چکیده

رفتار سازه های فولادی در برابر بارهای لرزه ای به طور مستقیم وابسته به عملکرد اتصالات آنها در انتقال نیروهای برشی و خمشی است .برای طراحی اتصالات خمشی تیر به ستون در سازههای فولادی از تئوری کلاسیک تیرها استفاده می شود، که بر آن اساس، در مقاطع H شکل مقدار عمدهای از نیروهای خمشی به وسیله بالهای تیر و مقدار نسبتاً کمی از طریق جان تیر به ستون منتقل می گردد .در انتقال برش در این نوع اتصالات، بخش عمدهای از برش توسط جان تیر انتقال می یابد و مقدار کمی که حدوداً زیر ۱۰ درصد است، توسط بالها انتقال پیدا می کند .بنابراین اتصال جان تیر به ستون برای انتقال برش در اتصالات خمشی تیر به ستون از اهمیت ویژهای برخوردار است .به عبارت دیگر، اگر اتصال جان تیر به ستون حذف گردد، مقدار زیادی از ظرفیت برشی سیستم کاسته می شود .از سوی دیگر، تجارب زلزله های گذشته مواردی از اتصالات تیر به ستون را نشان داده است، که درحالیکه تنها بین بال تیر و ستون اتصال قابل قبولی وجود داشته، و اتصال جان تیر به صورت مطلوب نبوده، در مقابل زلزله عملکردی بهتر از حد مورد انتظار، از خود نشان داده اند .در نتیجه، این ایده که ضعف اتصال در قسمت جان تیر سبب تضعیف قابل توجه ظرفیت باربری سیستم می گردد، ممکن است با واقعیت انطباق کمتری داشته باشد. در این تحقیق سعی شده با مقایسه اتصالات متفاوت به یک نوع اتصال مناسب که رفتاری بهینه داشته باشد، رسید.

۱. برای این منظور ۷ نوع اتصال تیر به ستون با ورقهای اتصال متفاوت مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته اند. پنج عدد از آنها اتصالات رایج و مورد استفاده در بازار می باشد و دو عدد دیگر اتصالات بهینه بیان شده در مقالات پیشین می باشند که ورد بررسی قرار گرفته اند. اتصالات در نرم افزار ANSYS مدلسازی شده و پس از طراحی با مقایسه خروجی های نرم افزار اتصال بهینه بدست آمده است. بررسی های انجام شده نشان می دهد اتصالات پیشنهادی

در مقالات دارای گیرداری در حد بالایی می باشد و در محاسبات نیز با دقت زیادی می توان آنها را به صورت گیردار فرض کرد.

فصل ۱ ..... ۶

۱-۱ مقدمه ۶

۱-۲ هدف از تحقیق ۷

۱-۲-۱ اهداف کلی: ۷

۱-۲-۲ اهداف اختصاصی: ۷

۱-۳ فرضیه های پژوهش ۸

۱-۴ روش تحقیق ۸

۱-۵ سوالات پژوهش ۸

فصل ۲ ..... ۹

۲-۱ مقدمه ۹

۲-۲ حامد صفاری ,رضا رهگذر و امیر احمد هدایت در مقاله ای به بررسی تاثیر سخت کننده ها بر روی مقاومت نهایی و شکل پذیری اتصالات صلب تیر به ستونهای زوج ساخته شده از بست موازی پرداخته اند[۱۶]. ۱۱

۲-۲-۱ مدل محاسباتی ۱۱

۲-۲-۲ تحلیل غیر خطی هندسی و مصالح ۱۲

۲-۲-۳ بارگذاری ۱۲

۲-۲-۴ انواع سخت کننده های مورد بررسی ۱۳

۲-۲-۵ منحنیهای ممان-دوران اتصالات ۱۴

۲-۲-۶ نتیجه گیری ۱۵

۲-۳ ابوالفضل مختاری حسن ابادی, جواد مکاری رحم دل و سپیده کیانی در مقاله ای به بررسی استفاده از سخت کننده های بیرونی به جای ورقهای پیوستگی در اتصالات تیر به ستون فولادی با مقطع قوطی پرداخته اند[۱۷]. ۱۶

۲-۳-۱ مدل آزمایشگاهی ۱۶

۲-۳-۲ فرضیات در مدل سازی ۱۷

۲-۳-۳ نتایج مدل آزمایشگاهی با مدل عددی ۱۸

۲-۳-۴ بررسی سخت کنندههای بیرونی به جای اجرای ورق پیوستگی ۱۹

۲-۳-۵ فرضیات مدل سازی و معرفی مدل های دارای سخت کننده ۲۰

۲-۳-۶ نتایج ارزیابی سخت کنندهها ۲۱

۲-۳-۷ نتیجه گیری ۲۵

۲-۴ مهبان ارغوانی ، مسعود خزایی پول و منصور ضیائیفر در مقاله ای به مطالعه تحلیلی نحوه انتقال برش در ناحیه اتصال تیر به ستون در قاب های خمشی فولادی جوشی پرداخته اند[۱۸]. ۲۶
۲-۴-۱ انتقال برش بر اساس تئوری کلاسیک تیرها ۲۷
۲-۴-۲ مطالعه تحلیلی ۲۸
۲-۴-۳ بررسی نقش جان بر روی انتقال برش ۳۱
۲-۴-۴ تفسیر نتایج ۳۴
۲-۴-۵ نتیجه ۴۰
۲-۵ محسن گرامی، وحید صابری و حمید صابری در مقاله ای به بررسی و مقایسه تحلیلی عملکرد تناوبی اتصالات پیچی تیر به ستون با صفحه انتهایی و سپری اتصال با تغییرآرایش افقی پیچهای ستونی پرداخته اند[۱۹]. ۴۱
۲-۵-۱ هدف و روند انجام تحقیق ۴۲
۲-۵-۲ شیوه مدلسازی و معتبرسازی آن ۴۲
۲-۵-۳ معرفی نمونه های تحلیلی اجزاء محدود ۴۷
۲-۵-۴ بررسی نتایج حاصل از تحلیل نمونه ها ۵۲
۲-۵-۵ خلاصه و نتیجه گیری ۶۰
فصل ۳ ۶۲
۳-۱ مقدمه: ۶۲
۳-۲ طرح تحقیق ۶۶
۳-۳ انواع اتصالات در ساختما نهای فولادی ۶۷
۳-۴ اتصال تیر به ستون ۶۷
۳-۴-۱ اتصال ساده تیر به ستون (مفصلی) (hinge connection) ۶۸
۳-۴-۲ اتصال صلب تیر به ستون (Rigid Connection): ۷۹
۳-۴-۳ اتصال نیمه صلب تیر به ستون(Semi-rigid-Connection) ۸۳
۳-۴-۴ اتصال کنسول ها به ستون ۸۴
۳-۴-۵ اتصال مهاربند به قاب فولادی ۸۶
۳-۴-۶ اتصال پای ستون ۸۹
۳-۴-۷ وصله ها ۹۲
۳-۵ طراحی اتصالات تیر به ستون: ۱۰۱
۳-۵-۱ انواع اسکلت فولادی: ۱۰۱
۳-۵-۲ اتصال ساده ۱۰۲

۳-۵-۳ اتصالات نیمه صلب ۱۰۳
۳-۵-۴ اتصالات صلب (طراحی الاستیک) ۱۰۵
۳-۵-۵ اتصالات برای طراحی خمیری ۱۰۵
۳-۵-۶ عوامل مهم در طرحی اتصالات ۱۰۶
۳-۶ روشها و دتایلهای اجرایی ۱۱۱
۳-۶-۱ اتصال ساده تیر به ستون توسط جفت نبشی جان : ۱۱۱
۳-۶-۲ اتصال ساده تیر به ستون توسط نبشی نشیمن انعطاف پذیر : ۱۱۳
۳-۶-۳ اتصال ساده تیر به ستون با نبشی نشیمن تقویت شده (سخت شده): ۱۱۳
۳-۶-۴ اتصال صلب تیر به ستون : ۱۱۴
۳-۶-۵ اتصال قیچی (خورجینی) ۱۱۵
۳-۷ نرم افزار ANSYS ۱۱۶
فصل ۴ ۱۲۰
۴-۱ مقدمه ۱۲۰
۴-۲ مدل اجزاء محدود ۱۲۳
۴-۳ مدل ها ۱۲۴
۴-۳-۱ تحلیل غیر خطی هندسی و مصالح ۱۲۵
۴-۳-۲ بارگذاری ۱۲۶
۴-۳-۳ اشکال مختلف سخت کننده های مدلسازی شده ۱۲۶
۴-۳-۴ خروجی های نرم افزار ۱۲۸
فصل ۵ ۱۴۴
۵-۱ منحنی های ممان-دوران اتصالات ۱۴۴
۵-۲ منحنی های تنش ۱۴۵
۵-۳ تجزیه و تحلیل نتایج ۱۴۶
۵-۴ نتیجه گیری ۱۴۸
۵-۵ پیشنهادات ۱۴۹
فصل ۶ ۱۵۰

فصل ۱

مقدمه و کلیات

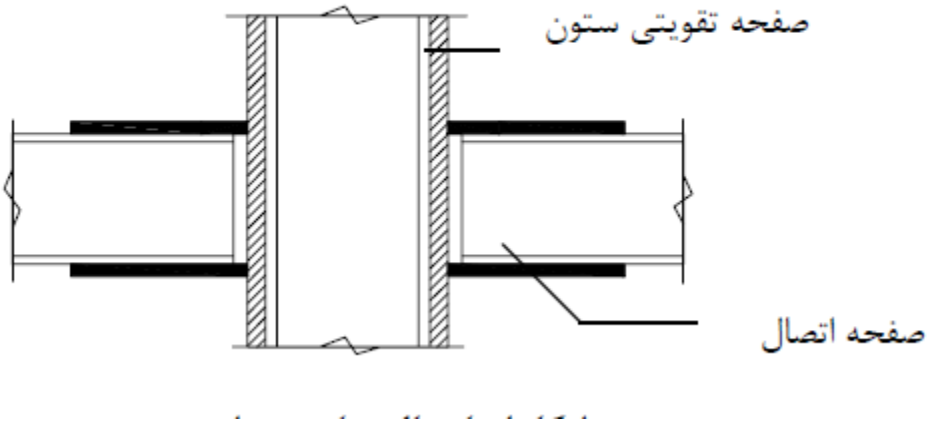
۱-۱ مقدمه

معمولا از اتصالات تیر به ستونهای زوج با صفحات اتصال بالا و پایین (شکل ۱)به عنوان اتصالات صلب یاد می شود.

در سازه های معمولی این اتصالات بدلیل سادگی اجرا و هزینه کم نسبت به سایر اتصالات بیشتر مورد استفاده قرار میگیرند . از عوامل ضعف این اتصال جدا شدن صفحه تقویتی ستون از بال ستون و کمانش جان ستون میباشد . به همین دلیل از یک سری سخت کننده در محل اتصال استفاده می شود .

اتصالات صلب با صفحات اتصال بالا و پایین رفتار بسیار پیچیده ای دارند و عوامل زیادی بر رفتار آنها اثر میگذارند از مهمترین آنها شکل وآرایش سخت کننده ها میباشد . بهترین روش برای بررسی این اتصالات انجام آزمایش است ولی این آزمایشات اغلب پرهزینه و وقتگیر هستند .در این مقاله با استفاده

از نرم افزار *ANSYS* که توانایی تحلیل غیر خطی مسائل را به روش اجزا ء محدود دارد , نخست اتصالات صلبی مدلسازی شده است. برای آنالیز اتصالات از تحلیل غیر خطی هندسی و مصالح استفاده شده است به همین منظور در ابتدا نمونه هایی از ورقها و پروفیل های اتصال بریده شده و تحت آزمایش کشش قرار گرفته اند . با تغییر در شکل و آرایش سخت کننده ها , یک سخت کننده که تاثیر مناسبتری در افزایش سختی و مقاومت نهایی اتصال , نسبت به سخت کننده ها دارد معرفی شده است . منحنی های ممان –دوران اتصالات با توجه به انواع سخت کننده ها (سخت کننده های متداول و پیشنهادی)ارائه شده و سختی و مقاومت نهایی آنها مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱-۱ اتصال صلب جوشی

۱-۲ هدف از تحقیق

۱-۲-۱اهداف کلی:

- رسیدن به مدل مطلوب با مقاوت وشکل پذیری مناسب.

۱-۲-۲ اهداف اختصاصی:

- مدلسازی سخت کننده ها با اندازه های متفاوت

- تحلیل غیر خطی مدلهای بند ۱ با استفاده از نرم افزار *ANSYS*
- مقایسه نتایج حالات مختلف برای رسیدن به مدل مطلوب با مقاوت وشکل پذیری مناسب.

۱-۳ فرضیه های پژوهش

- مدل سخت کننده بهینه ای برای اتصالات تیر به ستون از نظر مقاومت نهایی و شکل پـذیری وجود دارد.
- انواع مختلف سخت کننده ها تاثیر گوناگونی دارد.

۱-۴ روش تحقیق

در این پروژه از نرم افزار ANSYS برای مدل کردن نحوه های مختلف سخت کننده هادر اتصال تیر به ستون استفاده شده است تا به مدل بهینه ای از سخت کننده ها برسیم. مـدلی کـه دارای مقاومـت و شکل پذیری مطلوب تری نسبت به سایر موارد باشد.

۱-۵ سوالات پژوهش

- نوع مختلف سخت کننده ها چه تاثیری بر مقاومت نهایی و شکل پذیری اتصالات تیر به ستون دارد؟
- آیا حالت بهینه ای برای سخت کننده های از لحاظ مقاومتی وشکل پذیری وجود دارد؟

فصل ۲

تاریخچه تحقیق

۲-۱ مقدمه

رفتار سازه های فولادی در برابر بارهای لرزه ای به طور مستقیم وابسته به عملکرد اتصالات آنها در انتقال نیروهای برشی و خمشی است .برای طراحی اتصالات خمشی تیر به ستون در سازههای فولادی از تئوری کلاسیک تیرها شکل مقدار H استفاده میشود، که بر آن اساس، در مقاطع عمدهای از نیروهای خمشی به وسیله بالهای تیر و مقدار نسبتاً کمی از طریق جان تیر به ستون منتقل میگردد .در انتقال برش در این نوع اتصالات، بخش عمدهای از برش توسط جان تیر انتقال مییابد و مقدار کمی که حدوداً زیر ۱۰ درصد است،

توسط بالها انتقال پیدا میکند .بنابراین اتصال جان تیر به ستون برای انتقال برش در اتصالات خمشی تیر به ستون از اهمیت ویژهای برخوردار است .به عبارت دیگر، اگر اتصال جان تیر به ستون حذف گردد، مقدار زیادی از ظرفیت برشی سیستم کاسته میشود .از سوی دیگر، تجارب زلزله های گذشته مواردی از اتصالات تیر به ستون را نشان داده است، که درحالیکه تنها بین بال تیر و ستون اتصال قابل قبولی وجود داشته، و اتصال جان تیر به صورت مطلوب نبوده، در مقابل زلزله عملکردی بهتر از حد مورد انتظار، از خود نشان داده اند .در نتیجه، این ایده که ضعف اتصال در قسمت جان تیر سبب تضعیف قابل توجه ظرفیت باربری سیستم میگردد، ممکن است با واقعیت انطباق کمتری داشته باشد.

در طی دهه های گذشته به خصوص بعد از زلزله نورتریج در سال ۱۹۹٤ ، مطالعات فراوانی برای بررسی رفتار اتصالات خمشی تیر به ستون انجام شده است .محققان ژاپنی مطالعات زیادی برای بررسی اثر دما بر روی عملکرد اتصالات فولادی جوشی، خصوصیات مکانیکی فلز مبنا و جوش، اثرات هندسه جوش و جزئیات آن، بر اساس آزمایشهای دینامیکی انجام داده اند [۱]. به علت ضعفهای فروان اتصالات در سازه های فولادی در زلزله نورتریج و کوبه، محققان آمریکایی مطالعات وسیعی برای پیدا کردن راه حلی برای تقویت و بازسازی اتصالات موجود در قابهای خمشی فولادی و همچنین طراحی اتصالات با آسیب پذیری کمتر در مقابل بارهای لرزه ای انجام دادهاند، که بر اساس این مطالعات، ایده های جدیدی برای اتصال تیر به ستون در قابهای خمشی پیشنهاد شده است[۲].

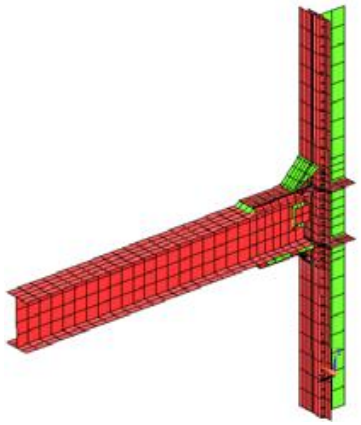
اتصالات فولادی عموماً بر اساس تئوری کلاسیک تیرها که بر مبنای تئوری تیر برنولی میباشد و بر اساس آن، مقطع تیر بعد از خمش به صورت صفحه باقی میماند، طراحی میشوند .در هر حال، کاربرد تئوری کلاسیک تیرها برای استفاده در طراحی اتصالات خمشی پس از زلزله نورتریج به چالش کشیده شده است .یوانگ و همکارانش نشان دادهاند، که استفاده از ورقهای سه گوش در زیر بال فشاری، میتواند از اصلاح جوش بال فشاری جلوگیری کند .آنها همچنین نشان دادند که تئوری کلاسیک تیرها نمیتواند پیشبینی قابل اعتمادی از

توزیع تنش در اتصالات خمشی جوشی داشته باشد [۳] .اعتبار استفاده از روابط ارائه شده در تئوری کلاسیک تیرها برای استفاده وسیع در طراحی اتصالات، توسط پوپوف و همکاران به طور کامل به چالش کشیده شده است [٤] . گل و همکاران برای طراحی اتصالات خمشی جوشی یک مدل خرپایی پیشنهاد دادند، که میتواند انتقال برش و خمش را در ناحیه اتصال به شکل واقع بینانه تری نسبت به روشهای کلاسیک نشان دهد[٥]. لی مطالعاتی برای بررسی نحوه انتقال برش در اتصالات خمشی جوشی به صورت آزمایشگاهی و تحلیلی انجام داده، و نشان داده است که توزیع تنش در این نوع اتصالات، به طور قابل ملاحظهای با تئوری کلاسیک تیرها متفاوت است[٥].

۲-۲ حامد صفاری ,رضا رهگذر و امیر احمد هدایت در مقاله ای به بررسی تاثیر سخت کننده ها بر روی مقاومت نهایی و شکل پذیری اتصالات صلب تیر به ستونهای زوج ساخته شده از بست موازی پرداخته اند[١٦].

۲-۲-۱ مدل محاسباتی

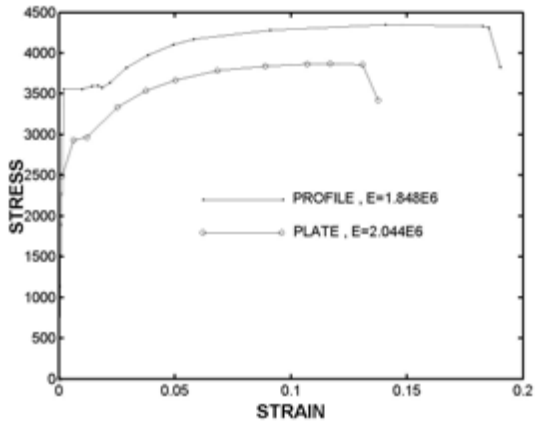
شکل (۲-۱) نشان دهنده مدل اجز اء محدود اتصال صلب با صفحات اتصال بالا و پایین توسط نرم افزار *ANSYS* می باشد .با توجه به وجود تقارن در هندسه و بارگذاری، دو صفحه تقارن Z و X وجود داشته , درنتیجه فقط ربع اتصال مدل شده است . طول ستون زوج و تیر۱.۲۰ متر در نظر گرفته شده است . تیر از دو پروفیل *IPE ۱٦۰* و ستون از دو پروفیل*IPE ۱۸۰* به فاصله ۱۲*cm* از یکدیگر با ورق تقویتی به ضخامت۱.٥ *cm* و پهنای ۱۸ *cm* ساخته شده است .



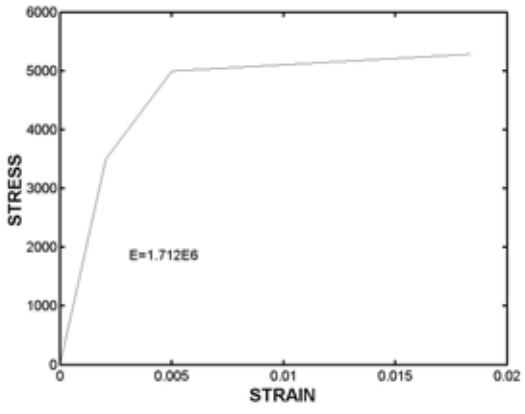
شکل ۲-۱ **مدل اجزا محدود برای اتصال صلب در نرم افزار** *ANSYS*

۲-۲-۲ تحلیل غیر خطی هندسی و مصالح

جهت مدلسازی ,نخست ورقها و پروفیلهای اتصالات تحت آزمایش کشش قرارگرفته اند . در نتیجه منحنیهای تنش – کرنش معرفی شده به نرم افزار برای پروفیل ها و ورقها دقیقًا همان منحنی های بدست آمده از آزمایش کشش می باشند. (شکل ۲-۲-الف) و منحنی تنش- کرنش برای جوشها به صورت سه خطی در نظر گرفته شده است.(شکل ۲-۲-ب)



شکل ۲-۲ الف :منحنی تنش-کرنش پروفیلها و ورقها



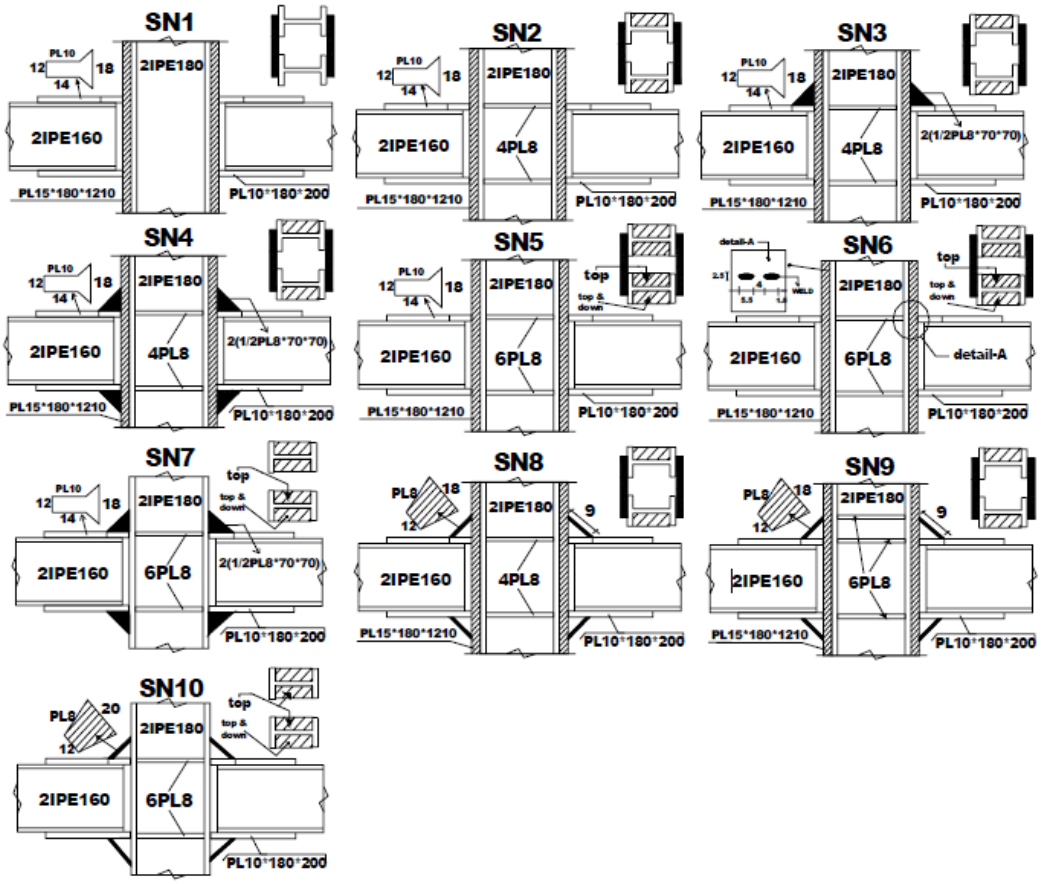
شکل ۲-۲ ب :منحنی تنش-کرنش جوشها

۲-۲-۳ بارگذاری

بخاطر در نظر گرفتن اثر توأم برش و خمش بر اتصال و با توجه به بارگذاری اتصال در هنگام آزمایش , بارهای گره ای بر خلاف نمونه آزمایشگاهی که بر سر ستون وارد شده بود در مدل کا مپیوتری بر سر تیرها وارد گردیده و پای ستونها گیردار شده است .

۲-۲-۴ انواع سخت کننده های مورد بررسی

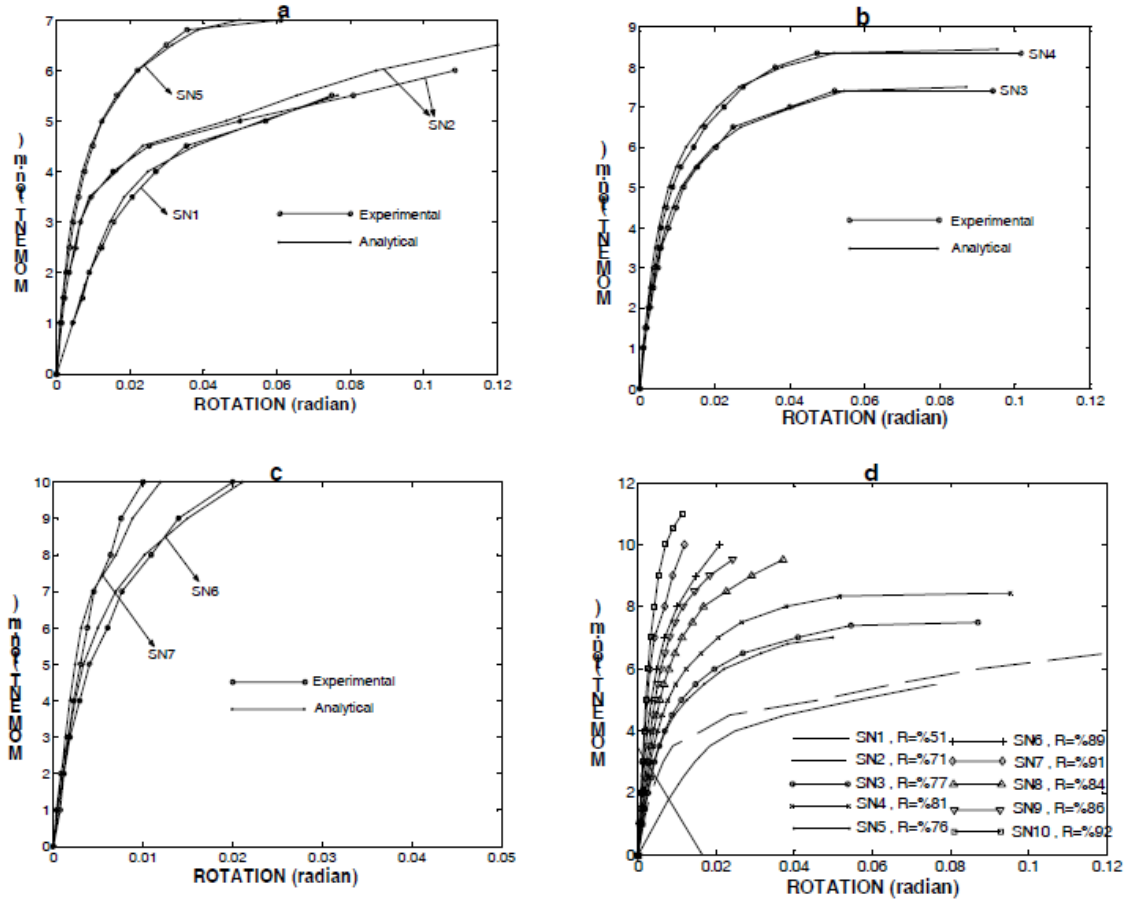
در این مرحله ۱۰ اتصال با آرایشهای گوناگون سخت کننده ارائه شده است که ۷ نمونه اول اتصالات *SN1* تا *SN7* نمونه های آزمایش شده در مراجع میباشند و نمونه های *SN10* تا *SN8* سخت کننده های پیشنهادی هستند (شکل ۲-۳) . در نمونه *SN6* برای جلوگیری از جداشدن صفحه تقویتی از بال ستون دو شکاف در ورق تقویتی روبروی صفحه اتصال کششی ایجاد شده و با جوشکاری به روش کام پر شده است . برای رفع این مشکل در نمونه *SN7* ورق تقویت ی ستون حذف شده است . در نمونه های *SN8* تا *SN10* به جای استفاده از لچکی ها از یک ورق مستطیلی استفاده شده که به صورت مورب صفحه اتصال کششی را به بال ستون و یا ورق تقویتی متصل میکند.



شکل ۲-۳ **انواع سخت کننده های مورد بررسی**

۲-۲-۵ منحنیهای ممان-دوران اتصالات

در اشکال(۲-٤ -c) تا (۲-٤- a) مقایسه بین منحنیهای ممان- دوران نمونه های آزمایشگاهی و مدلهای اجزاء محدود برای ۷ نمونه *SN۱* تا *SN۷* (شکل ۲-۳) آورده شده است . همانطور که مشاهده مـی شـود مـدلهای ساخته شده از دقت بالایی برخوردار هستند . (در شکل۲-٤-d) مقایسه بین منحنیهای ممـان- دوران ایـن ۷ نمونه و سه سخت کننده پیشنهادی *SN۸* تا *SN۱۰* ارائه شده است . همانطور که مشاهده می شود سـخت کننده های پیشنهادی باعث افزایش سختی و تا حدودی کاهش شکل پذیری اتصال شده اند . خط تیر برای تیری به طول ۳.۵ متر و بار گسترده خطی ۳.٤ تن بر متر رسم شده است.



شکل ۲-۴ مقایسه بین منحنیهای ممان-دوران نمونه های آزمایشگاهی و مدلهای اجزاء محدود

۲-۲-۶ نتیجه گیری

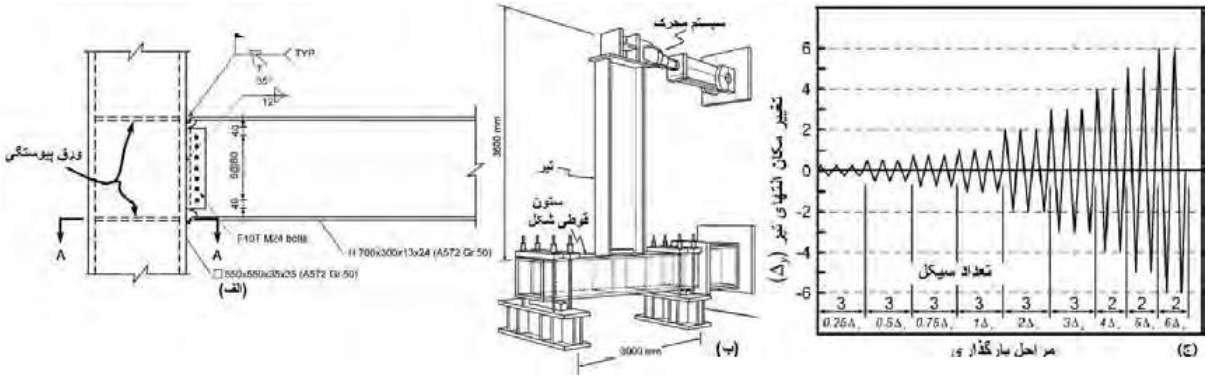
اتصالات صلب جوشی رفتار بسیار پیچیده ای دارند و عوامل زیادی بر رفتار سازه ای آنها اثر مـی گذارنـد . بهترین روش برای بررسی رفتار این اتصالات انجام آزمایش است که این آزمایشات اغلب پرهزینه و وقتگیر میباشند . ولی میتوان رفتار این اتصالات را با یک نرم افزار اجزا محدود که قادر به انجام تحلیل غیـر خطـی مصالح باشد با دقت خوبی بررسی کرد .از مطالعات عددی انجام ش ده چنین نتیجه شد که اتصالات صلب جوشی متداول , اتصالات کاملا گیرداری نبوده و طراحان می بایست با به کاربردن میزان گیرداری آنها , قاب خمشی را با اتصالات نیمه گیردار تحلیل نمایند . ولی در این اتصالات می توان با حذف عنصر واسطه انتقال نیرو (صفحه تقویتی ستون) مطابق با نمونه های ٦ ,٧ و ١٠ اتصال صلب ایجاد کرد . در اتصـالات صـلب

استفاده از سخت کننده های مستطیلی مورب (نمونه های۹، ۸و ۱۰) به مراتب مـوثرتر از اسـتفاده از لچکـی های مثلثی (نمونه های۳, ٤ و ۷) می باشد.

۲-۳ ابوالفضل مختاری حسن ابادی, جواد مکاری رحم دل و سپیده کیانی در مقاله ای به بررسی استفاده از سخت کننده های بیرونی به جای ورقهای پیوستگی در اتصالات تیر به ستون فولادی بـا مقطـع قوطی پرداخته اند[۱۷].

۲-۳-۱مدل آزمایشگاهی

برای مدل آزمایشگاهی از مدل چن وهمکاران [۱۵] استفاده شده و در این مدل آزمایشگاهی ورق پیوستگی در داخل ستون اجرا شده است. ستون قوطی شکل به طـول ۳m و ابعـاد mm ۳۵×۳۵×۵۵۰×۵۵۰ تیـرI شکل به طول ۳.٦ m و ابعاد mm ۲٤×۱۳×۳۰۰×۷۰۰ وضخامت ورق پیوستگی داخل ۲٤mm میباشد. در این اتصال خمشی برای گیر دار کردن اتصال , بال بالا و پایین تیر را به کمک جوش کاملا بـه سـتون متصل کرده و در قسمت جان تیر، شیار دسترسی برای دسترسی برای جوش بال تیر به ستون ایجاد شـده است. جان تیر نیز توسط پیچ به یک ورق متصل واین ورق به یک ستون جوش می باشد. جزئیات اتصال تیر به ستون در شکل ۲-۵ الف نشان داده شده است. در شـکل ۲-۵ ب ، نمونـه مـورد آزمـایش چـن و همکاران تحت شرایط تکیه گاهی و بارگذاری چرخه ای مطابق پرتکل نشان داده شـده در شـکل ۲-۵ ج مورد آزمایش قرار می گیرد.



شکل ۲-۵جزئیات اتصال تیر به ستون (الف) ، نحوه ساخت مدل آزمایشگاهی چن (ب)، جزئیات بارگذاری چرخه ای مدل آزماشگاهی چن (ج).

چن و همکاران برای این که نتایج آزمایش دقیق باشد، آزمایش کششی برای ورق های مورد استفاده در آزمایش را انجام داده اند. نتایج آزمایشگاهی تست کششی ورق های مورد استفاده در تیر و ستون در مدل آزمایشی تست کششی ورقهای مورد استفاده در تیر و ستون در مدل آزمایشی بصورت جدول ۲-۱ می باشد.

جدول ۲-۱ نتایج آزمایش تست کششی

ورق ها	تنش تسلیم (MPa)	تنش گسیختگی (MPa)
بال تیر	396	516
جان تیر	422	529
ورق ستون	412	562

۲-۳-۲ فرضیات در مدل سازی

۱. برای مدل سازی از نرم افزار ANSYS کمک گرفته و از المان shell۴۳ استفاده شده است.

۲. در این مدل سازی جوش و پیچ و شیار دسترسی برای جوش و تنش پسماند مدل نشده است. اتصال بین تیر و ستون به طور مستقیم مدل شده است.

٤. مدول الاستیسیته $۲/۰۵ \times ۱۰^{۱۱}$ $N/m^۲$ و نسبت پواسون ۰/۳ و کرنش نهایی مصالح ۰/۲ فرض شده است.

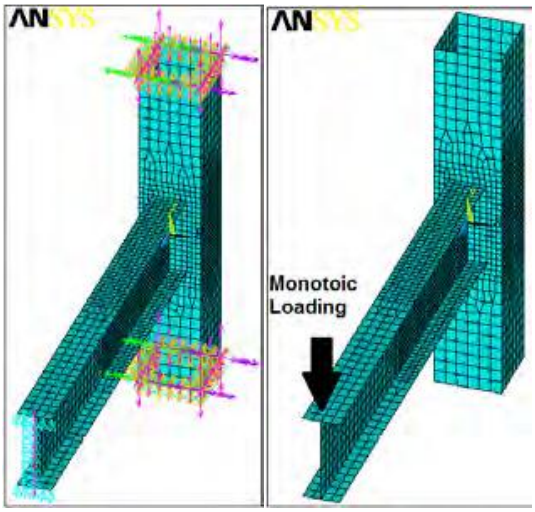
٦. رفتار تنش – کرنش مصالح به صورت دوخطی مدل شده است (جدول ۲-۲).

جدول ۲-۲ نمودار تنش – کرنش معرفی شده اعضا تیر و ستون در نرم افزار است (مطابق آزمایشی کششی فولاد)

ورق ستون		جان تیر		بال تیر	
ε	(Mpa)σ	ε	(Mpa)σ	ε	(Mpa)σ
0	0	0	0	0	0
0.00201	412	0.00206	422	0.00193	396
0.2	562	0.2	529	0.2	516

۷. تمام گره‌های بالا و پایین ستون در مدل‌سازی در تمام درجات آزادی بسته شده است (شکل ۲-٦). تغییر مکان جانبی در انتهای تیر محدود شده است.

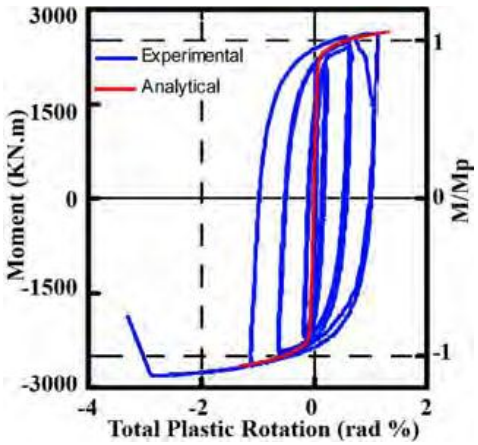
۸. بارگذاری در نرم افزار در یک جهت (Monotonic) انجام شده است. نکته مهم در بارگذاری این است که، بارگذاری را تا جایی ادامه می‌دهیم تا تنش ماکزیمم در اتصال، به تنش گسیختگی برسد. به دلیل اینکه تکنیک بارگذاری به صورت کنترل تغییر مکان می باشد.



شکل ۲-۶ نمایش مدل شبیه سازی شده در **ANSYS**، نحوه مش بندی، محل بارگذاری و بستن تمام درجات آزادی در دو انتهای ستون

۲-۳-۳ نتایج مدل آزمایشگاهی با مدل عددی

یکی از مهمترین نتایج مدل آزمایشی (مدل چن) نمودار لنگر ـ دوران پلاستیک کلی می‌باشد که نتیجه مدل عددی را با این نمودار مقایسه می‌کنیم. در شکل ۲-۷ نتایج مدل آزمایشی و مدل عددی نشان داده شده است. نتایج مدل آزمایشی و مدل عددی به خوبی با یکدیگر مطابقت دارند و منحنی به دست آمده از مطالعه عددی، ژوش منحننی هیسترزیس به دست آمده از کار آزمایشگاهی می باشد و به این ترتیب نتایج مدل عددی تایید می شود.

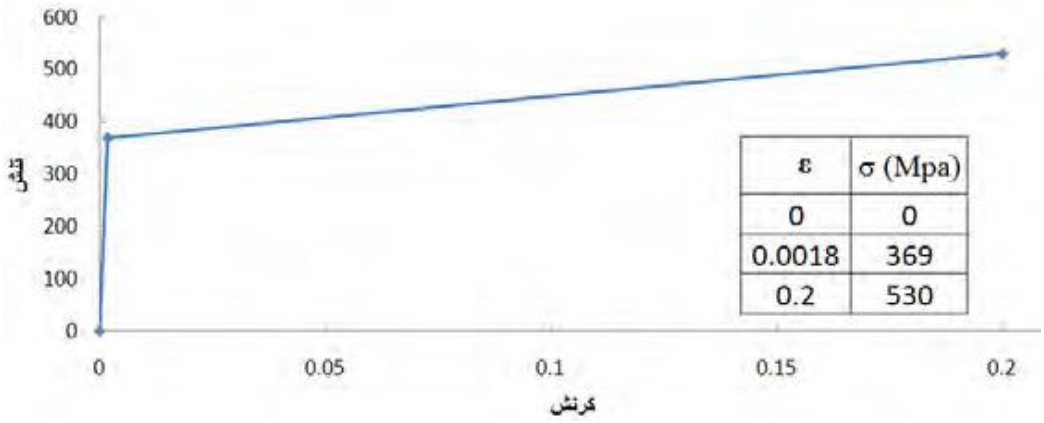


شکل ۲-۷ مقایسه نمودار لنگر ـ دوران پلاستیک کلی بین مدل آزمایشگاهی چن و مدل عددی (هر دو مدل با ورق پیوستگی می باشند).

۲-۳-۴ بررسی سخت کننده‌های بیرونی به جای اجرای ورق پیوستگی

در این قسمت برای ارائه راهکار مناسب در اتصالاتی که دارای ورق پیوستگی نیستند، بررسی‌هایی انجام می‌شود. اتصالات بدون ورق پیوستگی دارای ضعف در انتقال نیرو از تیر به ستون می باشند، پس می‌توان با اضافه کردن اعضایی (سخت کننده) به محل اتصال، ضعف در انتقال نیرو را کاهش داد. سخت کننده‌ها را به بال تیر اضافه می‌کنیم به طوری که عرض بال تیر بیشتر شود. با این کار، انتقال نیروی از تیر به جان ستون بهتر صورت می‌گیرد.

در مدل اتصال با ورق پیوستگی به دلیل استفاده از مدل آزمایشگاهی که دارای سه نوع منحنی تنش ـ کرنش بود، سه نوع مصالح با تنش کرنش مختلف در مدل سازی استفاده شد، اما در این مدلها برای سهولت از یک نوع منحنی تنش ـ کرنش استفاده شده است. برای این مدل‌ها از فولاد ST۵۲ استفاده و نمودار تنش ـ کرنش به صورت زیر فرض شده است (شکل ۲-۸).

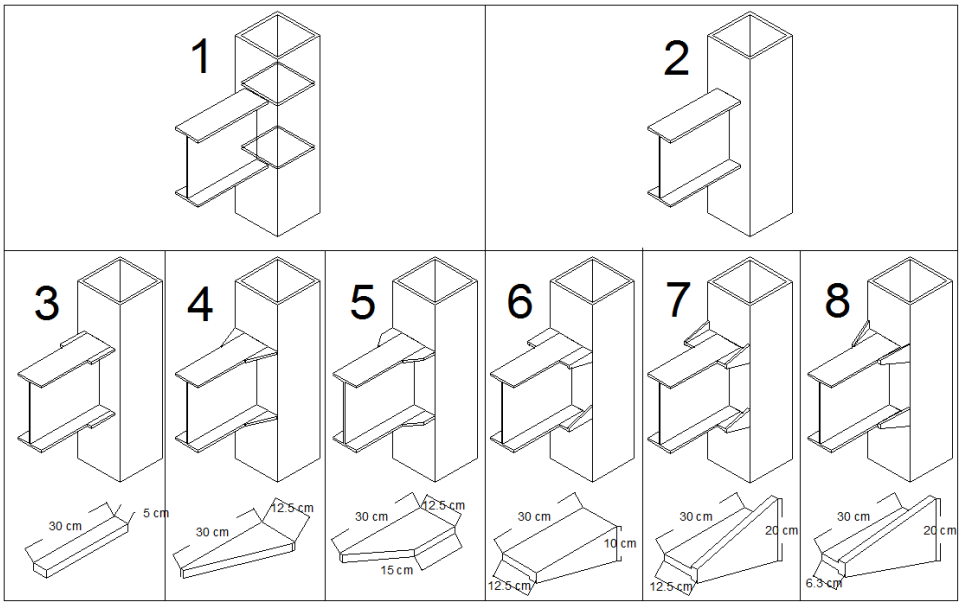


شکل ۲-۸ نمودار تنش ـ کرنش مصالح

۲-۳-۵ فرضیات مدل سازی و معرفی مدل های دارای سخت کننده

فرضیات به کار رفته در این مدل سازی‌ها همانند مدل سازی قبلی (با ورق پلاستیکی) می باشد البته با این تفاوت که از نمودار تنش ـ کرنش فولاد ST۵۲ استفاده شده است. ضخامت سخت کننده‌ها مساوی ضخامت بال تیر (۲/٤ cm) و طول سخت کننده‌ها ۳۰ cm فرض شده است.

ابتدا با عریض تر کردن بال تیر، عرض بال تیر را هم عرض ستون کرده و سپس با اضافه کردن ارتفاع قسمت انتهای سخت کننده سختی اتصال را بیشتر می کنیم. مشخصات، ابعاد و اندازه و محل قرارگیری سخت کننده‌های مورد بررسی به صورت زیر می باشد (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۹ نمونه های اتصال تیر **I** به ستون قوطی با انواع سخت کننده های پیشنهادی