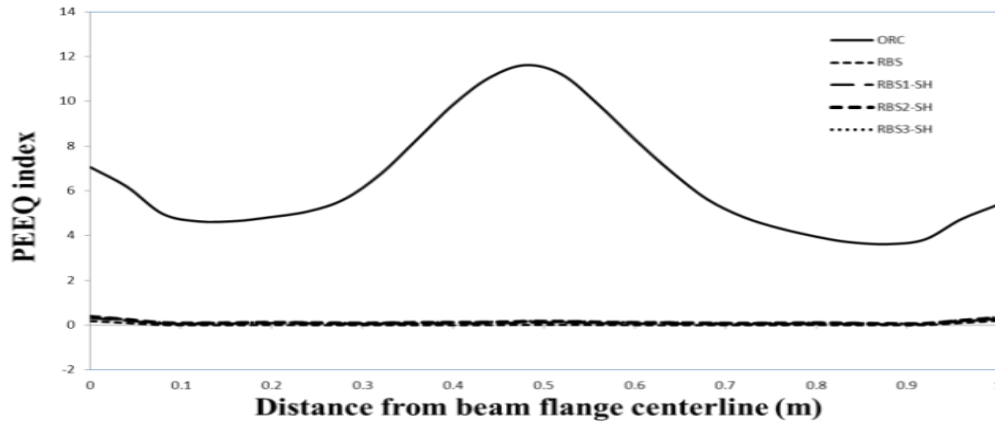


ب

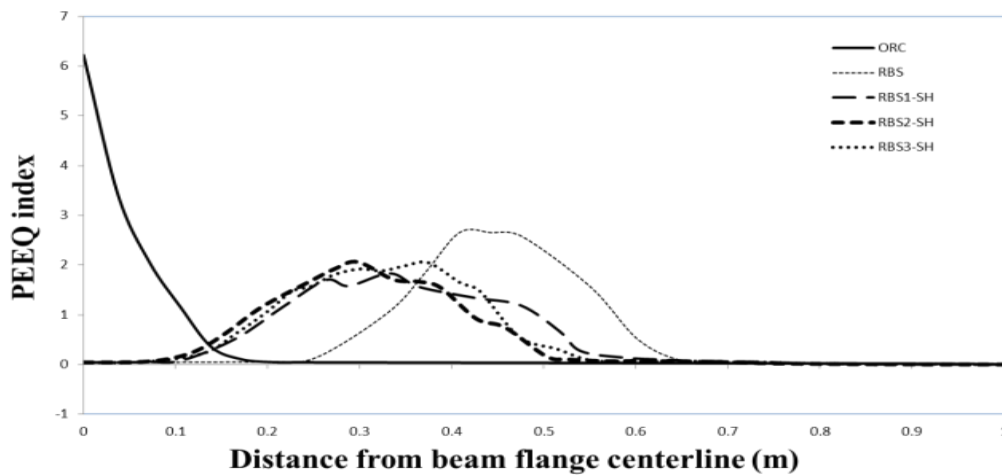
شکل ۴-۴۵- بررسی تنش بر روی نوارهای بحرانی الف) Line A (ب) Line B

شکل ۴-۴۶- الف نمودار کرنش پلاستیک معادل را بر روی نوار جوش اتصال تیر به ستون (Line A) نشان می دهد که در آن اتصال صلب معمولی (ORC) و اتصال با کاهش بال شعاعی (RBS) با اتصال با مقطع کاهش یافته به صورت دایره های یکسان (RBS-SH) مقایسه می شوند. همان گونه که مشاهده می شود مفصل پلاستیک تنها اتصال ORC تشکیل می شود.

شکل ۴-۴۶- ب نمودار کرنش پلاستیک معادل را بر روی نوار طول تیر (Line B) نشان می دهد که در آن اتصال صلب معمولی (ORC) و اتصال با کاهش بال شعاعی (RBS) با اتصال با مقطع کاهش یافته به صورت دایره های یکسان (RBS-SH) مقایسه می شوند. همان گونه که مشاهده می شود مفصل پلاستیک برای اتصالات با مقطع بال کاهش یافته در فاصله مشخصی از اتصال و درون تیر قرار دارد این در حالی است که مفصل پلاستیک اتصال صلب معمولی در اتصال اتفاق افتاده است.



الف

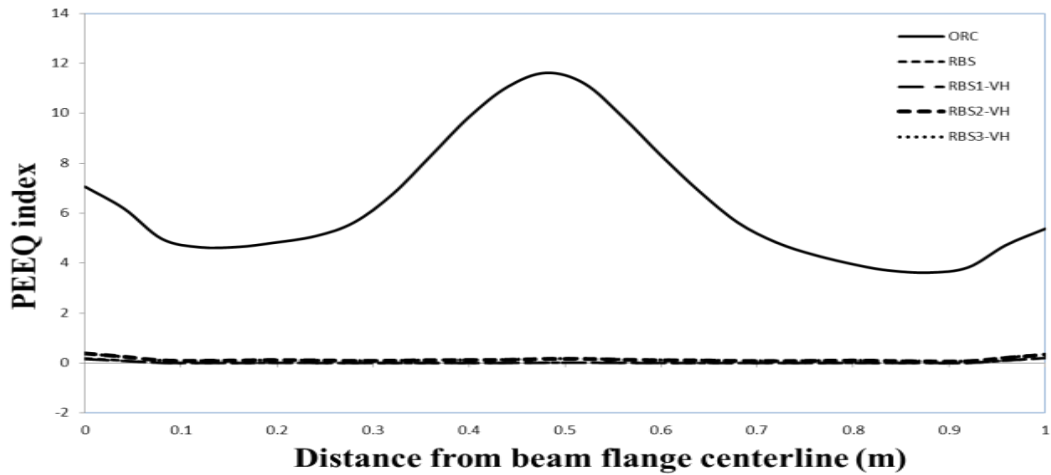


ب

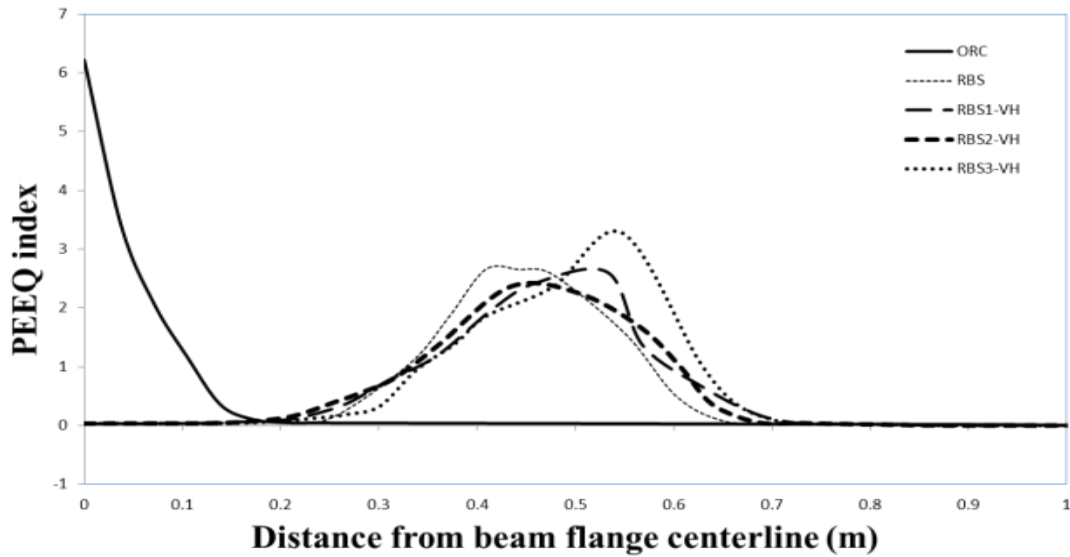
شکل ۴-۴۶- بررسی کرنش پلاستیک معادل بر روی نوارهای بحرانی الف (Line A) ب (Line B)

شکل ۴-۴۷- الف نمودار کرنش پلاستیک معادل را بر روی نوار جوش اتصال تیر به ستون (Line A) نشان می دهد که در آن اتصال صلب معمولی (ORC) و اتصال با کاهش بال شعاعی (RBS) با اتصال با مقطع کاهش یافته به صورت دایره های متغییر (RBS-VH) مقایسه می شوند. همان گونه که مشاهده می شود مفصل پلاستیک تنها اتصال ORC تشکیل می شود.

شکل ۴-۴۷- ب نمودار کرنش پلاستیک معادل را بر روی نوار طول تیر (Line B) نشان می دهد که در آن اتصال صلب معمولی (ORC) و اتصال با کاهش بال شعاعی (RBS) با اتصال با مقطع کاهش یافته به صورت دایره های متغییر (RBS-VH) مقایسه می شوند. همان گونه که مشاهده می شود مفصل پلاستیک برای اتصالات با مقطع کاهش یافته در فاصله مشخصی از اتصال و درون تیر قرار دارد این در حالی است که مفصل پلاستیک اتصال صلب معمولی در اتصال اتفاق افتاده است.



الف



ب

شکل ۴-۴۷- بررسی کرنش پلاستیک معادل بر روی نوارهای بحرانی الف) Line A (ب) Line B

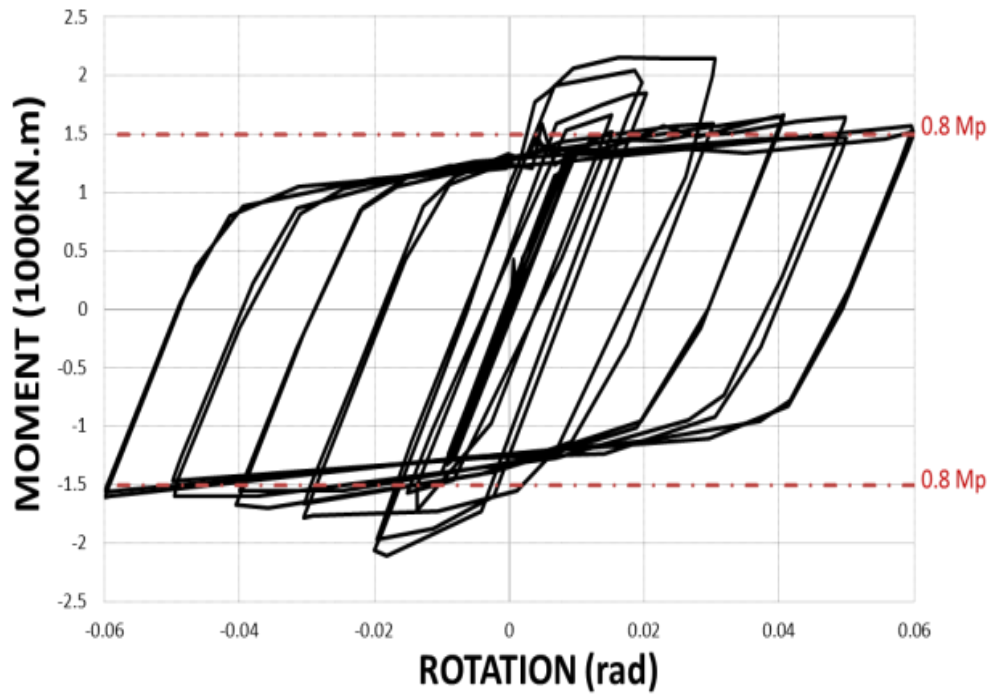
۴-۶- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر

۴-۶-۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر با مقطع بال کاهش یافته

بر اساس آئین نامه AISC (2005) [۱۰]، اتصالی که در هنگام چرخش 0.4% رادیان، مقاومتی بیش از 80% کل ظرفیت مقطع داشته باشد مورد پذیرش می باشد.

شکل ۴-۴۳ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای اتصال صلب معمولی ORC نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال ORC شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید.

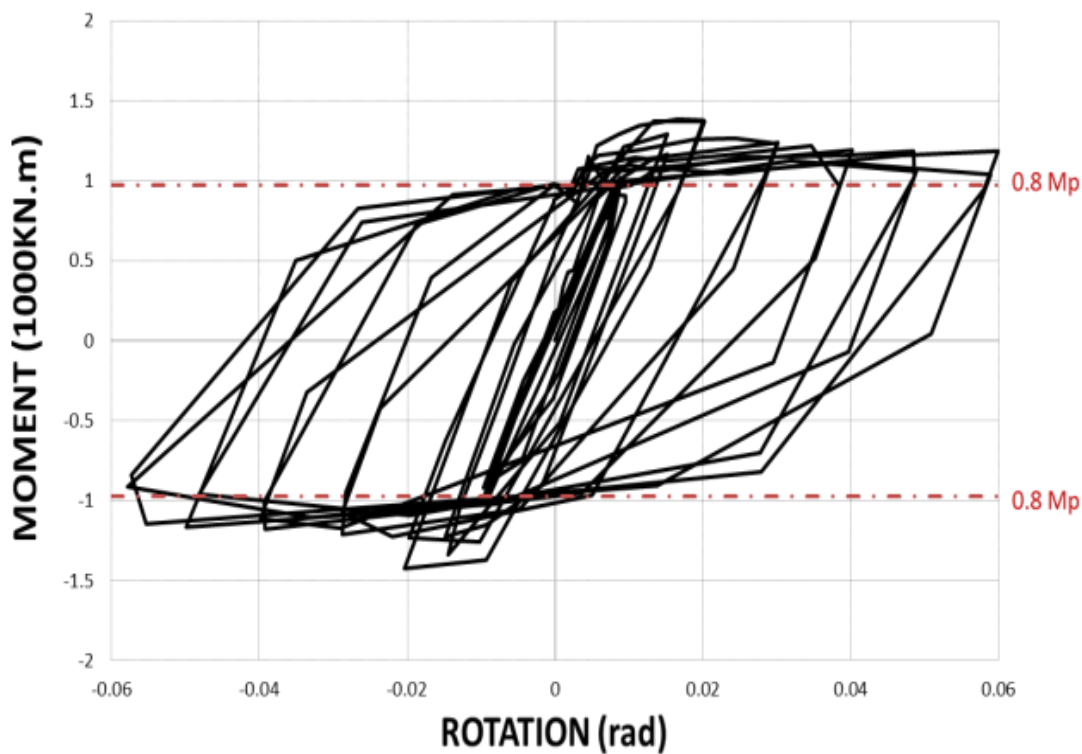
مطابق شکل ۴-۴۸ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی ناگهانی می گردد و شیب کاهش سختی بسیار زیاد است ولی پس از کاهش سختی ناگهانی، سخت شدگی مجدد در اتصال صورت می گیرد.



شکل ۴-۴۸- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل ORC

شکل ۴-۴۹ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای اتصال با کاهش شعاعی بال (RBS) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید.

مطابق شکل ۴-۴۹ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی ناگهانی نمی شود، بلکه شیب کاهش سختی ملایم است. با مقایسه دو نمودار چرخه ای اتصال ORC و اتصال RBS می توان نتیجه گرفت که اتصال RBS عملکرد لرزه ای بهتری دارد.

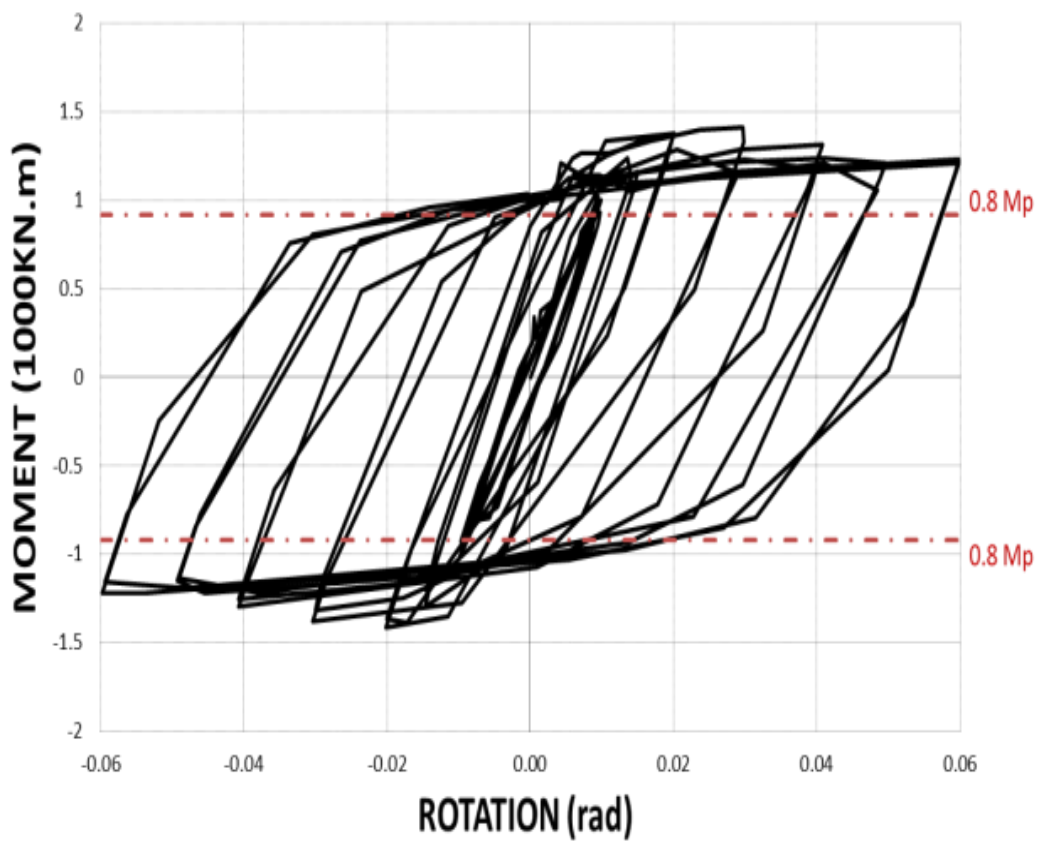


شکل ۴-۴۹- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS

شکل ۴-۵۰ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای اتصال با کاهش بال به صورت دایره های متوالی و یکسان (RBS1-SH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS1-SH شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید.

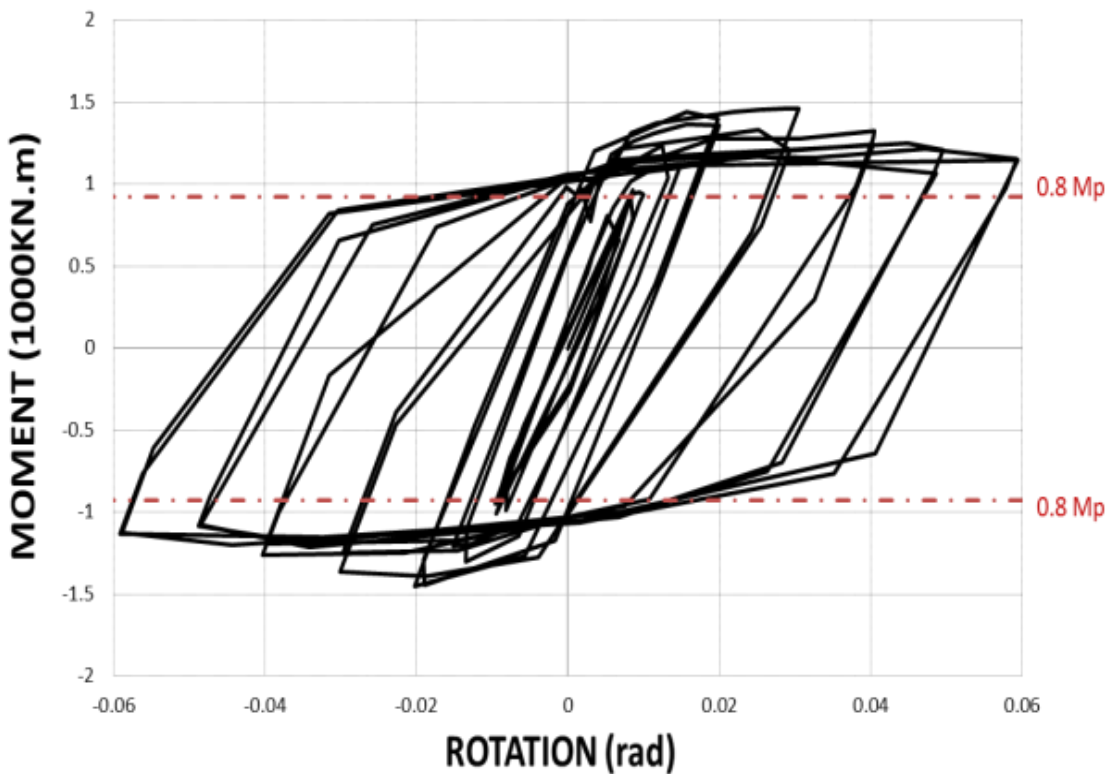
مطابق شکل ۴-۵۰ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی ناگهانی نمی شود، بلکه شیب کاهش سختی ملایم است.

با مقایسه دو نمودار چرخه ای اتصال ORC و اتصال RBS1-SH می توان نتیجه گرفت که اتصال RBS1-SH عملکرد لرزه ای بهتری دارد.



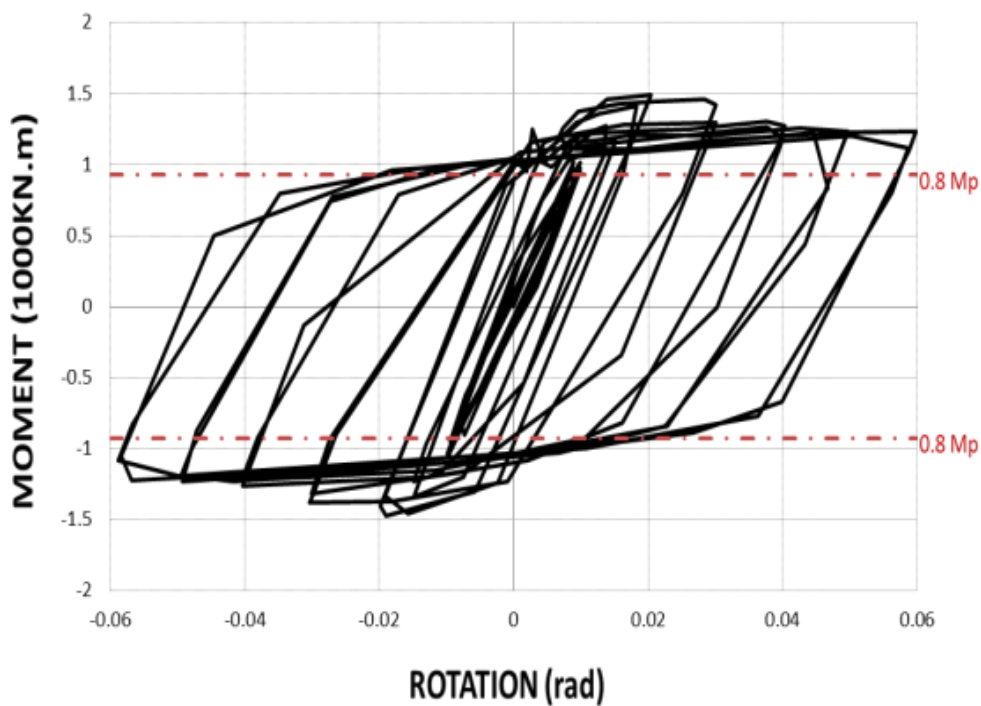
شکل ۴-۵۰- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS1-SH

شکل ۴-۵۱ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای نوع دوم اتصال با کاهش بال به صورت دایره های متوالی و یکسان (RBS2-SH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS2-SH شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید. مطابق شکل ۴-۵۱ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی ناگهانی نمی شود، بلکه شیب کاهش سختی ملایم است. با مقایسه دو نمودار چرخه ای اتصال ORC و اتصال RBS2-SH می توان نتیجه گرفت که اتصال RBS2-SH عملکرد لرزه ای بهتری دارد.



شکل ۴-۵۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS2-SH

شکل ۴-۵۲ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای نوع سوم اتصال با کاهش بال به صورت دایره های متوالی و یکسان (RBS3-SH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS3-SH شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید. مطابق شکل ۴-۵۲ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی ناگهانی نمی شود، بلکه شیب کاهش سختی ملایم است. با مقایسه دو نمودار چرخه ای اتصال ORC و اتصال RBS3-SH می توان نتیجه گرفت که اتصال RBS3-SH عملکرد لرزه ای بهتری دارد.

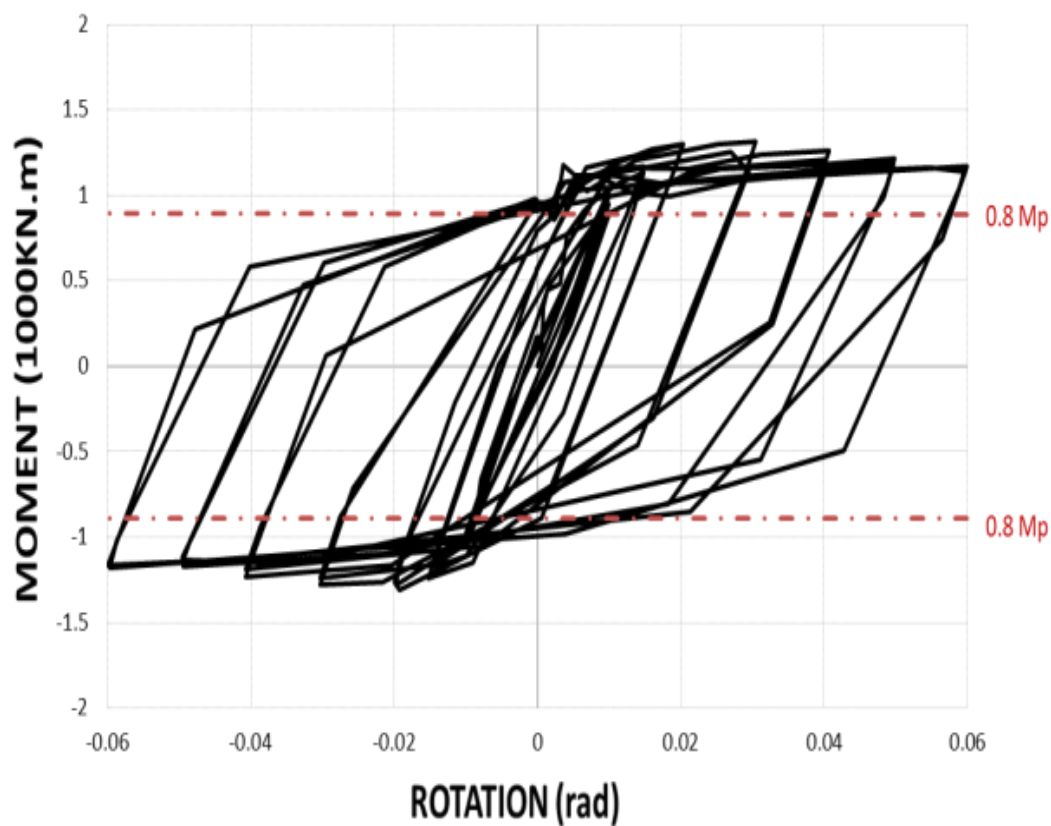


شکل ۴-۵۲- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS3-SH

شکل ۴-۵۳ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای اتصال با کاهش بال به صورت دایره های متوالی و متغیر که شعاع آن به صورت تدریجی ابتدا افزایش سپس کاهش می یابد، (RBS1-VH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS1-VH شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید.

مطابق شکل ۴-۵۳ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی ناگهانی نمی شود، بلکه شیب کاهش سختی ملایم است.

با مقایسه دو نمودار چرخه ای اتصال ORC و اتصال RBS1-VH می توان نتیجه گرفت که اتصال RBS1-VH عملکرد لرزه ای بهتری دارد.

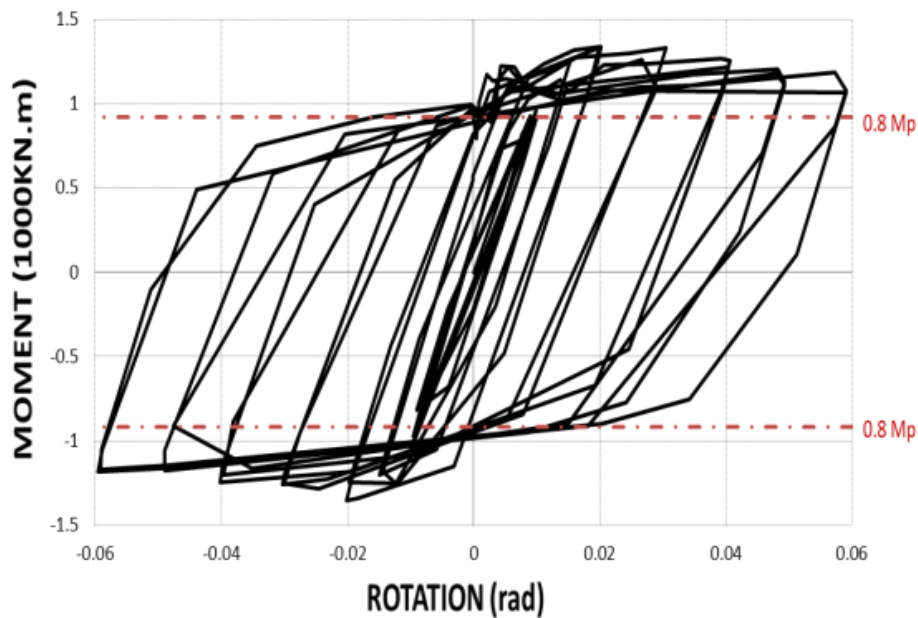


شکل ۴-۵۳- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS1-VH

شکل ۴-۵۴ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای نوع دوم اتصال با کاهش بال به صورت دایره های متوالی و متغیر که شعاع آن به صورت تدریجی ابتدا افزایش سپس کاهش می یابد، (RBS2-VH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS2-VH شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید.

مطابق شکل ۴-۵۴ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی ناگهانی نمی شود، بلکه شیب کاهش سختی ملایم است.

با مقایسه دو نمودار چرخه ای اتصال ORC و اتصال RBS2-VH می توان نتیجه گرفت که اتصال RBS2-VH عملکرد لرزه ای بهتری دارد.

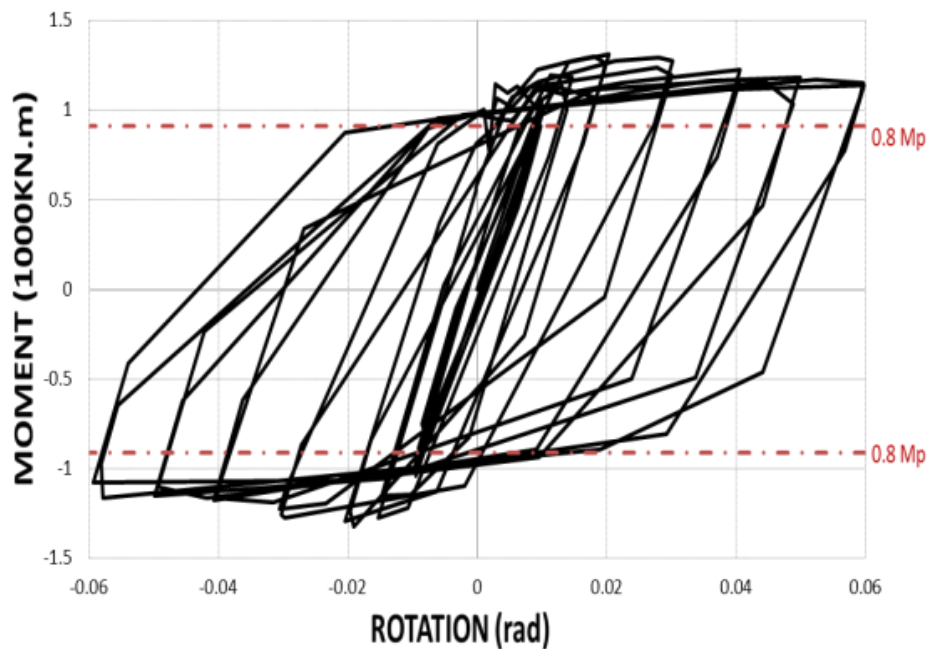


شکل ۴-۵۴- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS2-VH

شکل ۴-۵۵ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای نوع دوم اتصال با کاهش بال به صورت دایره های متوالی و متغیر که شعاع آن به صورت تدریجی ابتدا افزایش سپس کاهش می یابد، (RBS3-VH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS3-VH شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید.

مطابق شکل ۴-۵۵ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی ناگهانی نمی شود، بلکه شیب کاهش سختی ملایم است.

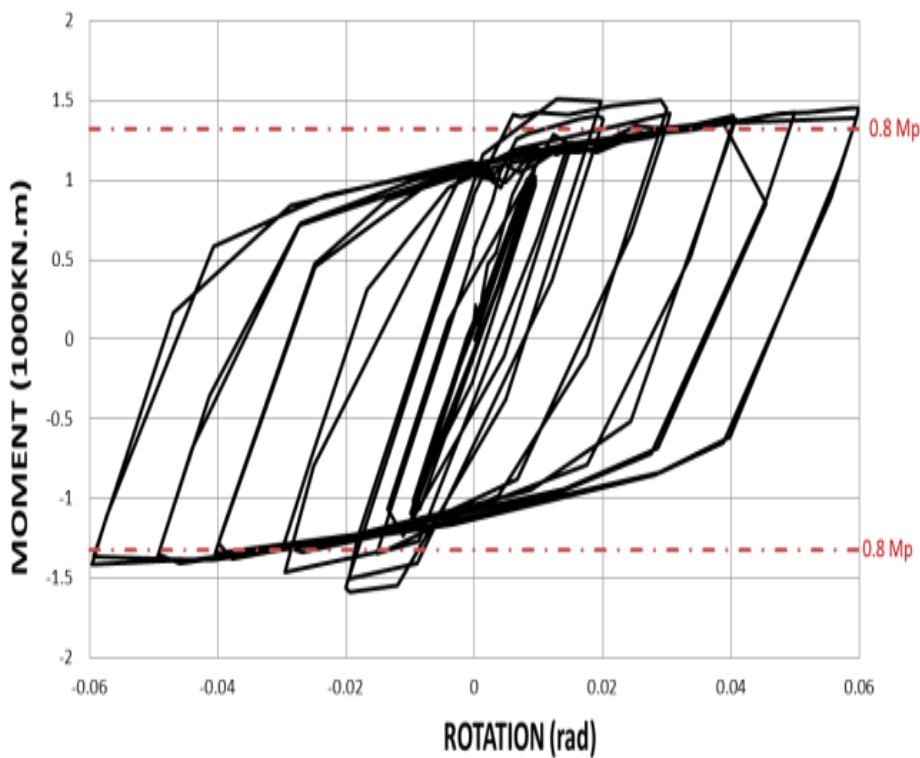
با مقایسه دو نمودار چرخه ای اتصال ORC و اتصال RBS3-VH می توان نتیجه گرفت که اتصال RBS3-VH عملکرد لرزه ای بهتری دارد.



شکل ۴-۵۵- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS3-VH

۴-۶-۲- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در اتصالات با مقطع جان کاهش یافته

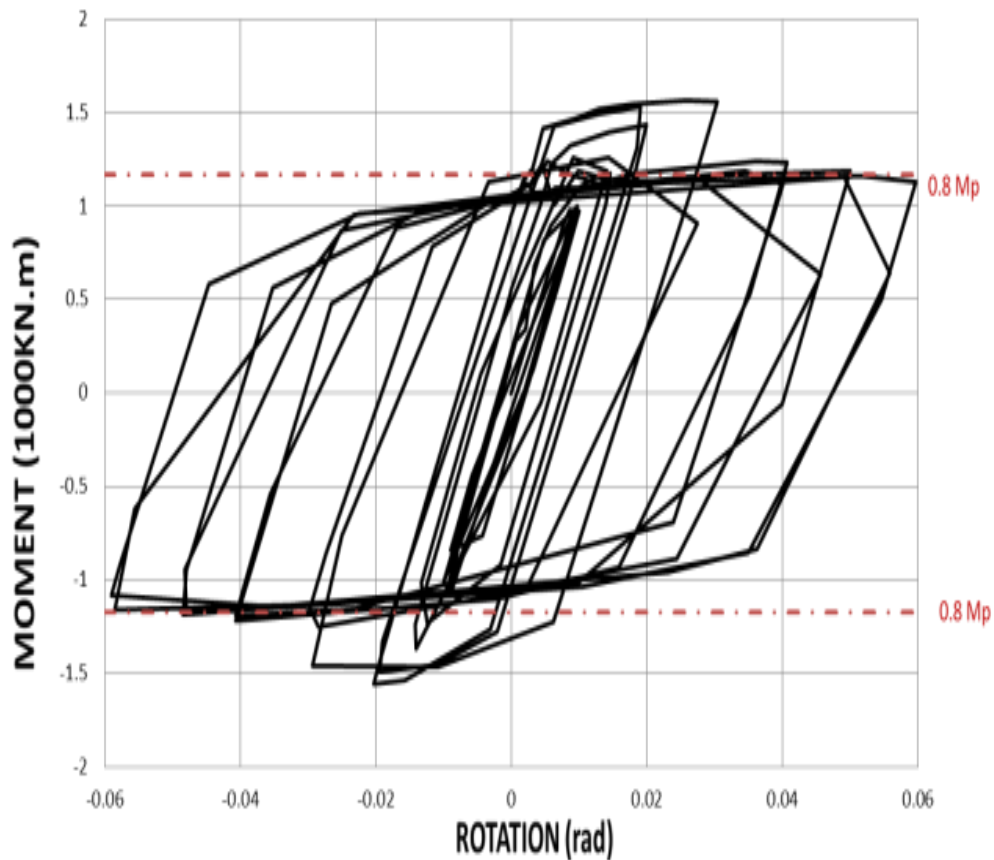
همان طور که پیش تر گفته شد بر اساس آئین نامه AISC (2005) [۱۰]، اتصالی که در هنگام چرخش $0/04$ رادیان، مقاومتی بیش از 80% کل ظرفیت مقطع داشته باشد مورد پذیرش می باشد. شکل ۴-۵۶ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای اتصال صلب با کاهش شعاعی جان (RBS-W) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS-W شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید ولی این مقاومت اندکی بیشتر از 80% ظرفیت مقطع می باشد. مطابق شکل ۴-۵۶ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی اندکی می گردد و شیب کاهش سختی کم است ولی پس از کاهش سختی، سخت شدگی مجدد در اتصال صورت می گیرد.



شکل ۴-۵۶- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS-W

شکل ۴-۵۷ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای اتصال صلب با کاهش به صورت سوراخ دایره ای در جان (RBS1-WH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS1-WH شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید ولی این مقاومت اندکی بیشتر از ۸۰٪ ظرفیت مقطع می باشد.

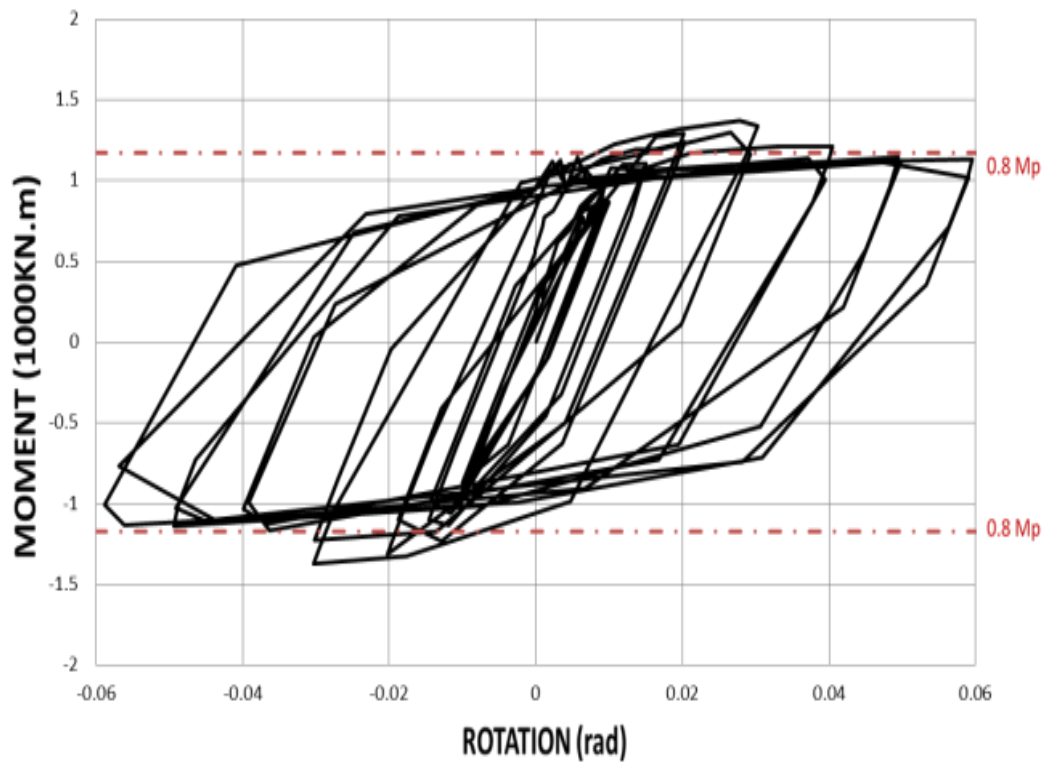
مطابق شکل ۴-۵۷ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی ناگهانی بسیار زیادی می گردد و شیب کاهش سختی بسیار تند است ولی پس از کاهش سختی ناگهانی ، سخت شدگی مجدد در اتصال صورت می گیرد.



شکل ۴-۵۷- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS1-WH

شکل ۴-۵۸ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای نوع دوم اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سوراخ ترکیبی دایره و مربع در جان (RBS2-WH) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS2-WH شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید ولی این مقاومت اندکی بیشتر از ۸۰٪ ظرفیت مقطع می باشد و قابل اطمینان نیست.

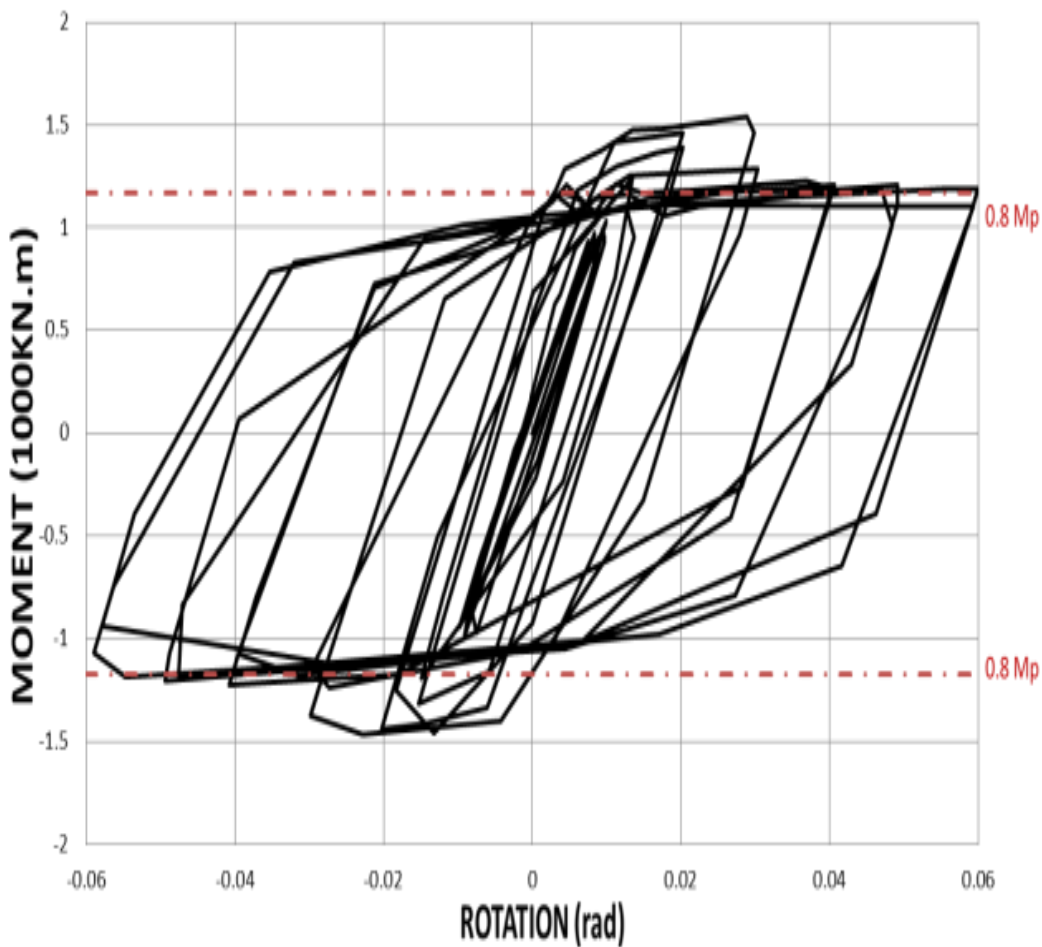
مطابق شکل ۴-۵۸ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی اندکی می گردد و شیب کاهش سختی کم است ولی پس از کاهش سختی ، سخت شدگی مجدد در اتصال صورت می گیرد.



شکل ۴-۵۸- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS2-WH

شکل ۴-۵۹ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سینوسی (RBS1-S) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS1-S شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید ولی این مقاومت اندکی بیشتر از ۸۰٪ ظرفیت مقطع می باشد و قابل اطمینان نیست.

مطابق شکل ۴-۵۹ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی نسبتا زیادی می گردد و شیب کاهش سختی نسبتا زیاد است ولی پس از کاهش سختی ، سخت شدگی مجدد در اتصال صورت می گیرد.



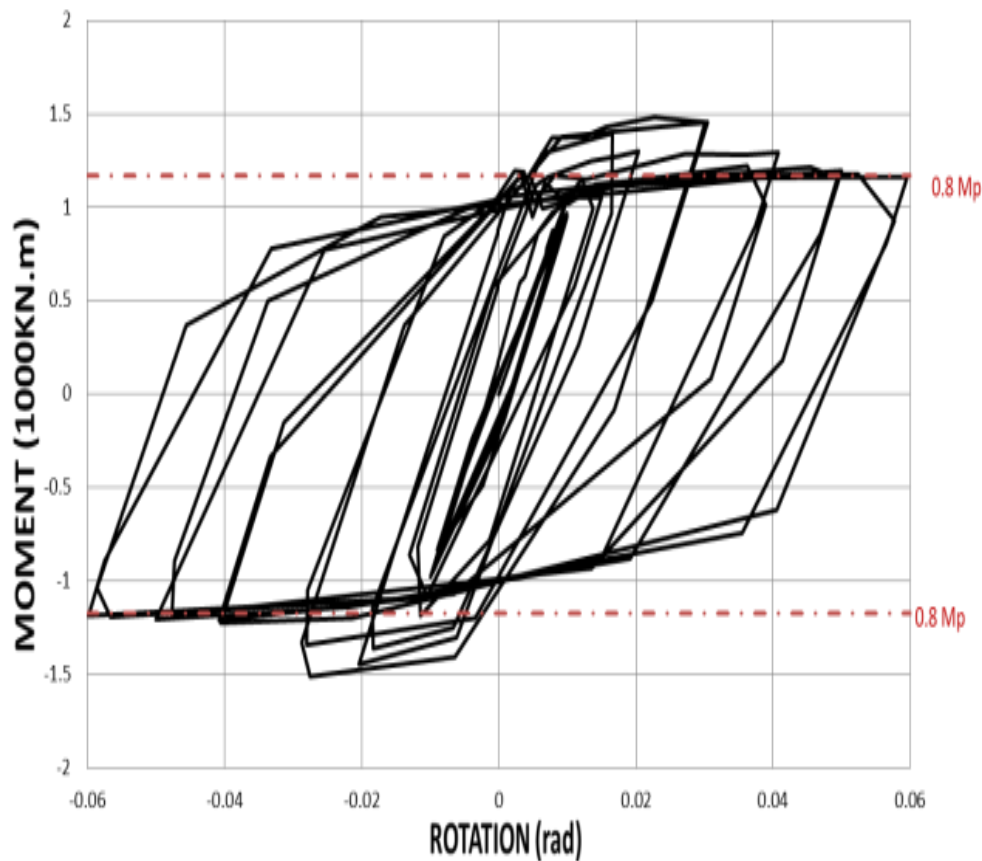
شکل ۴-۵۹- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS1-S

شکل ۴-۶۰ نمودار چرخه ای لنگر- دوران را برای نوع دوم اتصال صلب با مقطع جان کاهش یافته به صورت سینوسی (RBS2-S) نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود اتصال RBS2-S شرط آیین نامه را برای استفاده در قاب با شکل پذیری ویژه تامین می نماید.

مطابق شکل ۴-۶۰ مشاهده می گردد که چرخه های نمودار دچار زوال مقاومت و کاهش سختی ملایم می گردد و شیب کاهش سختی ملایم است.

با مقایسه نمودارهای چرخه ای لنگر- دوران اتصالات با مقطع جان کاهش یافته به نظر می رسد که اتصال با کاهش جان سینوسی RBS2-S عملکرد لرزه ای بهتری دارد و شکل پذیرتر می باشد.

هم چنین با مقایسه اتصالات با مقطع بال کاهش یافته با مقاطع جان کاهش یافته مشاهده گردید که اتصالات با مقطع بال کاهش یافته عملکرد لرزه ای مناسب تری را دارند.

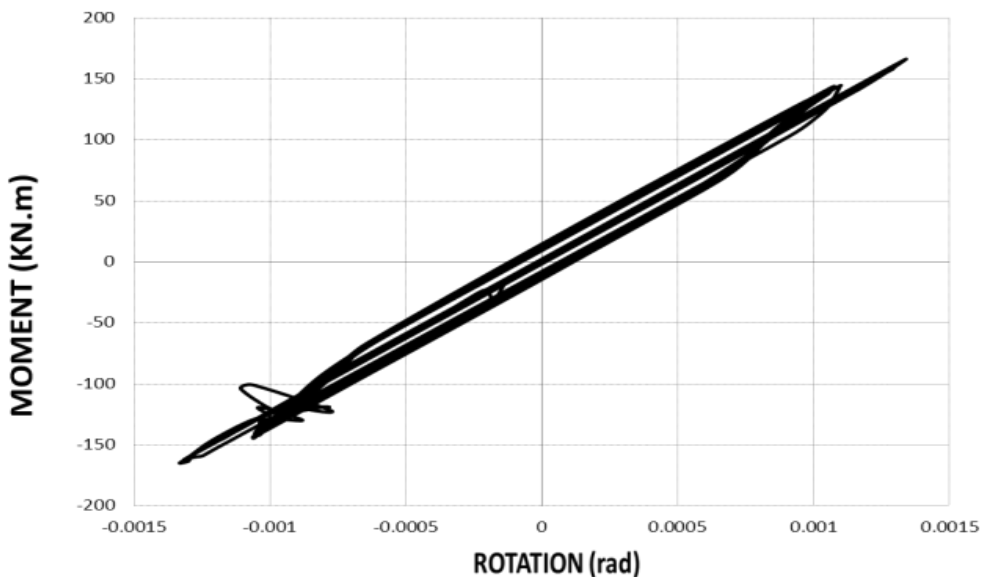


شکل ۴-۶۰- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای تیر در مدل RBS2-S

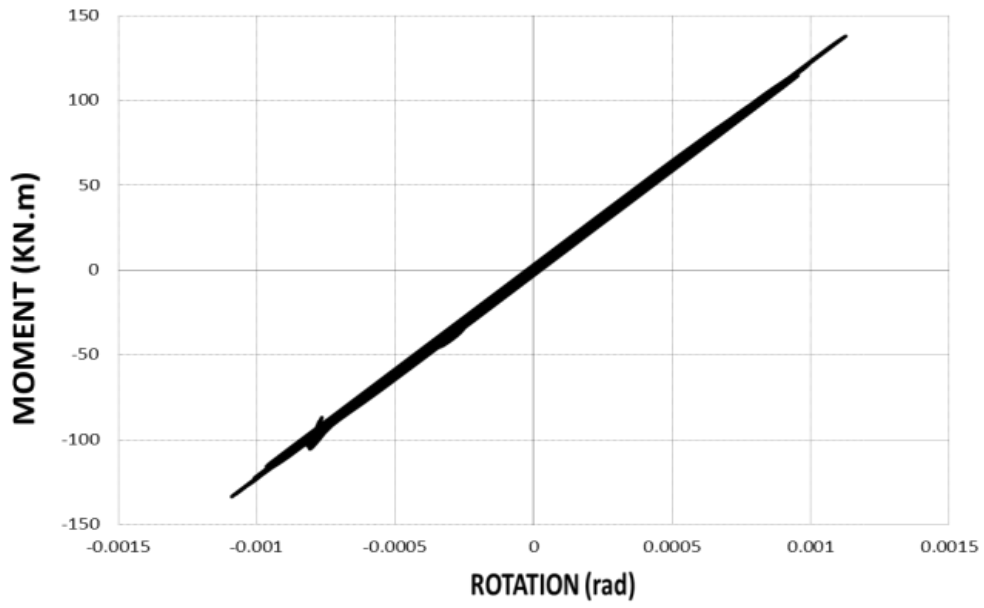
۷-۴- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال

۷-۴-۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال برای اتصال فولادی با مقطع بال کاهش یافته شکل ۴-۶۱ نمودار چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال را برای اتصال صلب معمولی (ORC) و شکل ۴-۶۲ تا ۴-۶۸ نمودار چرخه ای لنگر- دوران اتصالات با مقطع بال کاهش یافته را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود چشمه اتصال در مدل ORC اندکی وارد ناحیه غیرخطی می شود ولی در تمامی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته کاملاً خطی می باشد. هم چنین مشاهده می شود که لنگر وارده به چشمه اتصال در مدل ORC برابر با ۱۷۰ کیلونیوتن متر است، ولی لنگر وارده به چشمه اتصال در مدل های اتصالات با مقطع بال کاهش یافته تا حدود ۱۳۵ کیلونیوتن متر می باشد. این به آن معناست که کاهش بال تیر لنگر دارد بر چشمه اتصال را تا ۲۰٪ کاهش می دهد.

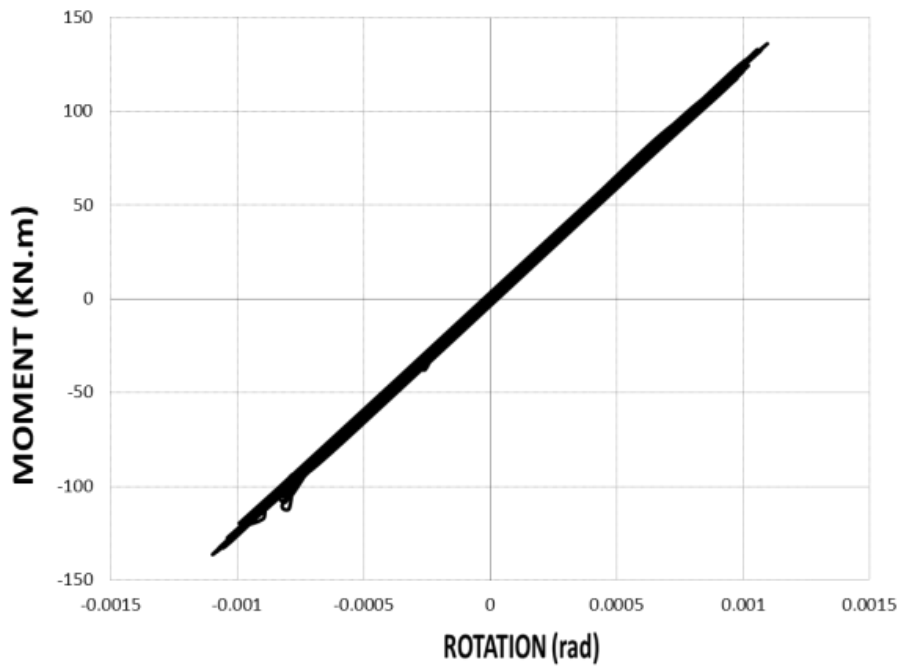
با توجه به شکل های ۴-۶۱ تا ۴-۶۸ می توان دریافت که اتصالات با کاهش بال به صورت دایره های متوالی و متغیر کمترین چرخش را در چشمه اتصال دارند.



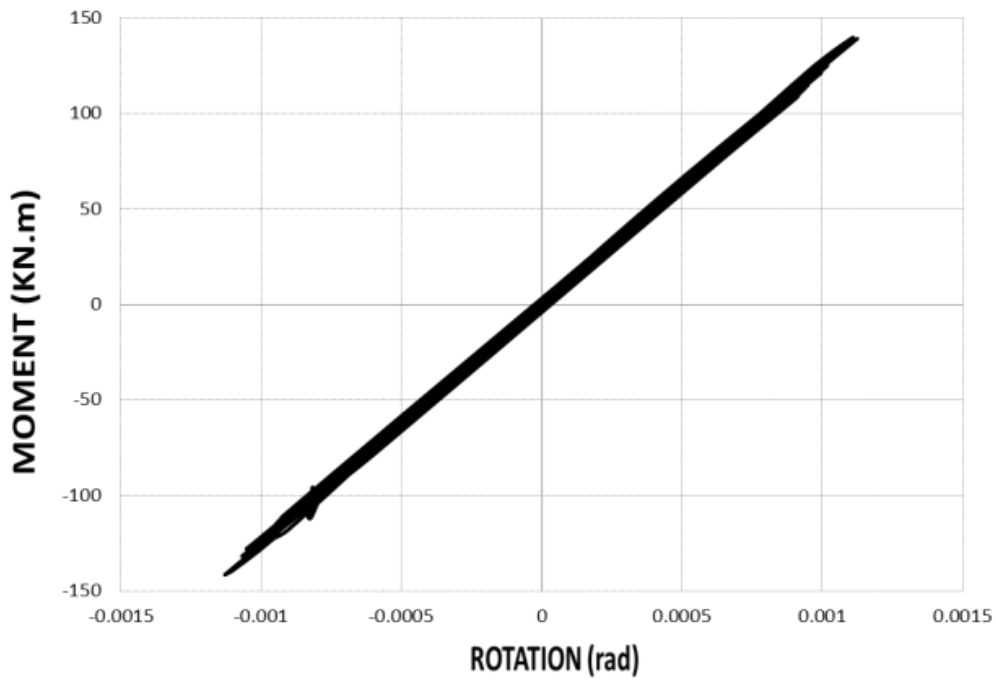
شکل ۴-۶۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل ORC



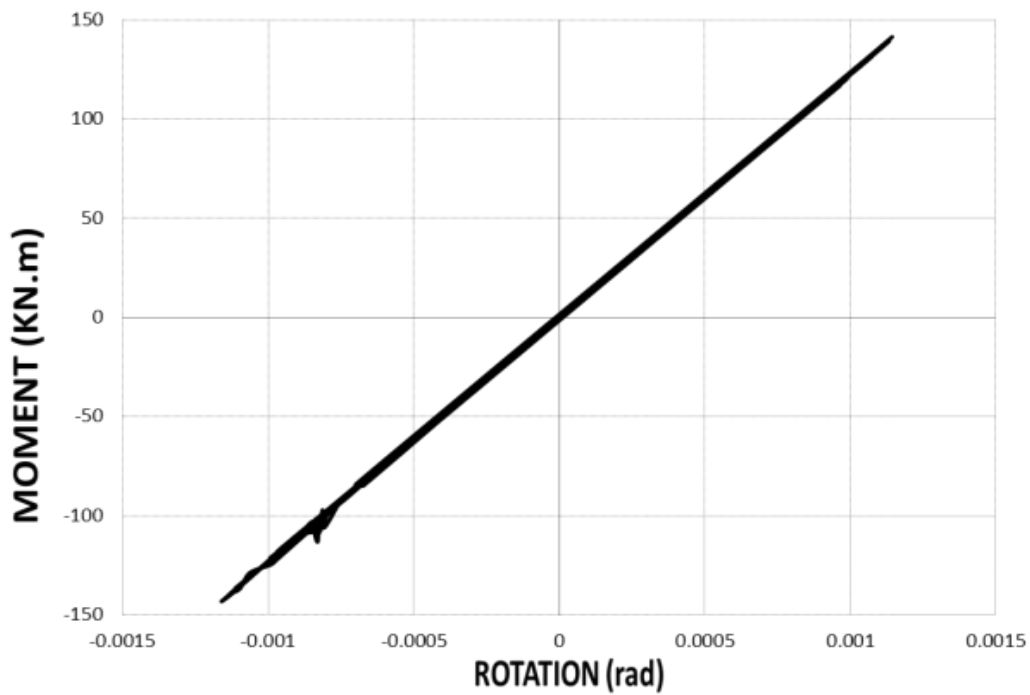
شکل ۴-۶۲- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS



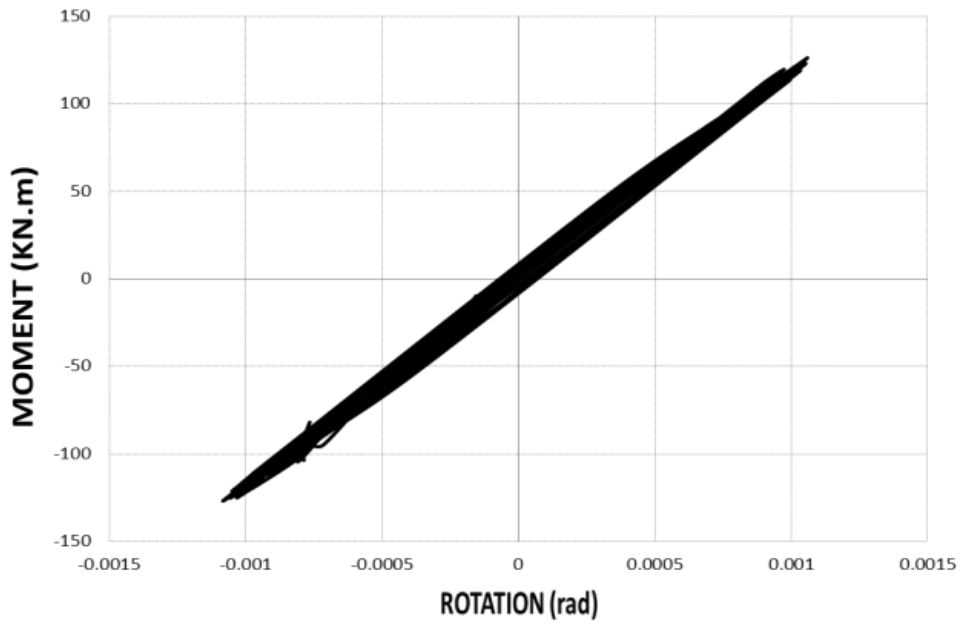
شکل ۴-۶۳- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS1-SH



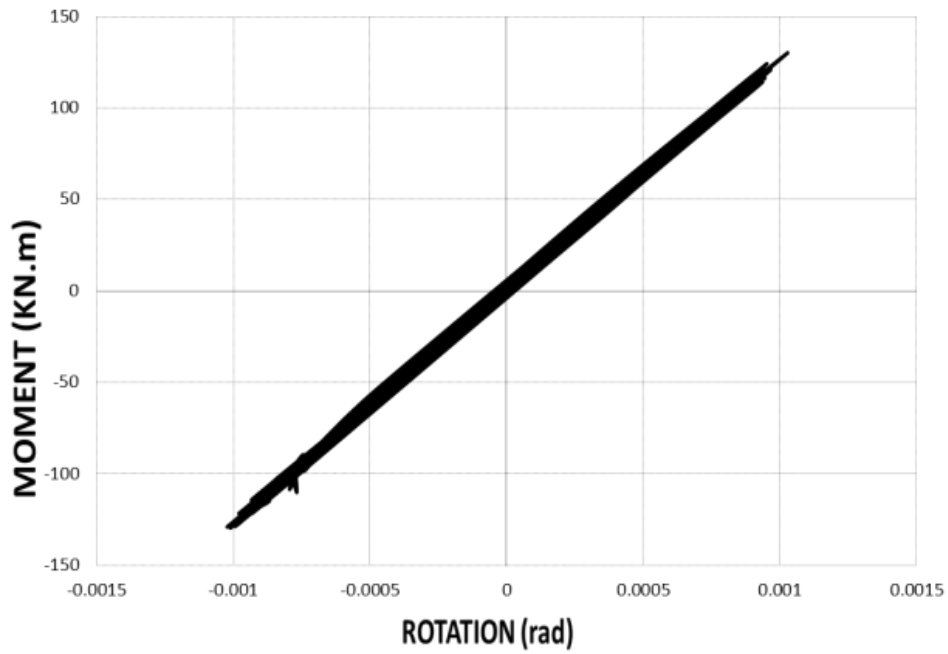
شکل ۴-۶۴- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS2-SH



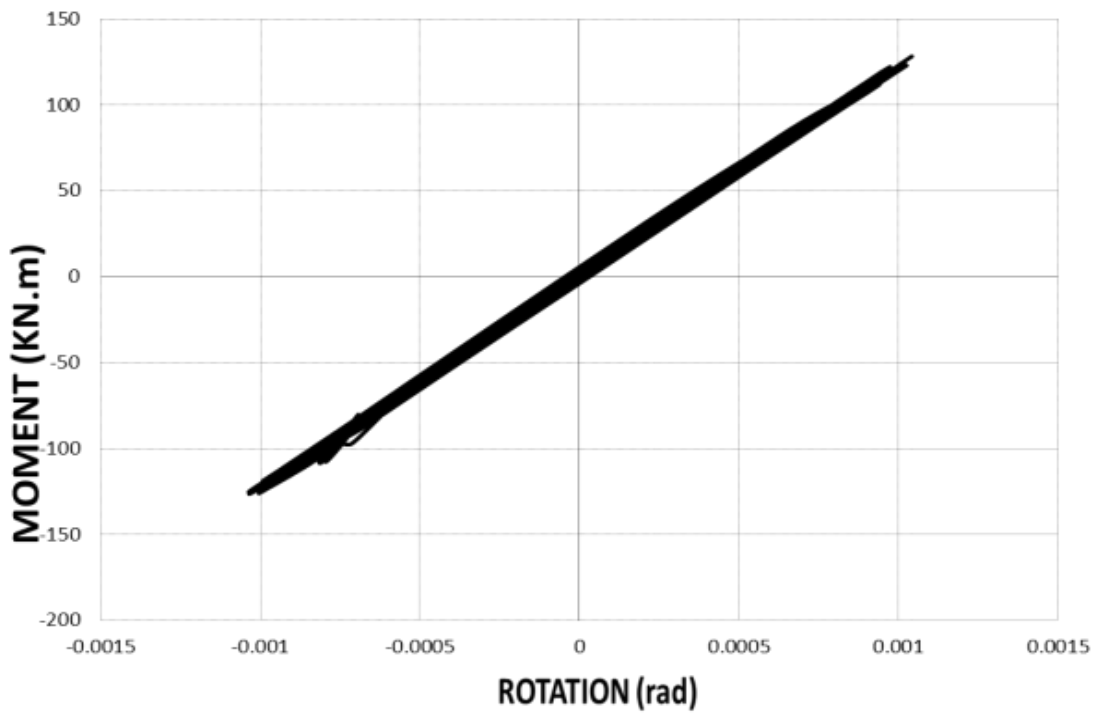
شکل ۴-۶۵- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS3-SH



شکل ۴-۶۶- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS1-VH



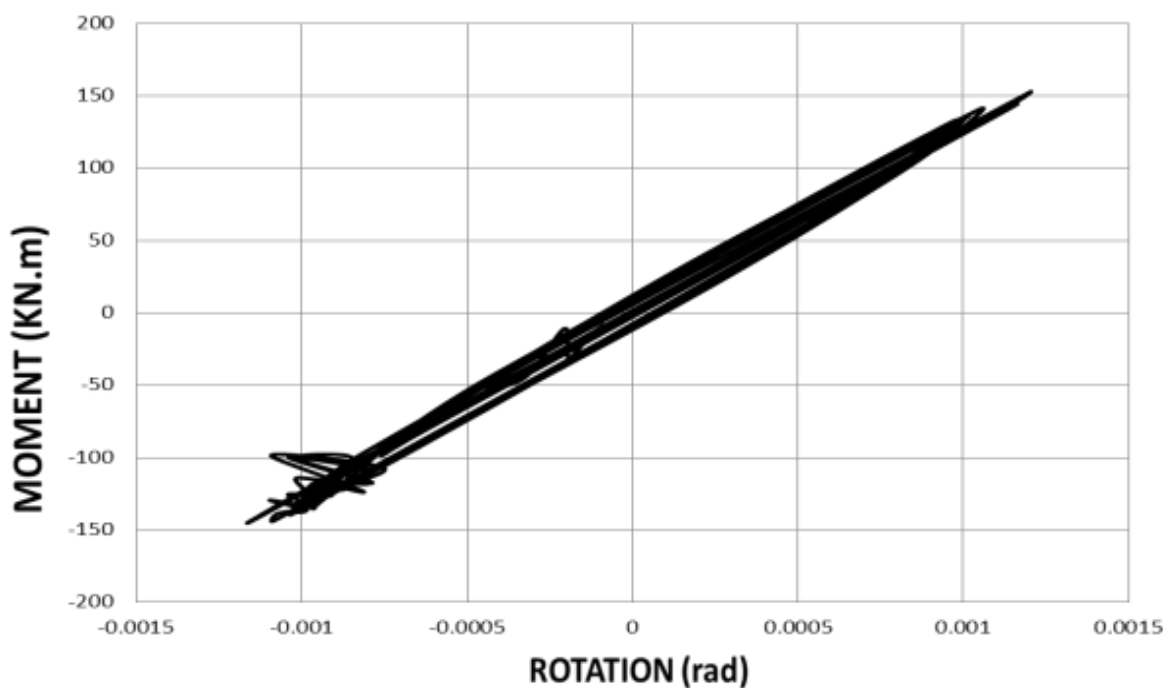
شکل ۴-۶۷- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS2-VH



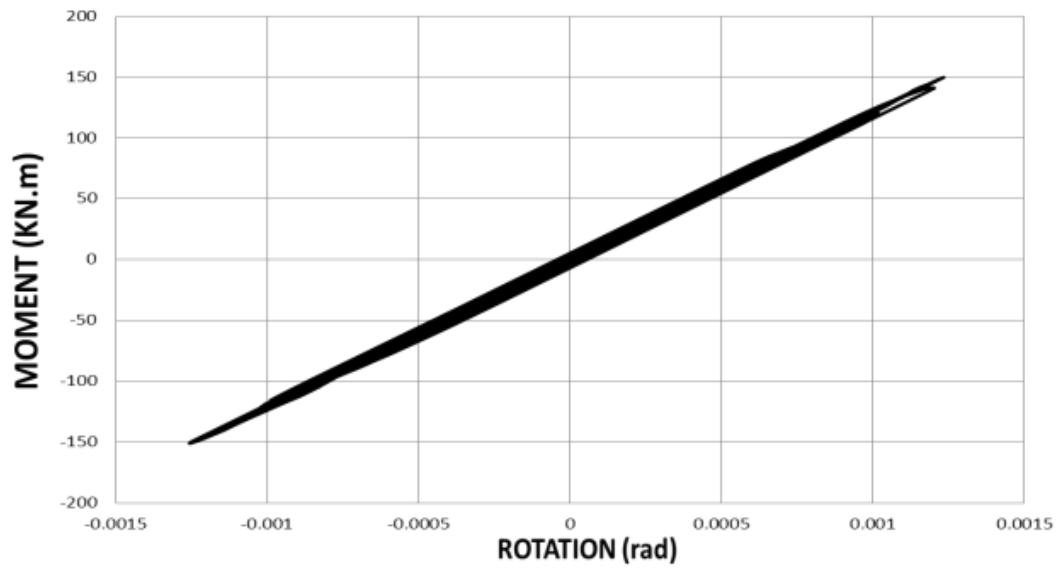
شکل ۴-۶۸- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS3-VH

۴-۷-۲- منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال برای اتصال فولادی با مقطع جان کاهش یافته

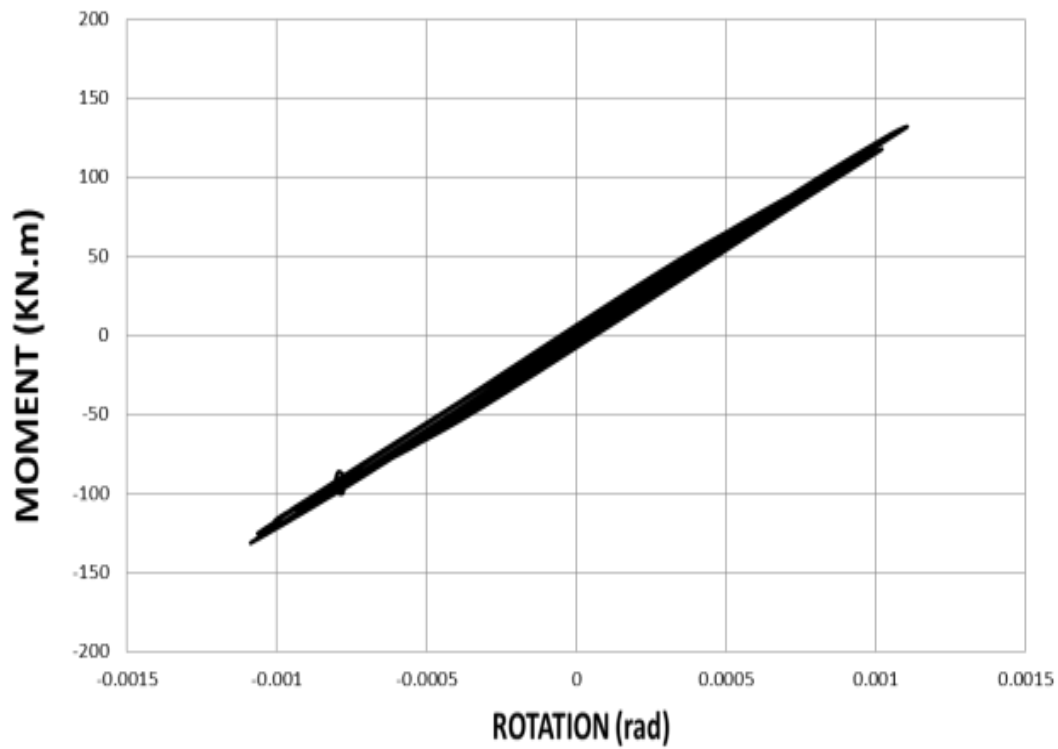
شکل های ۴-۶۹ تا ۴-۷۳ نمودار چرخه ای لنگر- دوران اتصال با مقطع جان کاهش یافته را نشان می دهند. همان گونه که مشاهده می شود چشمه اتصال در مدل با کاهش جان شعاعی RBS-W اندکی وارد ناحیه غیرخطی می شود ولی در تمامی اتصالات با مقطع جان کاهش یافته کاملاً خطی می باشد. هم چنین مشاهده می شود که لنگر وارده به چشمه اتصال در مدل ORC برابر با ۱۷۰ کیلونیوتن متر است، ولی لنگر وارده به چشمه اتصال در مدل های اتصالات با مقطع جان کاهش یافته تا حدود ۱۵۰ کیلونیوتن متر می باشد. این به آن معناست که کاهش بال تیر لنگر دارد بر چشمه اتصال را تا ۱۲٪ کاهش می دهد.



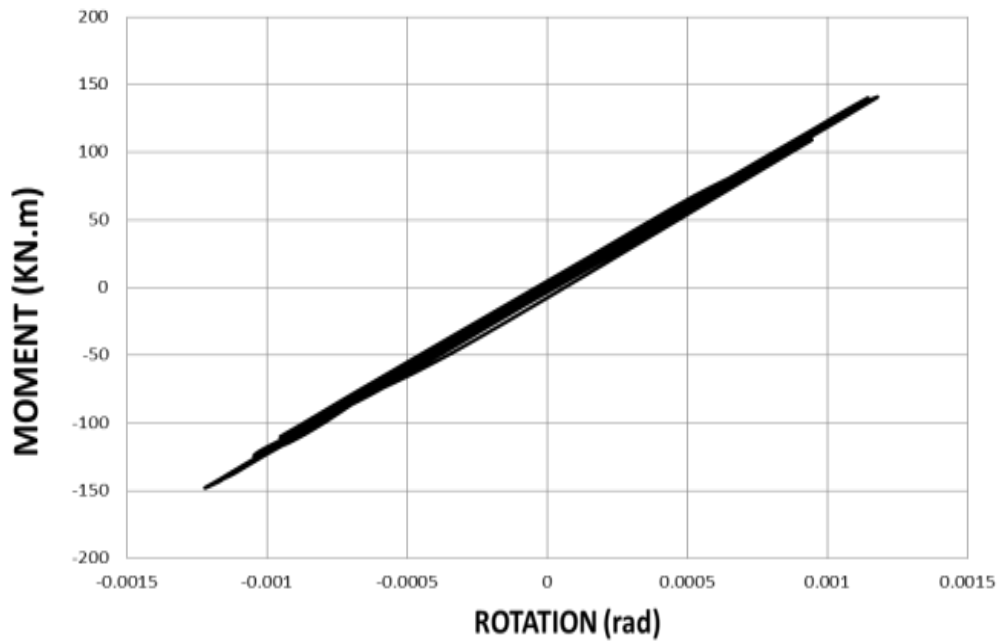
شکل ۴-۶۹- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS-W



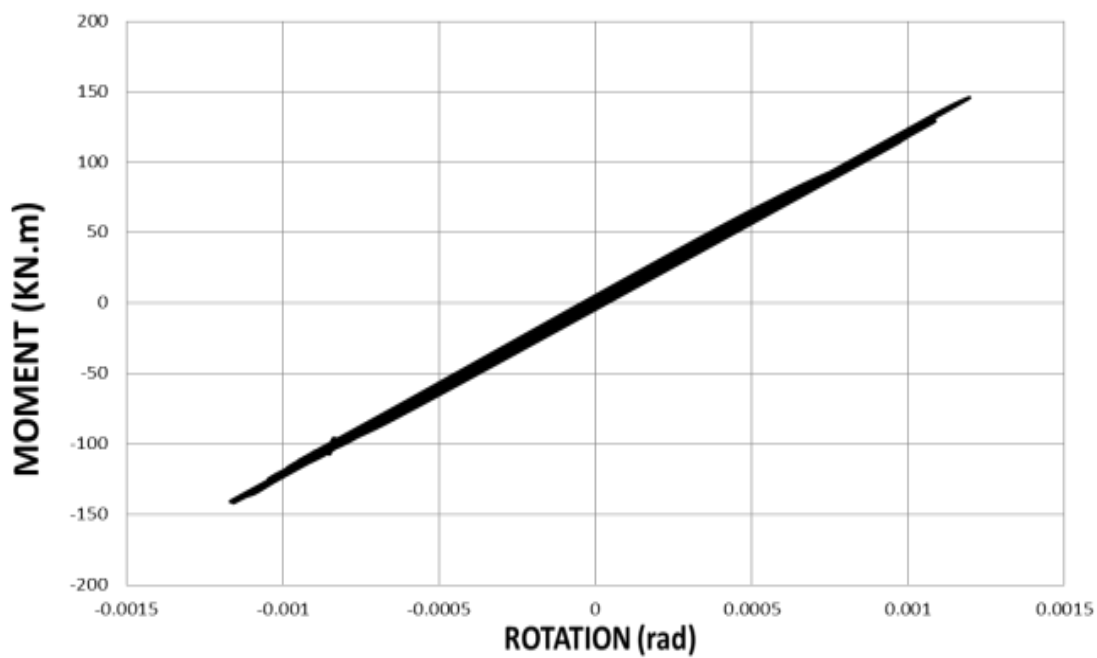
شکل ۴-۷۰- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS1-WH



شکل ۴-۷۱- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS2-WH



شکل ۴-۷۲- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS1-S



شکل ۴-۷۳- منحنی چرخه ای لنگر- دوران برای چشمه اتصال در مدل RBS2-S

۸-۴- محاسبه سختی اتصالات

سختی اتصالات براساس منحنی چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال محاسبه می شود. سختی طبق روابط ۶-۵ و ۷-۵ محاسبه می شود.

$$K_S = \frac{M_S}{\theta_S} \quad 6-4$$

$$M_S = F_y \times S \quad 7-4$$

که در این روابط F_y تنش تسلیم فولاد، S مدول مقطع تیر و θ_S چرخش ناحیه چشمه اتصال است که از نمودار چرخه ای لنگر- دوران چشمه اتصال بدست می آید.

براساس آئین نامه AISC05، در صورتی که رابطه $K_S L / EI \geq 20$ برای اتصال فولادی برقرار باشد، می توان اتصال را کاملا صلب نامید که در آن L و EI به ترتیب طول و سختی خمشی تیر هستند. هم چنین برای اتصال ساده و نیمه صلب به ترتیب می بایست عبارت های $K_S L / EI \leq 3$ و $3 \leq K_S L / EI \leq 20$ برقرار است.

۸-۴-۱- محاسبه سختی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته

سختی اتصال ($K_S L / EI$) برای کلیه مدل های با مقطع بال کاهش یافته در جدول ۴-۵ محاسبه شده است که در آن L طول یک تیر میان دو ستون است. از آنجایی که در این مطالعه نیمی از طول تیر مدل شده است لذا طول آن دو برابر در نظر گرفته می شود.

با توجه به جدول ۴-۴ مشاهده می شود که کلیه اتصالات کاملا صلب محسوب می شود و هم چنین اتصال صلب معمولی (ORC) و اتصال با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و متغیر (RBS-VH) به ترتیب کمترین و بیشترین سختی را دارند.

جدول ۴-۴- طبقه بندی سختی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته

مدل ها	M_S	θ_S	K_S	I	L	$K_S L / EI$
	KN.m	Rad	KN.m	m^4	m	
ORC	158	0.00134	117900	197.5e-6	7.6	21.6
RBS	97	0.00112	86607	121.2e-6	7.6	25.86
RBS1-SH	86	0.00113	76106	108.5e-6	7.6	25.5
RBS2-SH	92	0.00113	81311	114.8e-6	7.6	25.62
RBS3-SH	97	0.00112	86607	121.2e-6	7.6	25.86
RBS1-VH	68	0.00105	321864	84.13e-6	7.6	27.36
RBS2-VH	78	0.00105	372164	97.13e-6	7.6	27.76
RBS3-VH	72	0.00105	352621	90.13e-6	7.6	27.4

۴-۸-۲- محاسبه سختی اتصالات با مقطع جان کاهش یافته

سختی اتصال ($K_S L / EI$) برای کلیه مدل های با مقطع جان کاهش یافته در جدول ۵-۵ محاسبه شده است که در آن L طول یک تیر میان دو ستون است. از آنجایی که در این مطالعه نیمی از طول تیر مدل شده است لذا طول آن دو برابر در نظر گرفته می شود.

با توجه به جدول ۴-۵ مشاهده می شود که کلیه اتصالات کاملا صلب محسوب می شود و هم چنین اتصال صلب معمولی (ORC) و اتصال با مقطع بال کاهش یافته به صورت دایره های متوالی و متغیر (RBS-W) به ترتیب کمترین و بیشترین سختی را دارند.

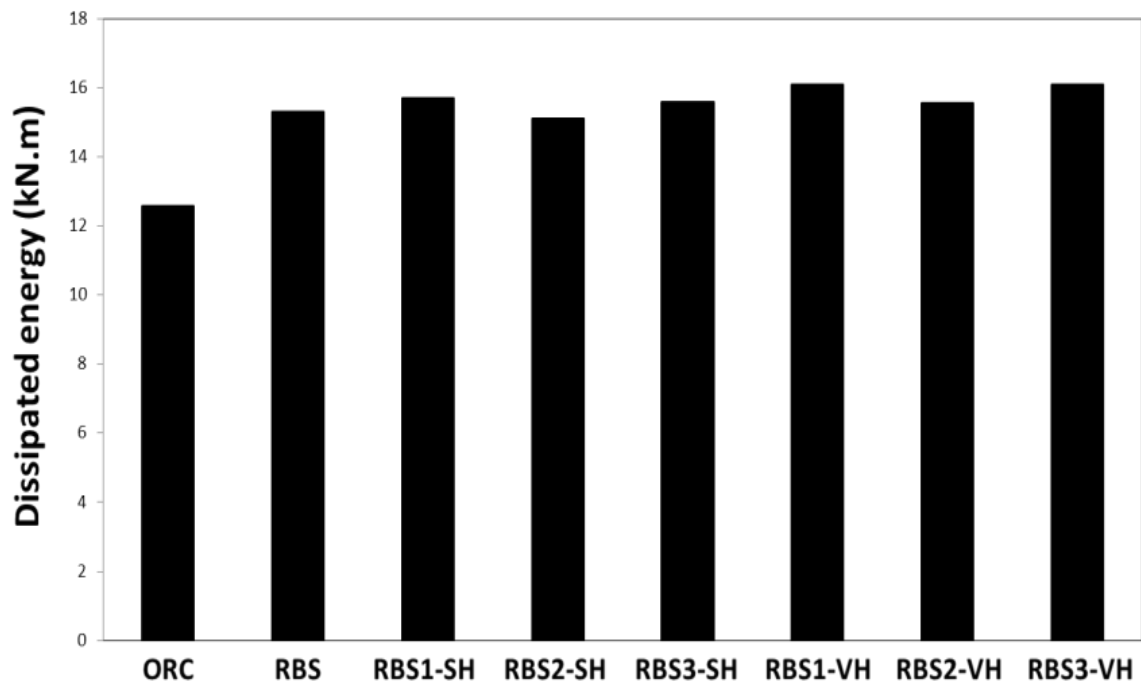
جدول ۴-۵- طبقه بندی سختی اتصالات با مقطع جان کاهش یافته

مدل ها	M_S	θ_S	K_S	I	L	$K_S L / EI$
	KN.m	Rad	KN.m	m^4	m	
ORC	158	0.00134	117900	197.5e-6	7.6	21.6
RBS-W	143	0.0012	119100	166.8e-6	7.6	25.84
RBS1-WH	157	0.00126	124720	197e-6	7.6	22.9
RBS2-WH	157	0.00126	124720	197e-6	7.6	22.9
RBS1-S	157	0.00125	125600	197e-6	7.6	23.07
RBS2-S	157	0.00122	128690	197e-6	7.6	23.64

۹-۴- استهلاک انرژی

۹-۴-۱- استهلاک انرژی اتصالات با مقطع بال کاهش یافته

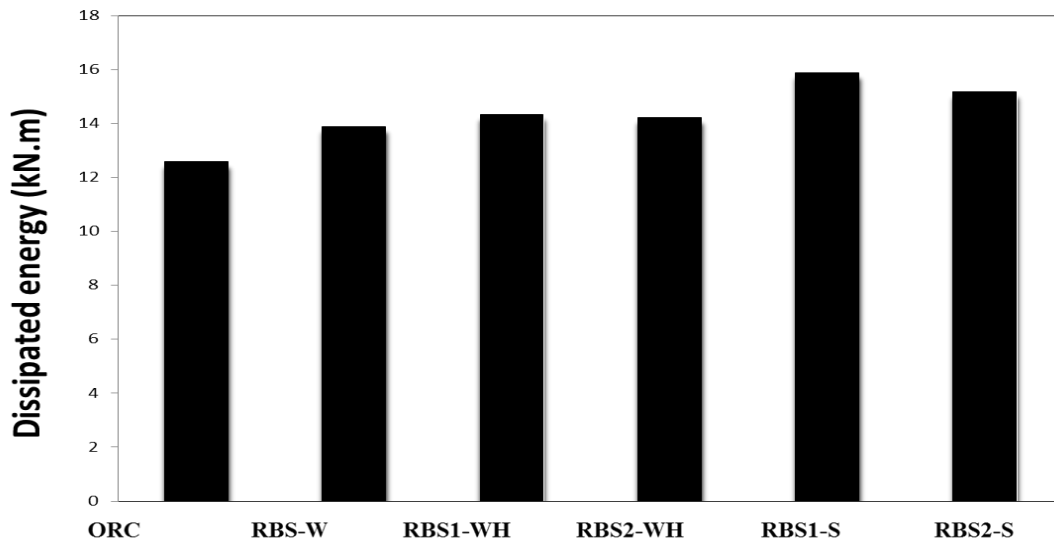
شکل ۴-۷۴ استهلاک انرژی کل مدل برای تمامی مدل های اتصال با مقطع بال کاهش یافته را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، اتصال RBS-VH با مقدار 16.1 KN.m و اتصال ORC با میزان 12.58 KN.m به ترتیب بیشترین و کمترین استهلاک انرژی را دارند. نتایج شکل ۵-۷۴ نشان می دهد که اتصال RBS-VH استهلاک انرژی را تا ۲۷٪ نسبت به اتصال ORC و ۷٪ نسبت به اتصال RBS و RBS-SH افزایش می دهد. لذا با توجه به این که هرچه استهلاک بیشتر انرژی باعث تغییر مکان سازه کمتر و پایداری بیشتر سازه می شود می توان گفت که اتصال RBS-VH نسبت به بقیه مدل ها مناسب تر است.



شکل ۴-۷۴- انرژی مستهلک شده در اتصالات با مقطع بال کاهش یافته

۴-۹-۲- استهلاک انرژی اتصالات با مقطع جان کاهش یافته

شکل ۴-۷۵ استهلاک انرژی کل مدل برای تمامی مدل های اتصال با مقطع جان کاهش یافته را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، اتصال با کاهش سینوسی جان (RBS1-S) با مقدار 16.1 KN.m و اتصال صلب معمولی (ORC) با میزان 12.58 KN.m به ترتیب بیشترین و کمترین استهلاک انرژی را دارند. نتایج شکل ۴-۷۵ نشان می دهد که اتصال RBS-VH استهلاک انرژی را تا ۲۷٪ نسبت به اتصال ORC افزایش می دهد. لذا با توجه به این که هرچه استهلاک بیشتر انرژی باعث تغییر مکان سازه کمتر و پایداری بیشتر سازه می شود می توان گفت که اتصال RBS1-S نسبت به بقیه مدل ها مناسب تر است.



شکل ۴-۷۵- انرژی مستهلک شده در اتصالات با مقطع جان کاهش یافته

فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

۵-۱-۱- نتایج بدست آمده برای اتصالات با کاهش بال تیر

- نتایج بدست آمده از این مطالعه عددی برای اتصالات با کاهش بال تیر به شرح زیر است:
- اتصال با مقطع کاهش یافته تمرکز تنش را از ناحیه اتصال دور کرده و آن را در ناحیه کاهش یافته متمرکز می کند. کاهش به صورت دایره های با قطر متغییر انتقال تنش بهتری نسبت به بقیه حالت های کاهش بال دارد.
 - اتصال با مقطع کاهش یافته کرنش پلاستیک را از ناحیه اتصال دور کرده و آن را در ناحیه کاهش یافته متمرکز می کند. کاهش به صورت دایره های با قطر متغییر انتقال مفصل پلاستیک را بهتر نسبت به بقیه حالت های کاهش بال انجام می دهد.
 - با استفاده از راهکار کاهش مقطع بال تیر در اتصال تیر به ستون می توان مفصل پلاستیک را به ناحیه کاهش یافته بال تیر منتقل کرد.
 - از آنجایی که اتصالات با مقطع بال کاهش یافته ضوابط AISC را برای شکل پذیری ویژه تامین می کند لذا می توان از اتصالات RBS برای قاب های با شکل پذیری ویژه استفاده کرد.
 - استفاده از کاهش بال به صورت دایره های با شعاع متغییر استهلاک انرژی بیشتری نسبت به اتصال با کاهش بال شعاعی دارد.
 - استفاده از کاهش بال به صورت دایره های با شعاع متغییر می تواند راهکار مناسب تری برای کاهش بال و جلوگیری از کمانش جانبی آن باشد.
 - اتصالات RBS را می توان جز اتصالات کاملاً صلب و با شکل پذیری بالا طبقه بندی کرد.

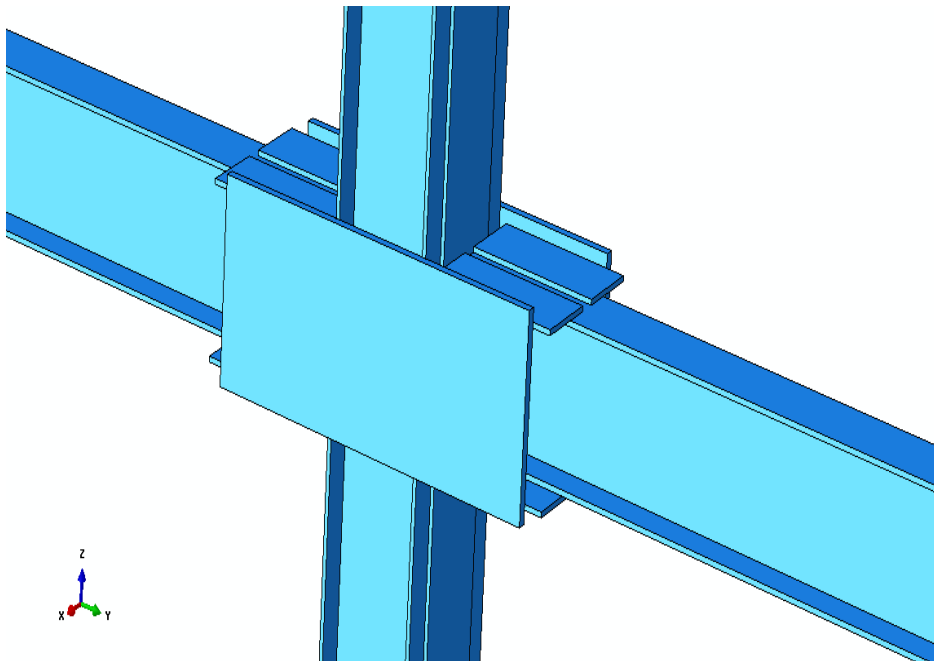
۵-۱-۲- نتایج بدست آمده برای اتصالات با کاهش جان تیر

- نتایج بدست آمده از این مطالعه عددی برای اتصالات با کاهش جان تیر به شرح زیر است :
- اتصال با مقطع جان کاهش یافته تمرکز تنش را از ناحیه اتصال دور کرده و آن را در ناحیه کاهش یافته متمرکز می کند.
 - با استفاده از راهکار کاهش مقطع جان تیر در اتصال تیر به ستون می توان مفصل پلاستیک را به ناحیه کاهش یافته جان تیر منتقل کرد.
 - از اتصالات RBS می توان برای قاب های با شکل پذیری ویژه استفاده کرد.
 - استفاده از کاهش جان به صورت سینوسی استهلاک انرژی بیشتری نسبت به دیگر حالت های کاهش جان دارد.
 - افزایش طول ناحیه کاهش یافته بال باعث کمانش جانبی تیر و کاهش مقاومت اتصال می گردد.
 - اتصالات با مقطع جان کاهش یافته را می توان جز اتصالات کاملاً صلب و با شکل پذیری بالا طبقه بندی کرد.
 - کاهش جان تیر باعث می شود که چشمه اتصال الاستیک باقی بماند و وارد ناحیه غیرخطی نشود.

۲-۵- پیشنهادات

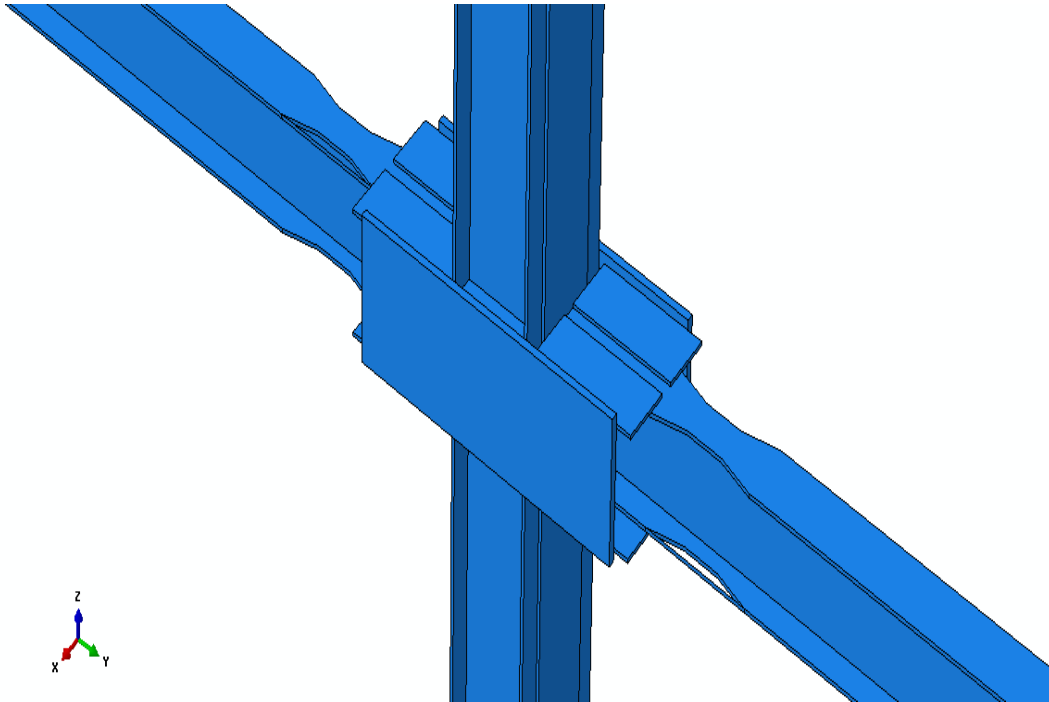
با توجه به اهمیت اتصالات فولادی و پیشرفت روز افزون آنان و هم چنین اهمیت انتقال مفصل پلاستیک از اتصال به درون تیر در این اتصالات، مطالعه در مورد آنان ضروری به نظر می رسد. لذا مدل سازی اتصالات زیر و بحث و بررسی در مورد آنان را به خوانندگان این مطالعه پیشنهاد می کنم.

الف) اتصال SIDE PLATE



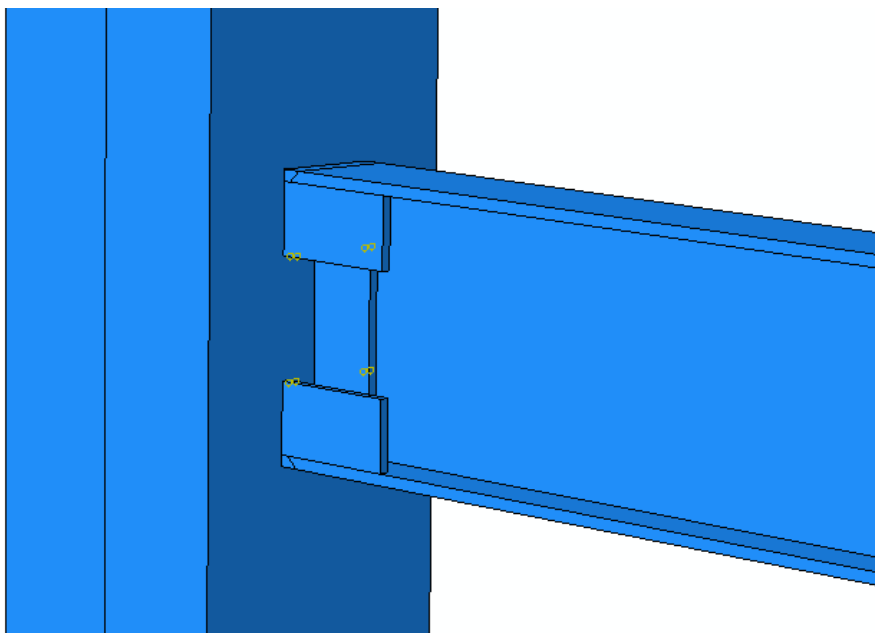
شکل ۵-۱- اتصال SIDE PLATE

ب) اتصال ترکیبی RBS و SIDE PLATE



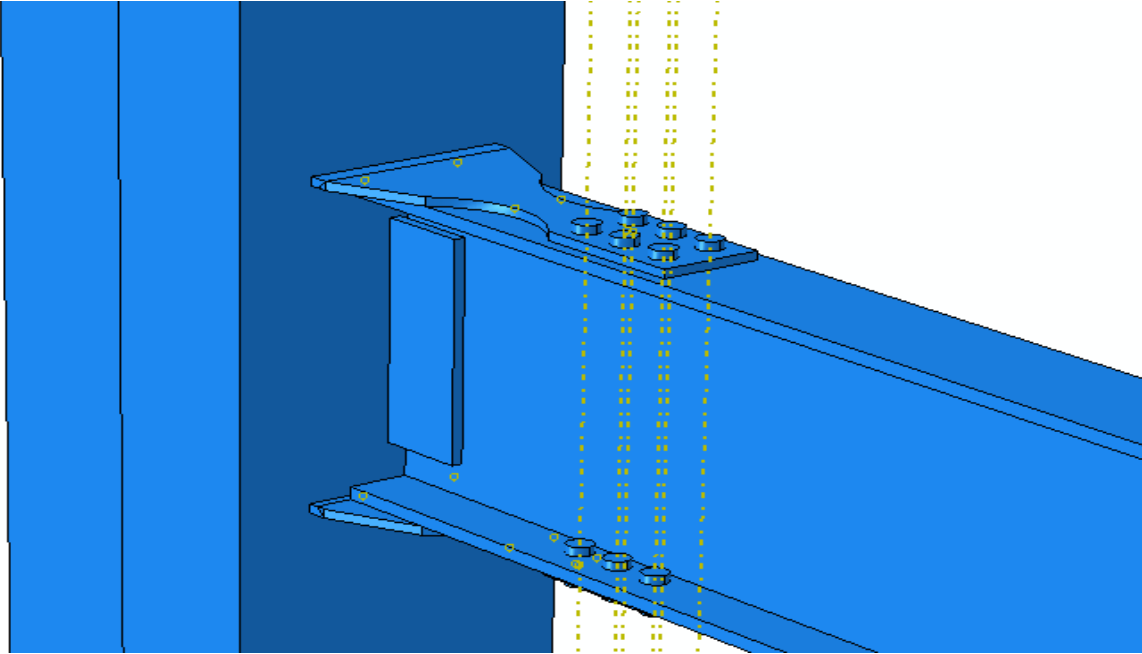
شکل ۵-۲- اتصال ترکیبی RBS و SIDE PLATE

ج) اتصال با ورق انتهایی:



شکل ۵-۳- اتصال با ورق انتهایی

پ) اتصال RFP



شکل ۵-۴- اتصال RFP

منابع

۱. ازهری، م، میرقادری، س، ر، ۱۳۹۱، "طراحی سازه های فولادی، جلد سوم - اتصالات"، چاپ چهاردهم.
۲. مصدق‌زاده، ا، فیوض، ع، ۱۳۸۹، "پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، رفتار چرخه‌ای اتصال خمشی ستون-درختی با تیر کوتاه منشوری و ستون با مقطع H شکل".
۳. گرامی، م، غزنوی اسکویی، ا، ۱۳۸۸، مجله علمی و پژوهشی عمران-مدرس، دوره دهم، شماره دوم، "بهسازی اتصالات صلب فولادی متداول از طریق کاهش مقطع بال".
۴. قاسمیان، م، ب، ۱۳۸۸، چهارمین کنگره ملی عمران، "بررسی مکانیسم انتقال نیرو از اتصال جوشی خمشی فولاد".
۵. قاسمیه، م، شمیم، ا، ۱۳۸۹، مجله مهندسی عمران (CEIJ) سال چهل چهارم، شماره سوم، "اثر نیروی محوری روی رفتار اتصال خمشی با صفحه انتهایی بلند".
۶. گرامی، م، صابری، و، ۱۳۸۸، اولین انجمن سازه های فولادی، "بررسی و مقایسه تحلیل عملکرد تناوبی اتصال پیچی تیر به ستون با صفحه انتهایی و سپری اتصال با تغییر آرایش افقی پیچ‌های ستونی".
۷. راه‌نورد، ر، سیاهپلو، ن، "بررسی رفتار فرا ارتجاعی اتصالات صلب پیچی با و بدون مقطع بال کاهش یافته تحت اثر بارگذاری چرخه‌ای"، سال ۱۳۹۲، دومین کنفرانس ملی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران، دانشگاه اصفهان
۸. مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان- ویرایش ۱۳۸۷

منابع غیر فارسی

9. Keiichiro, S., Kazuo, I. 2004, "Mechanical Joint with Hystertic Dampers as Bolted Beam - To- Column moment connection", August 1-6.
10. Kulak, G. L., Fisher, J. W. and Struik, J. H. A, 1987, "Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints", Willey-Interscience, New-York.
11. McGuire, W, 1968, Steel Structures, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, p.933.
12. Deylami, A. Moslehi Tabar, "Experimental study on the key issues affecting cyclic behavior of reduce beam section moment connection", (2008), Beijing, China.
13. Montuori, R., Piluso, V., and Troisi, M., 2008, "influence of connection typology onthe seismic behaviour of mr-frames", 3nd International Conference on Urban Disaster Reduction, November 40~51.
14. Chou, C. C., Y. J. Lai, Y. C. Wang, C. P. Hsu. 2006, "Cyclic testing of retrofitted moment connectionsfor a Kaohsiung existing steel building structure".Dept. of Civil Engineering, National Chiao TungUniversity, Hsinchu, Taiwan.
15. M. Uang, and C S Gilton, "Effects of loading history on cyclic performance of steel RBS moment connection", 2000, 12WCEE, 1294.
16. Xiaofeng Zehang, James M. Ricles, Le-Wu Lu, John W. Fisher, "Analytical and Experimental Studies on Seismic Behavior of Deep Column-to-Beam Welded Reduced Beam Section Moment Connections", (2004), 13 WCC, Canada.

17. R.Rahnavard, N.Siahpolo, “Analytical Study on the Important Parameters Effective of Cyclic Behavior of Reduce Beam Section Moment Connection”, 8th National Congress on Civil Engineering, 7-8 May 2014, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.
18. Roger, L. Brockenbrough, P. E., 2010, “Properties of Structural Steels and Effects of Steel Making and Fabrication”, R. L. Brockenbrough & Associates, Inc. Pittsburgh, Pennsylvania.
19. Chen, C.C., C.C. Lin and C.H. Lin, 2006, “Ductile moment connections used in steel column-treemoment-resisting frames”. J. Constr. Steel Res., 62:793-801.
20. Chou, C. C., Y. J. Lai, Y. C., 2010, “Seismic Rehabilitation of Welded Steel Beam-to-Box Column Connections Utilizing Internal Flange Stiffeners”, Earthquake Spectra, Volume 26, No. 4, pages 927–950, November, Earthquake Engineering Research Institute.
21. Chou,C.C., and Kai Jao, C.,2007, “Seismic Rehabilitation of Steel Moment Connections Utilizing Flange”, Internal Stiffeners, 2nd International Conference on Urban Disaster Reduction, November 27-29.
22. FEMA 350, SAC Joint Venture, Sacramento, Calif., 2000.
23. Aschheim, M.A., (2000), “Moment-resistant structure, sustainer and method of resisting episodic loads”, United State Patent, Patent number: 6,012,256.
24. American Institute of Steel Construction, Manual of Steel Construction, 2nd ed. (two volims), LRFD, AISC, Chicago, IL, 1994.
25. Engelhardt, M. D., and T. A. Sabol, 2002, “Reinforcing of steel moment connections with cover pates:benefits and limitations”, Engineering Structures, Vol. 20, No. 4-6, 510-520.
26. E.H. Gaylord, C. N. Gaylord and J. E. Stallmeyer, 1992, “Design of Steel Structures”, 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
27. Hajjar, J. F.,2004, University of minnesota, United states D. Lee. Research institute of industrial science & Tecnology. South korea,” *Effect of Column Stiffner Detailing and Weld Fracture toughness on the preformance of welded moment connections*”, june 3-4.
28. Hardash, S. G. and Bjorhovde, R. 1985, “New Design Criteria for Gusset Plates in Tension”, Engineering Journal, AISC, Vol. 22. No.2, 2nd Quarter, 77-94.
29. Higgins, A., 2005, “Design of all-Bolted Extended Double Angle, Single Angle, and Tee Shear Connections”, Thesis Presented to the Graduate School, University of Florida.
30. Principles of Structural Design, CRC Press, Editors: W.F. Chen, University of Hawaii, Honolulu, USA; E.M. Lui, Syracuse University, New York, USA, 2005.
31. Richard, R.M., et.al, 1983, “Analytical Models for Steel Connections, Behavior of Metal Structures”, Proceedings of the W. H. Munse Symposium, W. J. Hall and M. P. Gaus, eds. May 17, ASCE, NY.
32. Salmonand, C. G., Jonson, J. E, 1992, Steel Structures Design and Construction, 3rd ed., New York.
33. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 341-05), 2005.
34. Abaqus 6.11 , Abaqus Analysis User's Manual.
35. SAC. “Seismic design criteria for new moment-resisting steel frame construction.” *Report No.*