دانشگاه یزد
دانشکده فنی و مهندسی
گروه عمران

پایان نامه جهت اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد
عمران - سازه

مدل اتصالات نیمه صلب با روش المان محدود

استاد راهنما:
آقای دکتر نادر عبدلی

استاد مشاور:
آقای دکتر بهروز احمدی

نگارش:
بابک بصیرت

مهر ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحیم

قدردانی

سپاس خداوندی را که در تمامی مراحل، در پیمودن مسیر زندگی یاری ام نموده است. در ابتدای این پایان نامه به جا می دانم از تمامی اساتیدی که مرا در به اتمام رساندن آن یاری نموده اند تشکر و قدردانی نمایم، همچنین از تمامی کا در دلسوز و زحمتکش گروه عمران و همچنین تمامی دوستانم کمال تشکر را دارم.

تا جهان بود از سر آدم فراز

کس نبود از راه دانش بی نیاز

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

و

همسر عزیزم

چکیده

در این پایان نامه دو مدل اتصال نیمه صلب با نام های اتصال ورق انتهایی پی‌ش آمده از پایین و اتصال بالا و پایین نبشی به همراه جفت نبشی جان ، با استفاده از نرم افزار المان محدود ABAQUS مدل شده اند. کلیهٔ داده های این اتصالات از جمله مشخصات هندسی مقاطع جنس فولاد، نحوهٔ سرهم بندی قطعات و نوع بارگذاری و تکیه گاه ها براساس یک پایان نامهٔ کارشناسی ارشد با عنوان مطالعهٔ تجربی قاب های بدون مهاربندی نیمه صلب ارائه شده است . این پایان نامه توسط اِن جی یوا هونگ[1] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه ملی سنگاپور در سال ۱۹۹۶ در آزمایشگاه آن دانشگاه تهیه شده بود. در این پایان نامه این دو اتصال نیمه صلب فولادی با استفاده از نرم افزار ABAQUS مدل سازی شده اند و سپس برای بررسی صحت مدل سازی منحنی‌های ممان ـ چرخش بدست آمده از نرم افزار با منحنی های ممان ـ چرخش آزمایشگاهی مقایسه شده اند، سپس این دو اتصال تحت بارگذاری ترکیبی استاتیکی ـ حرارتی قرار گرفته و منحنی های ممان ـ چرخش و کرنش ـ بار این اتصالات تحت دماهای بالارونده جهت بررسی رفتار این دو اتصال در این دماها بدست آمده اند.

1. NG YIAW HEONG

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل اول : مقدمه

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ پیش زمینه ۱

۱-۳ هدف ۲

۱-۴ مفاد تحقیق ۲

۱-۵ تاریخچه ۲

فصل دوم: کلیاتی در مورد اتصالات نیمه صلب و روش های تحلیل

۲-۱ مقدمه ۴

۲-۲ انواع اتصالات برحسب فن اتصال ۴

۲-۲-۱ پرچ ۴

۲-۲-۲ پیچ ۵

۲-۲-۳ جوش ۵

۲-۳ انواع اتصالات بر حسب میزان صلبیت آنان ۶

۲-۳-۱ اتصال صلب ۶

۲-۳-۲ اتصال ساده ۶

۲-۳-۳ اتصالات نیمه صلب ۶

۲-۴ بررسی مفاهیم صلبیت، مقاومت و شکل پذیری اتصالات ۱۱

۲-۴-۱ صلبیت اتصال ۱۱

۲-۴-۲ مقاومت اتصال ۱۲

۲-۴-۳ شکل پذیری اتصال ۱۳

۲-۵ مقدمه ای بر رفتار اتصالات نیمه صلب ۱۵

۲-۶ بررسی رفتار اتصالات ۱۶
۲-۷ انواع اتصالات نیمه صلب ۲۱
۲-۷-۱ اتصالات تک نبشی جان (صفحهٔ منفرد) ۲۱
۲-۷-۲ اتصالات با دو نبشی جان ۲۱
۲-۷-۳ اتصالات با صفحهٔ بالاسری ۲۱
۲-۷-۴ اتصالات با نبشی نشیمن و فوقانی ۲۲
۲-۷-۵ اتصالات با نبشی نشیمن و فوقانی به همراه نبشی جان دو طرفه ۲۲
۲-۷-۶ اتصالات با صفحهٔ انتهایی بلندتر (هم تراز) ۲۲
۲-۷-۷ اتصالات تی شکل ۲۳
۲-۸ مدل کردن اتصالات ۲۴
۲-۸-۱ مدل های خطی ۲۴
۲-۸-۲ مدل چند جمله ای ۲۵
۲-۸-۳ مدل توانی انگ ـ موریس ۲۹
۲-۸-۴ مدل توانی کیشی و چن ۳۰
۲-۸-۴-۱ اتصالات با تک یا جفت نبشی جان ۳۱
۲-۸-۴-۲ اتصالات با نبشی نشیمن و فوقانی ۳۵
۲-۸-۴-۳ اتصالات با نبشی نشیمن و فوقانی به همراه جفت نبشی جان ۳۹
۲-۸-۵ مدل نمایی یو و چن ۴۵
۲-۸-۶ مدل های اتصال بر پایهٔ اجزاء محدود ۵۱
۲-۸-۶-۱ معادلهٔ تارپی و کاردینال برای اتصالات با صفحهٔ انتهایی ۵۱
۲-۸-۶-۲ معادلهٔ کرشینمارتی برای اتصالات با صفحهٔ انتهایی ۵۲
۲-۹ بانک های اطلاعاتی اتصالات ۵۳
۲-۹-۱ بانک اطلاعات گاوردهان ۵۳
۲-۹-۲ بانک اطلاعاتی نیدرکوت ۵۴

۲-۹-۳ بانک اطلاعاتی کیشی و چن ۵۴
۲-۱۰ دسته بندی روش های تحلیل ۵۵
۲-۱۰-۱ تحلیل الاستیک مرتبهٔ اول ۵۵
۲-۱۰-۲ تحلیل کمانش خطی ۵۶
۲-۱۰-۳ تحلیل الاستیک مرتبهٔ دوم ۵۶
۲-۱۰-۴ تحلیل لولای پلاستیک مرتبهٔ اول ۵۷
۲-۱۰-۵ تحلیل غیر الاستیک مرتبهٔ دوم ۵۷
۲-۱۰-۵-۱ تحلیل ناحیهٔ پلاستیک مرتبهٔ دوم ۵۷
۲-۱۰-۵-۲ تحلیل مفصل پلاستیک مرتبه دوم ۵۸

فصل سوم: معرفی و نحوهٔ مدل سازی اتصالات در برنامهٔ **ABAQUS**

۳-۱ مقدمه ۶۰
۳-۲ معرفی برنامهٔ ABAQUS ۶۰
۳-۲-۱ تاریخچهٔ نرم افزار ABAQUS ۶۰
۳-۲-۲ معرفی محصولات ABAQUS ۶۲
۳-۲-۲-۱ ABAQUS / Standard ۶۲
۳-۲-۲-۲ ABAQUS / Explicit ۶۲
۳-۲-۲-۳ ABAQUS / CAE ۶۳
۳-۲-۳ پیش پردازش و پس پردازش ۶۳
۳-۳ مشخصات اتصالات نیمه صلب مدل شده ۶۴
۳-۴ انواع چرخش های اتصالات و تعریف آنها ۶۶
۳-۴-۱ چرخش تیر θ_b ۶۶
۳-۴-۲ چرخش ستون θ_{col} ۶۷
۳-۴-۳ چرخش پانل جونیت θ_z ۶۷
۳-۴-۴ چرخش اتصال θ_c ۶۷

۳-۴-۵ چرخش جونیت θ_j ۶۸

۳-۵ تعریف برخی پارامترهای اتصال ۶۹

۳-۵-۱ سختی اولیه اتصال R_{ki} ۶۹

۳-۵-۲ ممان نهایی اتصال M_u ۶۹

۳-۵-۳ گنجایش چرخش اتصال ϕ_{cd} ۶۹

۳-۶ مقدمه ای بر تاریخچهٔ مدل کردن اتصالات با نرم افزارهای المان محدود..... ۷۰

۳-۷ خلاصه ای بر مقالات ارائه شده با موضوع مدل المان محدود اتصالات تحت دماهای بالارونده

با نرم افزار ABAQUS ۷۲

۳-۷-۱ مدل المان محدود اتصال ورق انتهایی پیچ شده در آتش ۷۲

و جوش شده به بال ستون در آتش ۷۴

۳-۸ مشخصات اطلاعات ورودی مدل ۷۹

۳-۸-۱ ورود به محیط برنامهٔ ABAQUS ۷۹

۳-۸-۲ خصوصیات مواد ۸۰

۳-۸-۳ سرهم بندی قطعات ۸۱

۳-۸-۴ برهم کنش اعضا بر یکدیگر ۸۴

۳-۸-۵ بارگذاری ۸۶

۳-۸-۶ گسسته سازی مدل هندسی ۸۸

۳-۸-۷ آنالیز ۹۰

فصل چهارم: بررسی رفتار اتصالات نیمه صلب مدل شده

۴-۱ بررسی تغییر شکل های اتصالات ۹۱

۴-۲ بررسی منحنی های ممان ـ چرخش اتصالات ۹۴

۴-۳ مدل کردن اتصالات تحت دماهای بالارونده ۹۷

۴-۴ بررسی منحنی های ممان ـ چرخش اتصالات تحت دماهای بالارونده ۱۰۰

۴-۵ بررسی منحنی های کرنش ـ بار اتصالات ۱۰۲

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی

۵-۱ نتایج ۱۰۹

۵-۲ پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۱۰۹

مراجع ۱۱۱

فهرست اشکال

عنوان ..... صفحه

شکل (۲-۱) لنگرهای خمشی و دوران های تیر AB ۷

شکل (۲-۲) معادلهٔ خط تیر و منحنی های لنگر خمشی بر حسب دوران ۸

شکل (۲-۳) مدل ریاضی اتصال سپری ۱۰

شکل (۲-۴) منحنی $M-\theta$ برای یک اتصال و طبقه بندی میزان صلبیت آن ۱۱

شکل (۲-۵) منحنی تغییرات $M-\theta$ برای طبقه بندی اتصالات از لحاظ شکل پذیری ۱۴

شکل (۲-۶) تغییر شکل چرخشی یک اتصال ۱۷

شکل (۲-۷) منحنی های لنگر چرخش اتصالات ۱۸

شکل (۲-۸) رفتار لنگر ـ چرخش اتصال نیمه صلب ۲۰

شکل (۲-۹) مثال تشریحی از مشخصات بارگذاری ـ باربرداری اتصالات ۲۰

شکل (۲-۱۰) انواع اتصالات متداول تیر به ستون ۲۳

شکل (۲-۱۱) مدل های خطی لنگر ـ چرخش ۲۵

شکل (۲-۱۲) عوامل تعریف شده برای انواع اتصالات مختلف ۲۸

شکل (۲-۱۳) عوامل اتصال با نبشی نواری ۳۱

شکل (۲-۱۴) وضعیت نبشی در طی بارگذاری اولیه ۳۲

شکل (۲-۱۵) مدل کردن صفحه نسبتاً ضخیم مناسب جان ۳۳

شکل (۲-۱۶) مکانیزم نبشی جان در وضعیت نهایی ۳۶

شکل (۲-۱۷) وضعیت تغییر شکل یافته نبشی های نشیمن و فوقانی در شرایط الاستیک ۳۸

شکل (۲-۱۸) ۳۸

شکل (۲-۱۹) مکانیزم نبشی فوقانی در شرایط نهایی ۳۹

شکل (۲-۲۰) وضعیت تغییر شکل یافته مدل کنسولی نبشی جان ۴۱

شکل (۲-۲۱) وضعیت تغییر شکل یافته نبشی ها ۴۵

شکل (۲-۲۲) نیروهای مؤثر بر اتصال در حالت نهایی ۴۵
شکل (۲-۲۳) مقایسه مدل توانی کیشی ـ چن با نتایج آزمایشگاهی اتصال با تک نبشی جان و سایر مدل های اتصال ۴۷
شکل (۲-۲۴) مقایسه مدل توانی کیشی ـ چن با نتایج آزمایشگاهی اتصال با جفت نبشی جان و سایر مدل های اتصال ۴۸
شکل (۲-۲۵) مقایسه مدل توانی کیشی ـ چن با نتایج آزمایشگاهی اتصال با نبشی نشیمن و فوقانی و سایر مدل های اتصال ۴۹
شکل (۲-۲۶) مقایسه مدل توانی کیشی ـ چن با نتایج آزمایشگاهی اتصال با نبشی نشیمن و فوقانی و جفت نبشی جان با سایر مدل های اتصال ۵۰
شکل (۲-۲۷) مقایسه مدل نمایی یو ـ چن با نتایج آزمایشگاهی یک اتصال نیمه صلب ۵۱
شکل (۲-۲۸) مقایسه مدل نمایی یو ـ چن با نتایج آزمایشگاهی یک اتصال نیمه صلب ۵۲
شکل (۲-۲۹) مشخصات زیرو ـ تغییر مکان انواع تحلیل های متداول ۵۹
شکل (۳-۱) رابطهٔ بین چرخش تیر، چرخش ستون، چرخش پانل جونیت و چرخش اتصال ۶۸
شکل (۳-۲) مشخصات ممان ـ چرخش اتصالات ۶۹
شکل (۳-۳) هندسه اتصال مدل شده ۷۲
شکل (۳-۴) منحنی های ممان ـ چرخش در دو حالت المان محدود و آزمایشگاه ۷۴
شکل (۳-۵) مدل های تغییر شکل یافتهٔ اعضای اتصال ۷۵
شکل (۳-۶) مدهای تغییر شکل اتصال و تنش ون مایسز ۷۷
شکل (۳-۷) مقایسه مدل المان محدود و آزمایشگاهی اتصال در دماهای محدود ۷۷
شکل (۳-۸) مدل المان محدود اتصال و تیر متصل شده به آن در دماهای مختلف ۷۸
شکل (۳-۹) مقایسه منحنی های زمان تغییر شکل در دو حالت المان محدود و آزمایشگاه ۷۹
شکل (۳-۱۰) نقشه سرهم بندی اتصال RF/J ۸۱
شکل (۳-۱۱) نقشهٔ سرهم بندی اتصال SRF/J ۸۲
شکل (۳-۱۲) شکل سرهم بندی شدهٔ اتصال RA/J در ABAQUS ۸۳

شکل (۳-۱۳) شکل سرهم بندی شدهٔ اتصال SRF/J در ABAQUS ۸۴
شکل (۳-۱۴) برهم کنش اعضا در نقاط تماس ۸۵
شکل (۳-۱۵) ساختار اعمال بار قاب ۸۷
شکل (۳-۱۶) شمای کلی از تکیه گاه ها در آزمایشگاه ۸۸
شکل (a – ۳-۱۷) مدل مش بندی شدهٔ اتصال RF/J ۸۹
شکل (b-۳-۱۷) مدل مش بندی شدهٔ اتصال SRF/J ۹۰
شکل (۴-۱) شمای کلی از اتصال RF/J پس از آنالیز در ABAQUS ۹۱
شکل (۴-۲) شمای کلی از اتصال SRF/J پس از آنالیز در ABAQUS ۹۲
شکل (۴-۳) شکل تغییر شکل یافتهٔ اتصال RF/J در آزمایشگاه ۹۲
شکل (۴-۴) شکل تغییر یافتهٔ اتصال SRF/J در آزمایشگاه ۹۳
شکل (۴-۵) مقایسه منحنی های $M-\theta$ مدل تجربی با مدل پیش بینی شدهٔ EC3 برای اتصال RF/J ۹۵
شکل (۴-۶) مقایسه منحنی های $M-\theta$ مدل تجربی با مدل پیش بینی شدهٔ EC3 برای اتصال SRF/J ۹۶
شکل (۴-۷) مقایسه منحنی $M-\theta$ مدل FE با مدل EXP برای اتصال RF/J ۹۶
شکل (۴-۸) مقایسه منحنی $M-\theta$ مدل FE با مدل EXP برای اتصال SRF/J ۹۷
شکل (۴-۹) منحنی های تنش ـ کرنش در دماهای مختلف برای فولاد S275 ..... ۹۸
شکل (۴-۱۰) تغییر شکل یافتهٔ اتصال RF/J تحت حرارت ۹۹
شکل (۴-۱۱) تغییر شکل یافتهٔ اتصال SRF/J تحت حرارت ۱۰۰
شکل (۴-۱۲) نمودار ممان ـ چرخش اتصال RF/J در دماهای محیط 800, 600, 400, 200
شکل (۴-۱۳) نمودار ممان ـ چرخش اتصال SRF/J در دماهای محیط 800,600,400,200
شکل (۴-۱۴) محل قرارگیری کرنش سنج ها در آزمایشگاه ۱۰۴
شکل (۴-۱۵) مقایسه نمودار کرنش ـ بار برای کرنش سنج 3&4 در دو حالت آزمایشگاه و المان محدود برای اتصال RF/J ۱۰۴

شکل (۴-۱۶) مقایسه نمودار کرنش ـ بار برای کرنش سنج 1&2 در دو حالت آزمایشگاه و المان محدود برای اتصال RF/J ۱۰۸
شکل (۴-۱۷) نمودارهای کرنش ـ بار در دماهای بالارونده در دو حالت کشش و فشار برای اتصال RF/J ۱۰۹
شکل (۴-۱۸) نمودارهای کرنش ـ بار در دو حالت کشش و فشار برای اتصال SRF/J در دمای محیط ۱۰۹
شکل (۴-۱۹) نمودارهای کرنش ـ بار در دو حالت کشش و فشار برای اتصال SRF/J در دماهای بالارونده ۱۱۰
شکل (۴-۲۰) تغییر شکل یافتهٔ نقاط مختلف اتصال RF/J در دمای ۹۰۰ درجه ۱۱۱
شکل (۴-۲۱) تغییر شکل یافته نقاط مختلف اتصال SRF/J در دمای ۹۰۰ درجه ۱۱۲

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه

در سازه‌ها اتصالات وظیفهٔ انتقال نیرو از یک عضو سازه به عضو دیگر آن و یا به تکیه گاه را انجام می‌دهند. بررسی دقیق عملکرد اتصالات در ساز ههای 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 می‌شود بلکه اثرات ویران کننده ای نیز بر اعضای سازه و در نتیجه کل سازه خواهد داشت . بر اساس اطلاعات موجود، اغلب ویرانی ها در سازه های فولادی به علت ضعف عملکرد اتصالات گزارش شده است. بنابراین درک صحیح از رفتار سازه ای اتصال و آگاهی مناسب از نحوهٔ انتقال نیرو توسط آن، برای طراحی یک اتصال ایمن و اقتصادی ضروری است. [۲۷]

۱-۲ پیش زمینه

در این پروژه رفتار دو نوع از اتصالات نیمه صلب در قاب های بدون مهاربندی بررسی می‌شود. این دو نوع اتصال عبارتند از:

- اتصال بالا و پایین نبشی و نبشی دوبل جان و اتصال ورق انتهای پیش آمده. که اتصال اول در ردهٔ اتصالات نیمه صلب در آئین نامهٔ آمریکا طبقه بندی می شود و اتصال دوم در ردهٔ اتصالات صلب طبقه بندی می‌شود.

یک آنالیز پیشرفته و خوب بایستی اتصال را در هر دو بعد هندسه و مواد به صورت غیر خطی مدل کند زیرا:

الف) رفتار ممان ـ چرخش اتصالات تیر به ستونی (مخصوصاً در اتصالات نیمه صلب) به صورت غیر خطی است.

ب) زمانی که جابجایی‌ها بزرگ می‌شوند. اثرات آنالیز مرتبه دوم برای حفظ تعادل سازه مهم تلقی می‌شود.

ج) رفتار نیرو ـ جابجایی اعضاء به علت اثرات خرابی‌های اولیهٔ اعضاء به صورت غیر خطی است.

۱-۳ هدف

هدف از این پروژه تحقیق در رفتار اتصالات نیمه صلب و مقایسهٔ نتایج تجربی با نتایج نرم افزاری است و در صورت صحت نتایج این پروژه پیش زمینهٔ خوبی برای تحقیقات گسترده تر بر روی اتصالات نیمه صلب خواهد بود.

۱-۴ مفاد تحقیق

در این تحقیق سعی شده است که با استفاده از نرم افزار المان محدود ABAQUS دو مدل اتصال نیمه صلب مدل شده و سپس برای بررسی صحت و سقم این مدل سازی منحنی‌های ممان ـ چرخش به دست آمده از مدل المان محدود با منحنی‌های ممان ـ چرخش بدست آمده از آزمایش تجربی مقایسه شود و در صورت صحت نتایج، این دو اتصال تحت بارگذاری ترکیبی حرارتی و استاتیکی رفته و در نهایت منحنی های ممان ـ چرخش آنها تحت دماهای بالا رونده نیز بدست آید.

با توجه به مشاهدات بدست آمده از آزمایشات و سازه های خراب شده تحت آتش، این نکته حائز اهمیت است که اتصالات تأثیر قابل ملاحظه ای بر روی زمان ابقاء عضوهای سازه ای تحت دماهای بالا رونده دارد . بنابراین این نمودارها می توانند مبنای مناسبی برای بررسی رفتار این دو اتصال نیمه صلب در دماهای بالارونده باشند.

۱-۵ تاریخچه

دانشمندان زیادی طی یک قرن گذشته به بررسی رفتار اتصالات نیمه صلب و ارائه مدل های مختلف برای نشان دادن رفتار این اتصالات پرداخته اند . از جمله معروفترین دانشمندان رابتون بوده که اولین مدل‌های خطی را در سال ۱۹۳۶ پیشنهاد داد. دانشمندان دیگری در سال های بعد همچون فری و موریس در سال ۱۹۷۶ به بررسی مدلی با نام مدل چند جمله ای پرداختند . از جمله بزرگترین دانشمندان که سهم عمده ای در پیشرفت این شاخه داشته اند پروفسور چن ولویی هستند که مدل‌هایی همچون مدل توانی را در سال ۱۹۹۰ برای بررسی سه نوع از اتصالات

نیمه صلب ارائه داده اند. این دو نفر همچنین کتاب ها و مقالات زیادی را در زمینهٔ اتصالات نیمه صلب ارائه داده اند از آن جمله کتاب آنالیز تجربی برای طراحی قاب های نیمه صلب [1] که نوشته چن می‌باشد و یا کتاب طرح پایداری قاب های نیمه صلب [2] که نوشته چن و لویی در سال ۱۹۹۵ می‌باشد.

از سال ۱۹۶۰ که روش اجزاء محدود متولد شد نرم افزارهای بسیار متعددی برای استفاده از این روش طراحی و به بازار ارائه شد . از آنجا که بازار نرم افزارهای صنعتی کاملاً رقابتی است، تقریباً تمام نرم افزارهای اجزاء محدود موجود در بازار، از قابلیت‌های بسیار خوبی برخوردار بوده و در حل مسایل بسیار راهگشا هستند . از این میان در سال های اخیر نرم افزارهای المان محدود پیشرفته ای همچون ABAQUS, ANSYS طرفداران بسیاری در میان محققان پیدا کرده اند. نرم افزار ABAQUS بسیاری از نقاط ضعف و اشکالات نرم افزارهای اجزای محدود دیگر را ندارد و سهولت در استفاده، مدل سازی قوی، تحلیل دقیق و سرعت بالای این نرم افزار، آن را به یک نرم افزار اجزای محدود ممتاز تبدیل کرده است. [۲۸]

1. Practical Analysis for Semi-Rigid Frame Design
2. stability Design of semi–Rigid Frames

فصل دوم: کلیاتی در مورد اتصالات نیمه صلب و روشهای تحلیل

۲-۱ مقدمه

معمولاً در سازه‌های متعارف فولادی، اتصالات تیر به ستون با فرض صلب کامل (گیردار) یا مفصل ایده آل مدل سازی می‌شوند. هر چند که این ایده آل سازی رفتار اتصالات، مراحل آنالیز و طراحی را به مقدار قابل توجهی ساده تر می‌کند، لیکن پاسخ سازۀ ایده آل شده انطباق کاملی با پاسخ سازۀ واقعی ندارد. به عبارت دیگر رفتار واقعی اتصالات تیر به ستون مشابه رفتار اتصالات نیمه صلب است. بنابراین برای بررسی رفتار واقعی و طراحی اقتصادی و بهینۀ اتصالات تیر به ستون در ساختمان‌های فولادی بهتر است اتصالات به صورت نیمه صلب مدل شوند. [۲۴]

۲-۲ انواع اتصالات برحسب فن اتصال

۲-۲-۱ پرچ

پرچ‌ها یکی از وسائل بسیار قدیمی برای اتصالات سازه‌های فولادی است. پرچ‌ها با قطرهای ۱ تا ۴ سانتی متر در کارخانه‌های سازنده تولید می شوند . دو نوع پرچ با مشخصات استاندارد ASTM به نام‌های A502-Grade1 از فولاد کربنی برای مصارف عام و A502-Grade2 از فولاد اعلاء برای مصارف خاص توسط کارخانه‌های سازنده تولید میشوند . پرچ A502-Grade1 دارای تنش تسلیم $Fy = 1950 \, kg/cm^2$ و تنش نهایی $Fu = 3600 - 4350 \, kg/cm^2$ و پرچ A502-Grade2 دارای تنش تسلیم $Fy = 2670 \, kg/cm^2$ و تنش نهایی $Fu = 4780 - 5760 \, kg/cm^2$ می‌باشند.

با پیشرفت فن جوشکاری و نیز تولید پیچ‌های پر مقاومت در حال حاضر استفاده از پرچ در اجرای سازه‌های فولادی تقریباً منسوخ شده و به جای آن دو وسیلۀ اتصال دیگر (پیچ یا جوش) برای ساخت سازه‌های فلزی بسیار رایج گردیده است.

۲-۲-۲ پیچ

پیچ‌های موجود در بازار به دو نوع معمولی و یا اعلاء (پرمقاومت) جهت اجرای اتصالات در سازه‌های فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هر چند ارائه یک سری اصول قطعی برای برتری هر یک از انواع اتصال دهنده‌ها به آسانی میسر نیست، لیکن توجه به موارد کلی زیر می تواند به انتخاب مناسب نوع اتصال تا حدودی کمک کند.

ـ در سازه‌های سبک که تحت بارهای استاتیکی قرار دارند و یا در اعضای ثانویه سازه مانند لاپه در سقف‌های شیروانی، بادبندها و مهاربندهای جانبی معمولاً استفاده از پیچ های معمولی (مقاومت کم) اقتصادی تر است.

ـ هنگامی که کارگر ماهر برای جوشکاری اتصالات فراهم نباشد، استفاده از اتصالات پیچی برتری دارد.

ـ چنانچه قرار باشد سازهٔ فولادی پس از مدتی برچیده شود استفاده از اتصالات پیچی توصیه می‌شود.

ـ در سازه‌هایی که تحت اثر بارهای متناوب به قسمی قرار می‌گیرند که در اتصالات آنها پدیدهٔ خستگی ایجاد می‌شود، استفاده از پیچ‌های پر مقاومت با عملکرد اصطکاکی دارای عملکرد بهتری نسبت به اتصالات جوشی و یا اتصالات با پیچ‌های معمولی و یا پر مقاومت با عملکرد اتکایی است.

۲-۲-۳ جوش

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

ـ اتصالات جوش به شرط اجرای مناسب و صحیح جوش دارای ظاهر بهتری نسبت به اتصالات پیچی بوده و دامنهٔ کاربرد وسیع تری نیز دارند.

ـ به دلیل امکان کنترل کیفیت جوشکاری، معمولاً برای ساخت قطعات فلزی در کارخانه از فن جوشکاری استفاده می‌شود. در هر حال استفاده از وسایل جوشکاری در محل کارگاه (محل اجرای سازه) نیز بسیار متداول است.

ـ برای اتصالات در تیرهای سراسری و نیز تیرها با اتصالات صلب خمشی استفاده از جوش به عنوان یک وسیلهٔ اتصال کاربرد فراوانی دارد. [۲۴]

۲-۳- انواع اتصالات برحسب میزان صلبیت آنان

اتصالات در سازه‌های فولادی را برحسب میزان صلبیت آن می‌توان به سه دستهٔ اتصال صلب، اتصال ساده و اتصال نیمه صلب طبقه بندی نمود.

۲-۳-۱ اتصال صلب

در این نوع اتصال تمام ظرفیت خمشی عضو متصل شونده توسط وسیلهٔ اتصال به عضو دیگر منتقل شده و زاویهٔ چرخش بین اعضای اتصال در محل آن ثابت باقی می‌ماند.

۲-۳-۲ 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 می‌باشند.

۲-۳-۳ اتصالات 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 اندازهٔ لنگر خمشی در اتصالات صلب و نه به میزان لنگر انتقالی بسیار کوچک (در حد صفر) در اتصالات ساده است. به منظور درک مناسب تر از تفاوت‌های موجود بین انواع اتصالات برحسب صلبیت آنها، باتو و رووان روشی ابداع نموده اند که توسط سوروچینکف توسعه یافته و به نام خط تیر نامیده می‌شود. تیر AB که تحت تأثیر لنگرهای خمشی MB,MA در انتهای خود قرار دارد و ایجاد دوران‌های انتهایی θ_B, θ_A می‌نماید را در نظر بگیرید.