

بررسی تغییر ابعاد اجزای اتصال نیمه صلب تیر به ستون روی رفتار و درصد گیرداری این اتصال

امیرحسین ملاسکندری

دانشکده مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

علی دلنواز*

دانشکده مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

a.delnavaz@qiau.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۰۹/۰۲

چکیده:

تحلیل سازه با رفتار واقعی اتصالات آن بسیار پیچیده است و به همین دلیل با تمهیداتی از جمله استفاده از مفهوم خط تیر، به هر اتصال، صلبیت خاصی را نسبت می دهند و بدین طریق آنها را دسته بندی می نمایند. در این تحقیق به بررسی اتصال نیمه صلب با ورق های سخت کننده در قسمت اتصال جان تیر به ستون پرداخته شده است. برای این کار از ۶۴ مدل تحلیلی که در آن ابعاد ورق های سخت کننده از جمله ارتفاع، عرض و ضخامت تغییر می کند استفاده شده است. مشخصات مدل های تحلیلی که در نرم افزار آباکوس ساخته شده اند در همه حالت یکسان است. و در این مدل ها ارتفاع و عرض ورق های اتصال که جان تیر را از دو طرف در بر می گیرند داری ۴ حالت متغیر برای ارتفاع، چهار حالت متغیر برای عرض و ۴ حالت متغیر برای ضخامت در نظر گرفته شده است. اتصالات تحت آنالیز استاتیکی غیرخطی مدل شدند و نمودار لنگر- دوران برای هر حالت ترسیم گردید. بدین صورت رفتار اتصال نیمه صلب و تاثیر ورق های اتصال جان در عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با بررسی نتایج رابطه ای برای تخمین درصد گیرداری اتصال نیمه صلب ارائه گردید.

کلید واژگان: اتصال نیمه صلب، درصد گیرداری، آنالیز استاتیکی غیرخطی، نمودار مماس- دوران

۱- مقدمه

اتصالات وظیفه انتقال نیروها از یک عضو سازه به عضو دیگر آن و یا به تکیه‌گاه را انجام می‌دهند. تدوین اصول طراحی اعضای اصلی سازه‌ها به کمک روابط ارائه شده توسط آیین‌نامه‌های طراحی که خود متکی بر فرمول‌های نظری علم مکانیک سازه‌ها است تقریباً بدون هرگونه پیچیدگی و مشکلی ممکن می‌باشد، لیکن تجزیه و تحلیل رفتار اتصالات یک سازه عمدتاً دارای پیچیدگی‌های خاصی است که بیان آن‌ها به تنهایی توسط روابط نظری در اغلب اوقات به آسانی میسر نیست و نیاز به انجام آزمایش‌های تجربی برای اطمینان از صحت رفتار آن‌ها می‌باشیم [۱]. بنابراین درک صحیح از رفتار سازه‌ای 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 [۱].

کبشی در سال ۲۰۰۳ یک روش کمک طراحی برای تعیین مقادیر سختی اولیه اتصال (R_{ki}) ظرفیت لنگر نهایی (M_u) و پارامتر شکل (β) سه پارامتری که تعیین‌کننده منحنی لنگر- دوران ($M-\theta$) برای اتصالات نیمه‌صلب با نبشی هستند، ارائه نمود [۲]. لین و هاماموتو در سال ۲۰۰۸ مقاله‌ای را برای تخمین الگوی تماس بین نبشی و ستون در حوالی پیچ‌های اتصالات نیمه‌صلب تیر به ستون با پیچ و نبشی ارائه نمودند. آن‌ها یک مدل مکانیکی برای محاسبه کاهش سختی اولیه و تولید یک فرمول جدید برای محاسبه سختی اولیه اتصالات پیشنهاد نمودند. نتایج فرمول پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار آباکوس مقایسه شده است که انطباق قابل قبولی وجود دارد [۳]. کریمی و ذوالفقار در سال ۱۳۹۰ اتصال نیمه‌صلب تیر به ستون با ورق انتهایی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها تعدادی اتصال را با استفاده از نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی نموده و آنالیز نمودند و اثر تغییر در پارامترهای تأثیرگذار در رفتار اتصالات نیمه‌صلب را تحقیق نمودند. نتایج عددی را با نتایج آزمایشات دانشگاه دلف مقایسه نمودند. آن‌ها مشاهده نمودند که با افزایش ضخامت ورق انتهایی سختی و مقاومت اتصال افزایش می‌یابد اما ظرفیت دورانی کاهش می‌یابد. و نیز اگر تنش تسلیم ورق انتهایی کاهش یابد ظرفیت دورانی اتصال افزایش می‌یابد [۴]. یحیایی و ساعدی داریان در سال ۲۰۱۱ در مقاله‌ای با عنوان مطالعه اتصالات نیمه‌صلب جوشی در برابر آتش به بررسی زوال ویژگی‌های فولاد با افزایش دما و اهمیت تأثیر رفتار اتصال بر روی رفتار سازه‌های فولادی پرداختند. در این مقاله رفتار اتصالات جوش شده با نبشی در برابر حرارت با استفاده از نرم‌افزار آباکوس بررسی شده است و رفتار غیر خطی اعضا و اتصالات در نظر گرفته شده است. منحنی‌های لنگر-حرارت- دوران ترسیم گردیده است. اثر بعضی پارامترها نظیر لنگر تیر، تغییر نیروی محوری ستون و تغییر نیروی برشی تیر بر روی سختی این اتصالات با افزایش دما تعیین گردیده است [۵]. شمی و اسریکومار در سال ۲۰۱۲ بیان نمودند که اتصالات نیمه‌صلب مانند اتصالات پیچی با

نبشی جان اتلاف انرژی بهتری دارند و پاسخ‌های مناسبی در مقابل بارهای جانبی دارند. در این مقاله شکل‌پذیری و اتلاف انرژی اتصالات نیمه‌صلب با نبشی‌های فوقانی، تحتانی و نبشی جان بررسی می‌گردد. یک آنالیز غیر خطی با استفاده از نرم‌افزار انسیس صورت گرفته است و نتایج به دست آمده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد پیچ‌های نبشی فوقانی و تحتانی و میزان ضخامت آن‌ها شکل‌پذیری اتصال افزایش می‌یابد [۶].

آگوستو در سال ۲۰۱۲ بر توسعه مدل‌های اجزاءمحدود برای آگاهی از رفتار سیکلیک اتصالات تیر به ستون جوش شده به خصوص اتصالاتی که دارای صفحات انتهایی هستند. نتایج بدست آمده را می‌توان مستقیماً در روش‌های طراحی بر اساس عملکرد استفاده نمود. همچنین این نتایج را می‌توان برای توسعه مدل‌های بر پایه مؤلفه‌های سیکلیک استفاده نمود [۷]. این پژوهشگران به منظور مطالعه رفتار اتصالات نیمه‌صلب پیچی با صفحات انتهایی چندین نمونه اتصال را تحت آزمایش‌های سیکلیک قرار دادند و از این آزمایشات برای کالیبره نمودن فرآیند مدل‌سازی اجزاءمحدود استفاده نمودند. در شکل زیر جزئیات اتصال نیمه‌صلب پیچی مورد آزمایش نشان داده شده است [۷].

در سال ۲۰۱۶ شاه و همکاران به بررسی چشمه اتصال تیر به ستون تحت افزایش دما پرداختند [۸]. در این بررسی ۲۴ نمونه در سه شرایط دمایی متفاوت 450°C ، 550°C و 700°C مورد آزمایش قرار گرفتند. سپس نمودار ($M-\theta$) برای هریک از نمونه‌ها ترسیم گردید و نتایج مورد بحث و گفتگو قرار گرفت. همچنین مدل المان محدود سه بعدی نیز برای شبیه‌سازی بررسی‌های آزمایشگاهی ساخته شد. تطابق خیلی خوبی با نتایج آزمایشگاهی نشان داد.

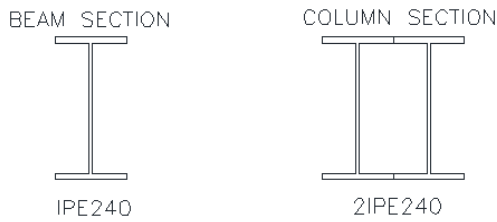
در سال ۲۰۱۶ کاراکیانیس و همکاران به بررسی رفتار اتصال تیر به ستون های مجوف پرداختند [۹]. این بررسی به صورت آزمایشگاهی صورت گرفت. در سال ۲۰۱۶ سعید عرفانی و همکاران به بررسی اتصال تیر I شکل به ستون باکس توسط یک تیر ساب کوتاه در ناحیه اتصال پرداختند [۱۰]. تمام اتصالات مورد بررسی در این تحقیق تحت دوران کلی طبقه ۰/۰۵/رادیان طبق آیین‌نامه AISC قرار گرفتند. برای هر نوع اتصال ۸ نمونه مورد بررسی قرار گرفت که دارای ۴ بولت بودند و تحت بار چرخه‌ای تحلیل شدند. در سال ۲۰۱۶ دنیز بیاراکتار و همکاران به بررسی آزمایشگاهی و عددی رابطه ممان- دوران اتصال دارای ورق انتهایی پرداختند [۱۱]. مدل‌های تحلیلی در این بررسی با نرم‌افزار ANSYS ساخته شدند. هدف این بررسی جلوگیری از کماتش موضعی در ناحیه جوش شده چشمه اتصال بود که نتایج استفاده از ورق‌ها با اندازه های متفاوت روی رفتار این نوع اتصال قابل توجه بودند. در سال ۲۰۱۶ ژنگی کنگ و همکاران به بررسی رفتار ممان دوران اتصالات با نبشی بالا و پایین همراه با نبشی دابل پرداختند [۱۲]. در نهایت رابطه برای این نوع اتصال بر حسب ممان، نیرو و سختی ارائه گردید. در سال ۲۰۱۶ مایکل موریسون و همکارش به بررسی مقاومت اتصال جوشی فولادی با افزایش مقاومت کمانشی تیر پرداختند. این بررسی به ارائه دو

تکنیک ساده اما موثر برای افزایش ظرفیت کمانشی اتصال ممان گیر فولادی می‌پردازد. در این تحقیق اتصالات از پیش تایید شده طبق ANSI/AISC 358-10 تحت دررفت داخل طبقه ۴٪ مورد بررسی قرار گرفتند. هرچند بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داد که کاهش مقاومت آن‌ها در دررفت داخل طبقه ۳٪ شروع می‌شود.

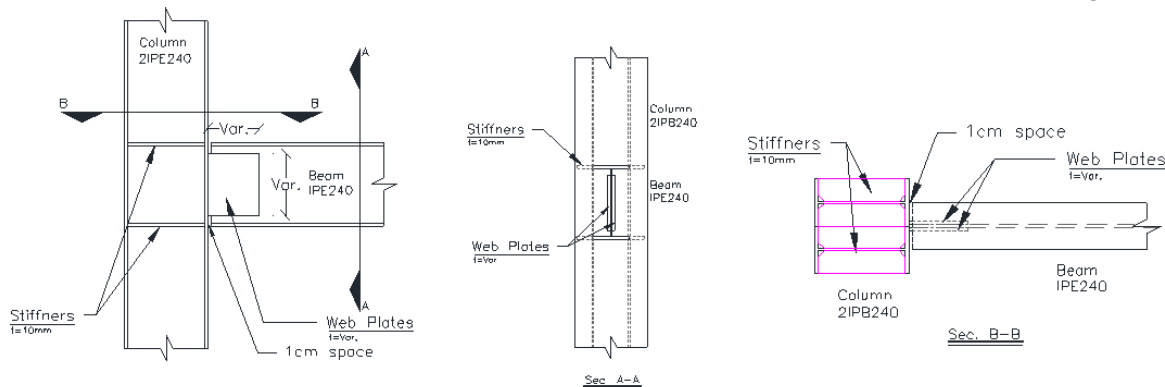
۱-مدلسازی

۱-۲-هندسه مدل

با توجه به اینکه در این مقاله تمرکز بر روی بررسی رفتار اتصال است و نه اعضای متصل به آن، متغیرهای هندسی عبارتند از ابعاد صفحات اتصالی به تیر و ستون که شامل طول، عرض و ضخامت صفحات اتصالی است. با این توصیف مقاطع تیر و ستون‌های موجود در همه‌ی نمونه‌ها ثابت است. این مقاطع با توجه به ملاحظات جوش‌پذیری و تغییر در ابعاد صفحات جان به شکل زیر انتخاب گردیده است.



شکل ۱- مقاطع تیر و ستون‌ها در همه‌ی نمونه‌ها



شکل ۲- اتصال نیمه صلب مورد بررسی

جدول ۱- مشخصات مدل‌های مورد بررسی

ردیف	نام مدل	ورق جان PL HxWxt
۱	SR202012	PL200x200x12mm
۲	SR202010	PL200x200x10mm
۳	SR202008	PL200x200x8mm
۴	SR202006	PL200x200x6mm
۵	SR201612	PL200x160x12mm
۶	SR201610	PL200x160x10mm
۷	SR201608	PL200x160x8mm
۸	SR201606	PL200x160x6mm
۹	SR201312	PL200x130x12mm
۱۰	SR201310	PL200x130x10mm
۱۱	SR201308	PL200x130x8mm
۱۲	SR201306	PL200x100x6mm
۱۳	SR201012	PL200x100x12mm
۱۴	SR201010	PL200x100x10mm

با توجه به محدودیت‌های هندسی و آیین‌نامه‌ای برای ارتفاع ورق جان مقادیر ۲۰، ۱۶، ۱۳، ۱۰، و برای طول آن مقادیر ۲۰، ۱۶، ۱۳ و ۱۰ و برای ضخامت ورق سه مقدار ۱۲، ۱۰، ۸ و ۶ انتخاب گردیده است. با توجه به مقادیر فوق مجموعاً ۶۴ مدل ایجاد می‌گردد و تحت آنالیز استاتیکی غیرخطی قرار خواهد گرفت. در جدول زیر نحوه نامگذاری مدلها با توجه به ابعاد هندسی ورقهای اتصال جان ارائه شده است.

ردیف	نام مدل	ورق جان PL HxWxt
۵۱	SR102008	PL100x200x8mm
۵۲	SR102006	PL100x200x6mm
۵۳	SR101612	PL100x160x12mm
۵۴	SR101610	PL100x160x10mm
۵۵	SR101608	PL100x160x8mm
۵۶	SR101606	PL100x160x6mm
۵۷	SR101312	PL100x130x12mm
۵۸	SR101310	PL100x130x10mm
۵۹	SR101308	PL100x130x8mm
۶۰	SR101306	PL100x130x6mm
۶۱	SR101012	PL100x100x12mm
۶۲	SR101010	PL100x100x10mm
۶۳	SR101008	PL100x100x8mm
۶۴	SR101006	PL100x100x6mm

ردیف	نام مدل	ورق جان PL HxWxt
۱۵	SR201008	PL200x100x8mm
۱۶	SR201006	PL200x100x6mm
۱۷	SR162012	PL160x200x12mm
۱۸	SR162010	PL160x200x10mm
۱۹	SR162008	PL160x200x8mm
۲۰	SR162006	PL160x200x6mm
۲۱	SR161612	PL160x160x12mm
۲۲	SR161610	PL160x160x10mm
۲۳	SR161608	PL160x160x8mm
۲۴	SR161606	PL160x160x6mm
۲۵	SR161312	PL160x130x12mm
۲۶	SR161310	PL160x130x10mm
۲۷	SR161308	PL160x130x8mm
۲۸	SR161306	PL160x130x6mm
۲۹	SR161012	PL160x100x12mm
۳۰	SR161010	PL160x100x10mm
۳۱	SR161008	PL160x100x8mm
۳۲	SR161006	PL160x100x6mm
۳۳	SR132012	PL130x200x12mm
۳۴	SR132010	PL130x200x10mm
۳۵	SR132008	PL130x200x8mm
۳۶	SR132006	PL130x200x6mm
۳۷	SR131612	PL130x160x12mm
۳۸	SR131610	PL130x160x10mm
۳۹	SR131608	PL130x160x8mm
۴۰	SR131606	PL130x160x6mm
۴۱	SR131312	PL130x130x12mm
۴۲	SR131310	PL130x130x10mm
۴۳	SR131308	PL130x130x8mm
۴۴	SR131306	PL130x130x6mm
۴۵	SR131012	PL130x100x12mm
۴۶	SR131010	PL130x100x10mm
۴۷	SR131008	PL130x100x8mm
۴۸	SR131006	PL130x100x6mm
۴۹	SR102012	PL100x200x12mm
۵۰	SR102010	PL100x200x10mm

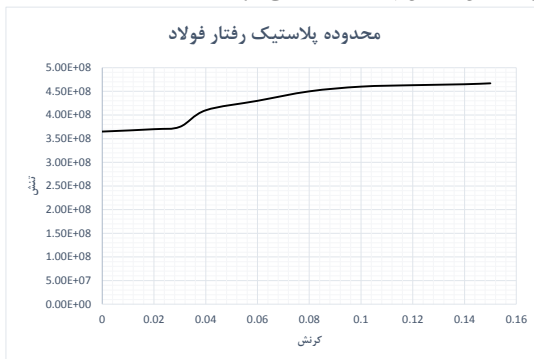
۲-۳- مشخصات فولاد

مشخصات فولاد مطابق در جدول ۲ آمده است:

جدول ۲- مشخصات فولاد مصرفی

چگالی	$\rho = 7.85 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$
نسبت پواسون	$\nu = 0.3$
مدول الاستیسیته	$E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

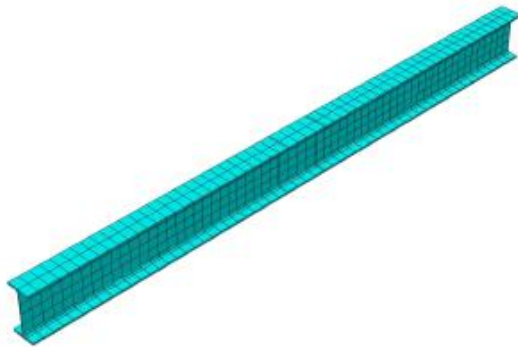
مودار تنش کرنش پلاستیک مصالح فولادی در شکل ۳ آمده است:



شکل ۳- مشخصات محدوده پلاستیک مقاطع تیر و ستون

۲-۳- شرایط مرزی

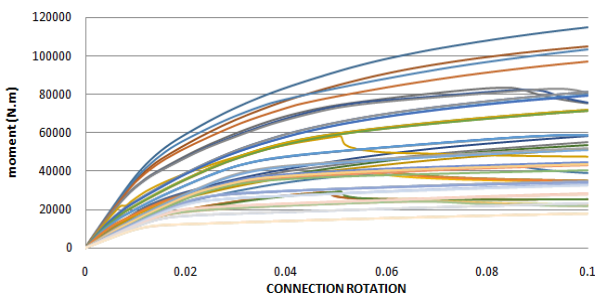
مشخصات هندسی مدل‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است. ارتفاع ستون‌ها برابر با سه متر در نظر گرفته شده است و تیر به ناحیه میانی



شکل ۶- مش بندی المان ستون

۳- منحنی های بار افزون

نمودار بار افزون به عنوان خروجی مورد نظر است که با تفسیر آن نتایج بدست آمده از تحقیق تدوین می شود. در اینجا منحنی بار افزون اتصالات مورد آزمایش نشان داده شده است (شکل ۷). تغییر مکان قائم در راستای عمود بر محور تیر و به صورت افزایشی گام به گام اعمال می گردد.



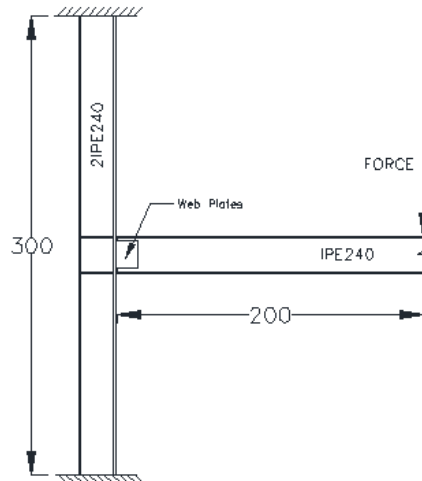
شکل ۷- منحنی ظرفیت ناشی از تحلیل بار افزون اتصال نیمه صلب

۳-۱- بررسی نمودارهای لنگر دوران برای اتصالات با ورق های

اتصال درای ارتفاع یکسان

اثر ارتفاع ورق های اتصالی در سختی و مقاومت اتصال بسیار مشخص است به طوری که با کاهش ارتفاع ورق های اتصالی مقاومت اتصالات افت چشمگیری پیدا می کند (شکل ۸- ۱۱). چنانچه در مدل های ۱ تا ۱۶ مشاهده می شود. اگرچه ابعاد دیگر ورق های اتصالی اعم از ضخامت و عرض ورق نیز تغییر کرده ولی با توجه به این که این ۱۶ مدل از ارتفاع ۲۰۰ میلیمتر برخوردار هستند به طور کلی دارای مقاومت و سختی اتصال بالاتری هستند. به همین ترتیب مدل های ۱۷ تا ۳۲ که همگی دارای ارتفاع ورق اتصال ۱۶۰ میلیمتر هستند نسبت به مدل های ۳۳ تا ۴۷ که ارتفاع ورق اتصالشان ۱۳۰ میلیمتر است قوی تر و در نهایت مدل های ۴۸ تا ۶۴ که دارای ارتفاع ورق اتصال ۱۰۰ میلیمتر هستند از همگی ضعیف تر هستند.

ستون ها متصل می گردد. دو انتهای ستون گیردار فرض شده است. طول تیرها برابر با دو متر و با انتهای آزاد مدلسازی گردیده است. که نیروهای وارد بر اتصال به انتهای آزاد تیر وارد می گردد.



شکل ۴- شرایط مرزی مدل های اتصال نیمه صلب با ورق جان

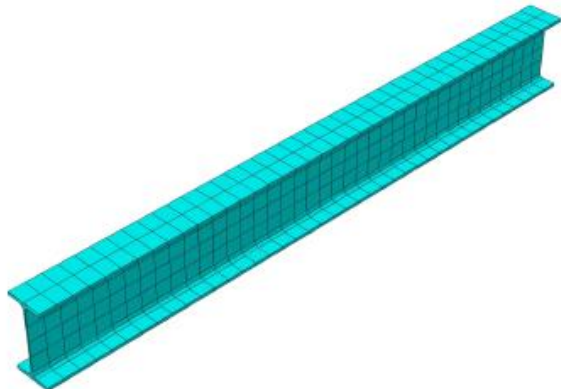
۲-۴- بارگذاری

بارهای اعمالی بر سازه بار قائم (تغییر مکان در انتهای آزاد تیر) است که به صورت اعمال تغییر مکان در تحلیل های استاتیکی غیر خطی برای مدل های مختلف اعمال می گردد. تغییر مکان قائم در راستای عمود بر محور تیر و به صورت افزایشی گام به گام اعمال می گردد. به دلیل اینکه اتصال وارد ناحیه غیر خطی گردد و مفصل پلاستیک تشکیل گردد تغییر مکان در انتهای آزاد تیر برابر با ۱۸ سانتی متر و در جهت قائم و رو به پایین در نظر گرفته شده است.

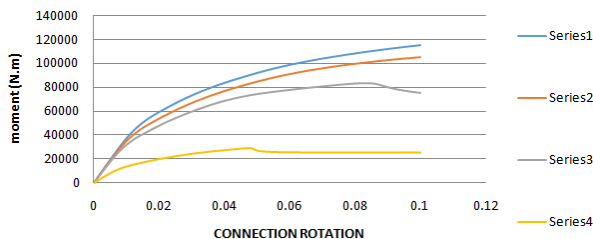
۲-۵- مش بندی

الف- تیرها و ستون های فولادی IPE240

از المان های پوسته سه بعدی دوگره ای C3D8R برای تیرها و ستون ها و صفحات فولادی استفاده گردیده است. طول هر کدام از المان ها تقریباً ۱۰ میلی متر انتخاب گردیده است (شکل ۵ و ۶).



شکل ۵- مش بندی المان تیر

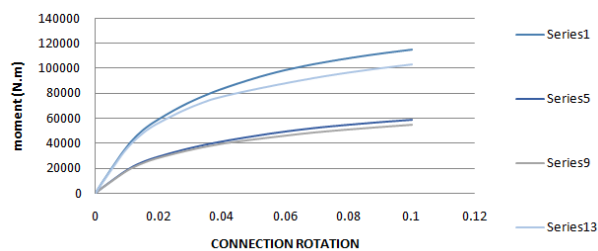


شکل ۱۲- منحنی لنگر دوران اتصالات (اتصالات با ضخامت ورق متفاوت)

۳-۳- بررسی اثر افزایش عرض ورق اتصال

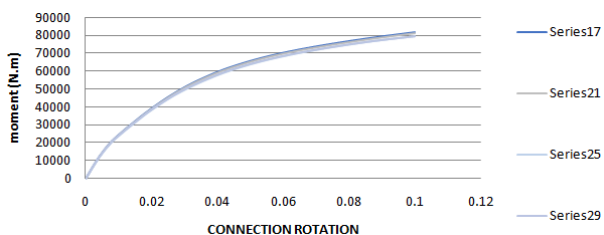
پس از تحلیل به جهت تنوع نتایج حاصل از بررسی اثر افزایش عرض ورق اتصال این کار برای هر یک از دسته مدل‌های شانزده تایی که دارای ارتفاع ورق اتصال یکسان هستند انجام شد. تنوع نتایج برای هر یک از آن‌ها به شرح ذیل است.

در مدل‌های دارای ارتفاع ۲۰۰ میلیمتر همانطور که مشاهده می‌شود عرض ورق اتصال تاثیر چشمگیری روی مقاومت اتصال دارد به طوری که با افزایش آن مقاومت اتصال افزایش خوبی را داراست (شکل ۱۳).

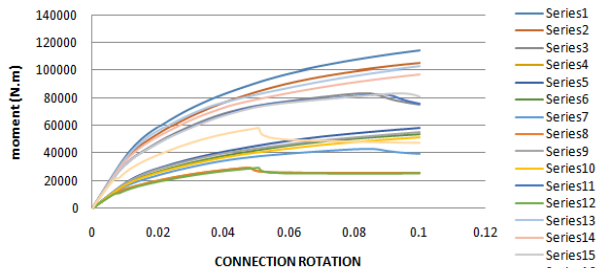


شکل ۱۳- مقایسه مدل‌های دارای ارتفاع ۲۰۰ میلیمتر با ضخامت‌های مختلف

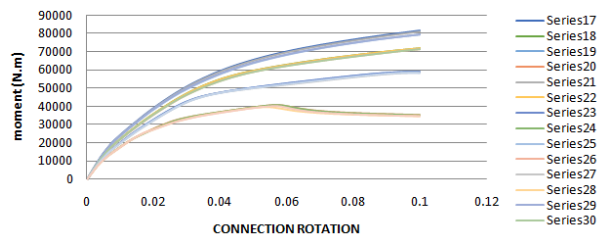
در مدل‌های دارای ارتفاع ۱۶۰ میلیمتر وقتی ارتفاع ورق اتصالی کاهش یافت یعنی از ۲۰۰ به ۱۶۰ میلیمتر رسید دیگر تغییر ضخامت ورق تاثیر چندانی در افزایش مقاومت اتصال ندارد زیرا مقاومت کل مجموعه اتصال به کلی بر اثر کاهش ارتفاع ورق اتصالی کاهش یافته است اما نکته قابل توجه اینجاست که مدل‌های ۹ و ۵ علی‌رغم اینکه نسبت به مدل ۱۳ یا مدل‌های ۲۵، ۲۱، ۱۷ و ۲۹ دارای ارتفاع سخت‌کننده بیشتر هستند در عین حال مقاومت اتصال کمتری از خود نشان داده‌اند (شکل ۱۴).



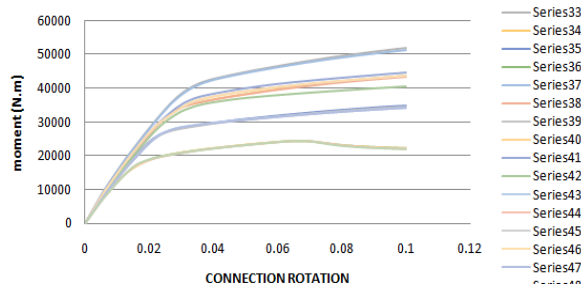
شکل ۱۴- مقایسه مدل‌های دارای ارتفاع ۱۶۰ میلیمتر با ضخامت‌های مختلف



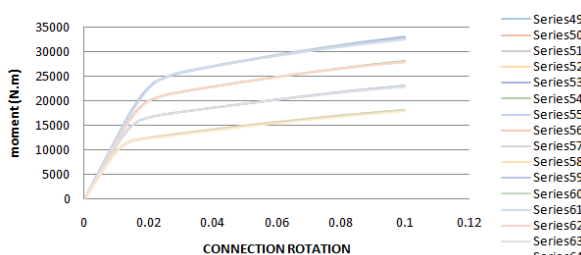
شکل ۸- منحنی لنگر دوران اتصالات (ارتفاع ورق اتصال ۲۰۰ میلیمتر)



شکل ۹- منحنی لنگر دوران اتصالات (ارتفاع ورق اتصال ۱۶۰ میلیمتر)



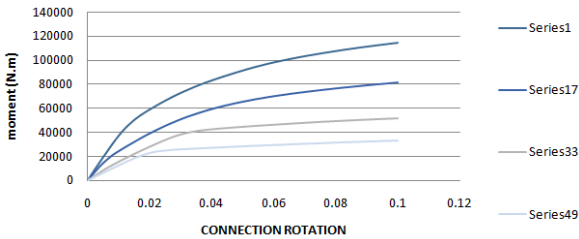
شکل ۱۰- منحنی لنگر دوران اتصالات (ارتفاع ورق اتصال ۱۰۰ میلیمتر)



شکل ۱۱- منحنی لنگر دوران اتصالات (ارتفاع ورق اتصال ۱۳۰ میلیمتر)

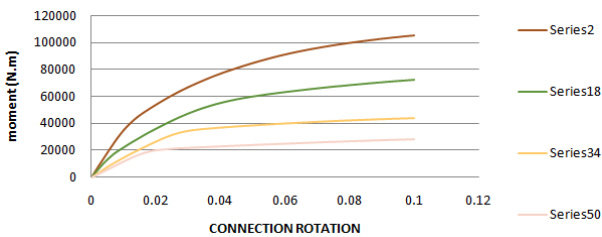
۳-۲- بررسی اثر افزایش ضخامت

اثر افزایش ضخامت در ابتدا بسیار چشمگیر است منحنی لنگر دوران اتصال با ورق اتصال به ضخامت ۸ میلیمتر نسبت به، منحنی لنگر دوران اتصال با ورق اتصال به ضخامت ۶ میلیمتر تفاوت زیادی در مقدار لنگر قابل تحمل دارد اما منحنی لنگر دوران اتصال با ورق اتصال ۱۰ میلیمتر تفاوت زیادی با منحنی اتصال دارای ورق اتصال به ضخامت ۱۲ میلیمتر ندارد. اما به طور کلی چیزی که محرز است این است که افزایش ضخامت ورق اتصال نیز منجر به افزایش مقاومت اتصال می‌شود (شکل ۱۲).



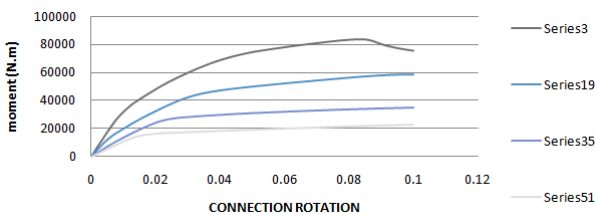
شکل ۱۷- مقایسه مدل‌های دارای عرض ۲۰۰ میلی‌متر با ضخامت‌های مختلف

در مدل‌های دارای عرض ثابت ۱۶۰ میلی‌متر یعنی مدل‌های شماره ۱۸، ۲۰، ۳۴، ۵۰ با افزایش ارتفاع ورق اتصال افزایش ظرفیت اتصال قابل توجه است به طوری که مدل ۲ که دارای ارتفاع ۱۶۰ و عرض ۲۰۰ میلی‌متر است مقاوم‌ترین اتصال این گروه را ارائه داده است و به همین ترتیب مشاهده می‌شود کاهش مقاومت اتصال با کاهش ارتفاع ورق اتصال رابطه مستقیم دارد (شکل ۱۸).



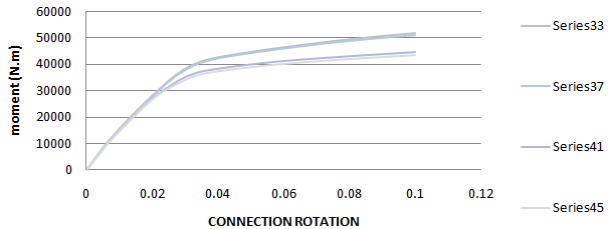
شکل ۱۸- مقایسه مدل‌های دارای عرض ۱۶۰ میلی‌متر با ضخامت‌های مختلف

در مدل‌های با عرض یکسان ۱۳۰ میلی‌متر نتیجه کلی به همین منوال است ولی افزایش مقاومت اتصال با افزایش ارتفاع ورق اتصالی سرعت بیشتری دارد به طوری که مدل ۳ که در آن ارتفاع ورق ۲۰۰ میلی‌متر است نسبت به مدل ۱۹ که ارتفاع ورق اتصال ۱۶۰ میلی‌متر است افزایش قابل توجه بیشتری دارد (شکل ۱۹).



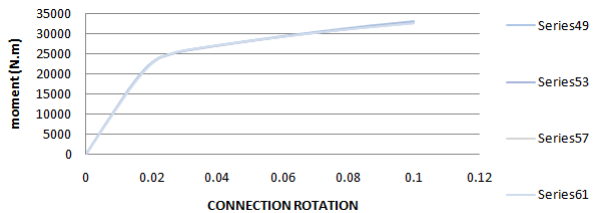
شکل ۱۹- مقایسه مدل‌های دارای عرض ۱۳۰ میلی‌متر با ضخامت‌های مختلف

همانطور که در شکل ۱۵ ملاحظه می‌شود تاثیر کاهش عرض ورق در مدل‌های با ارتفاع ثابت ۱۳۰ میلی‌متر پراکندگی کمی در داده‌ها را نشان می‌دهد به طوری که برای مدل شماره ۳۳ و ۳۷ که عرض ورق به ترتیب ۲۰۰ و ۱۶۰ میلی‌متر است نسبت به مدل‌های ۴۱ و ۴۵ که دارای عرض ورق ۱۳۰ و ۱۰۰ میلی‌متر هستند، مقاومت اتصال بیشتری دارند.



شکل ۱۵- مقایسه مدل‌های دارای ارتفاع ۱۳۰ میلی‌متر با ضخامت‌های مختلف

در مدل‌های ۴۹ تا ۶۱ با ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر مشاهده می‌شود که دیگر عرض ورق در مقاومت اتصال تاثیری ندارد به دلیل اینکه به جهت کاهش ارتفاع ورق‌های اتصالی مقاومت کل مجموعه به کلی کاهش یافته است و مقدار لنگری که اتصالات دارای ورق اتصال با ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر تحمل می‌کنند برای یک میزان دوران یکسان حتی از ۳۵ kN.m تجاوز نمی‌کند (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- مقایسه مدل‌های دارای ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر با ضخامت‌های مختلف

۳-۴- اثر افزایش ارتفاع ورق تقویت

افزایش ارتفاع ورق اتصالی به طور کلی باعث بالارفتن ظرفیت اتصال به میزان قابل توجهی می‌شود، در مدل‌های دارای عرض ثابت ۲۰۰ میلی‌متر یعنی مدل‌های شماره ۱، ۱۷، ۳۳، ۴۹ و ۳۳ مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع ورق اتصال افزایش ظرفیت اتصال قابل توجه است به طوری که مدل ۱ که دارای ارتفاع و عرض ۲۰۰ میلی‌متر است یعنی مدل با بزرگترین ابعاد ورق اتصال مقاوم‌ترین اتصال را ارائه داده است (شکل ۱۷) و به همین ترتیب مشاهده می‌شود کاهش مقاومت اتصال با کاهش ارتفاع ورق اتصال رابطه مستقیم دارد.

۳- ارائه رابطه کاربردی برای محاسبه درصد گیرداری اتصال

منظور از دوران اتصال خالص دوران اتصال است که در اثر تغییر شکل وسایل اتصال در خود اتصال ایجاد می‌شود، فرض ما این است که مقاومت خمشی تیر وستون بیشتر از مقاومت اتصال است. همچنین تیر وستون به اندازه کافی صلب هستند که تغییر شکل شان ناچیز شود. در این صورت فرض می‌شود تمام دوران ایجاد شده در انتهای تیر به دلیل تغییر شکل اتصال بوده است که با θ_R آن را نشان می‌دهیم. همچنین تغییرات لنگر $M = PL$ را با توجه به معلوم بودن L و تغییرات P به دست آورده‌ایم. در ابتدای بارگذاری منحنی رفتاری اتصال به صورت یک خط راست با شیبی برابر با R_{ki} خواهد بود که سختی اولیه است. با افزایش مقاومت اتصال افزایش می‌یابد و در هر نقطه دلخواه شیب مماس بر منحنی $R_{kt} = \frac{dM}{d\theta}$ که در آن R_{kt} سختی مماسی اتصال است در یک دوران مشخص θ_y به مقاومت نهایی خود می‌رسد که لنگر نظیر آن با M_y نشان داده می‌شود و منحنی رفتار اتصال در این نقطه به پایان می‌رسد. M_u لنگر پلاستیک نهایی ایجاد شده در اجزای اتصال است و $\theta_0 = \frac{M_y}{R_{ki}}$ دوران پلاستیک مینا است.

در این مقاله از مفهوم خط تیر اتصالات مقدار $M_u = 0.754 \text{ ton.m}$ و نیز مقدار $R_{ki} = 38 \text{ ton/m}^2$ و مقدار θ_0 برای اتصال مورد بررسی صرفنظر از اجزا سخت‌کننده‌ها برابر 0.02 رادیان محاسبه شد. چنانچه مقاومت نهایی یا لنگر پلاستیک تیر (یا ستون) در محل اتصال کمتر از اجزای اتصال باشد، قبل از اینکه سختی اتصال کامل شود در تیر یا ستون مفصل پلاستیک تشکیل می‌شود.

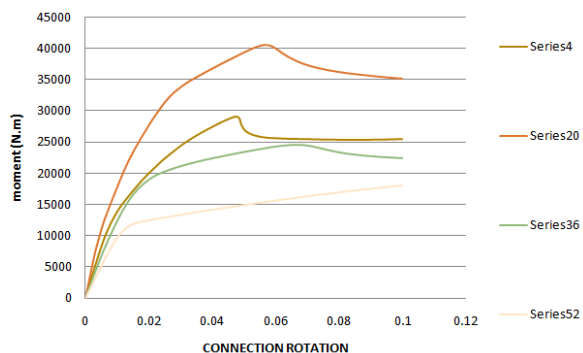
بر این اساس با استفاده از رابطه زیر می‌توان درصد گیرداری اتصالات را تعیین کرد:

$$(1) \quad \text{درصد گیرداری اتصال} = \frac{M_y}{1 - M_y}$$

جدول ۲ درصد گیرداری محاسبه شده برای سایر اتصالات را نشان می‌دهد.

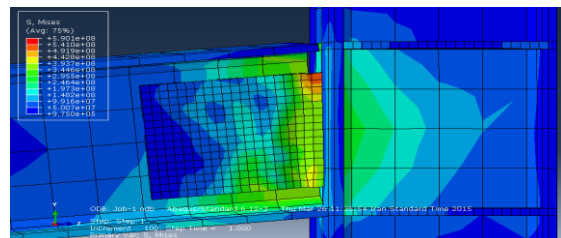
در مدل‌های با عرض یکسان ۱۰۰ میلی‌متر دیده می‌شود پس از یک مقدار دورانی به بعد با افت مقاومت اتصال مواجه می‌شویم به طوری که مدل ۴ که در آن ارتفاع ورق ۲۰۰ میلی‌متر است ناگهان پس از دوران ۵ درصد به بعد با کاهش قابل توجه مقاومت مواجه می‌شود به همین منوال مدل ۲۰ پس از دوران ۶ درصد و مدل ۳۶ نیز پس از دوران ۷ درصد دچار همین حالت می‌شود (شکل ۲۰).

همچنین مشاهده می‌شود مدل ۲۰ دارای مقاومت بیشینه ۴۰ kN.m می‌باشد در حالیکه ارتفاع سخت‌کننده در آن ۱۶۰ میلی‌متر است و در مدل ۴ که ارتفاع سخت‌کننده ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد مقاومت بیشینه حدوداً ۳۰ kN.m می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که با تغییر ابعاد نسبت عرض به ارتفاع یا ضخامت ورق اتصال می‌توان به مقاومت بهینه برای کل مجموعه اتصال دست یافت.



شکل ۲۰- مقایسه مدل‌های دارای عرض ۱۰۰ میلی‌متر با ضخامت‌های مختلف

در مدل مورد بحث همانطور که مشاهده می‌شود به جهت اینکه بین بال و جان تیر تا وجه ستون فاصله وجود دارد و تنها اتصال از طریق جوش سرتاسری دو عدد ورق اتصال تامین می‌شود مشاهده می‌شود که قبل از اینکه مفصل پلاستیک در تیر ایجاد گردد ورق اتصال در ناحیه فوقانی خود وارد ناحیه پلاستیک می‌شود و اتصال در آن نقطه بر اثر گذر کرنش از کرنش پارگی کارایی خود را از دست می‌دهد (شکل ۲۱).



شکل ۲۱- نمایش مدل اتصال در لحظه‌ای که اتصال کارایی خود را از دست می‌دهد

ردیف	نام مدل	لنگر تلاقی ton.m	درصد گیرداری
۳۶	SR132006	۰/۱۸۹	۲۵/۰۶
۳۷	SR131612	۰/۲۷۸	۳۶/۸۷
۳۸	SR131610	۰/۲۶۲	۳۴/۷۴
۳۹	SR131608	۰/۲۴۱	۳۱/۹۶
۴۰	SR131606	۰/۱۸۸	۲۴/۹۳
۴۱	SR131312	۰/۲۶۹	۳۵/۶۷
۴۲	SR131310	۰/۲۵۵	۳۳/۸۱
۴۳	SR131308	۰/۲۳۷	۳۱/۴۳
۴۴	SR131306	۰/۱۸۸	۲۴/۹۳
۴۵	SR131012	۰/۲۶۷	۳۵/۴۱
۴۶	SR131010	۰/۲۶۷	۳۵/۴۱
۴۷	SR131008	۰/۲۳۶	۳۱/۲۹
۴۸	SR131006	۰/۱۸۹	۲۵/۰۶
۴۹	SR102012	۰/۲۷۷	۳۶/۷۳
۵۰	SR102010	۰/۲۰۱	۲۶/۶۵
۵۱	SR102008	۰/۱۶۵	۲۱/۸۸
۵۲	SR102006	۰/۱۲۴	۱۶/۴۴
۵۳	SR101612	۰/۲۲۶	۲۹/۹۷
۵۴	SR101610	۰/۲۰۰	۲۶/۵۲
۵۵	SR101608	۰/۱۶۵	۲۱/۸۸
۵۶	SR101606	۰/۱۲۴	۱۶/۴۴
۵۷	SR101312	۰/۲۲۴	۲۹/۷۰
۵۸	SR101310	۰/۲۰۰	۲۶/۵۲
۵۹	SR101308	۰/۱۶۶	۲۲/۰۱
۶۰	SR101306	۰/۱۲۳	۱۶/۳۱
۶۱	SR101012	۰/۲۲۴	۲۹/۷۰
۶۲	SR101010	۰/۲۰۰	۲۶/۵۲
۶۳	SR101008	۰/۱۶۶	۲۲/۰۱
۶۴	SR101006	۰/۱۲۴	۱۶/۴۴

جدول ۲- درصد گیرداری مدل های مورد بررسی

ردیف	نام مدل	لنگر تلاقی ton.m	درصد گیرداری
۱	SR202012	۰/۵۹۱	۷۸/۳۸
۲	SR202010	۰/۵۳۸	۷۱/۳۵
۳	SR202008	۰/۴۸۰	۶۳/۶۶
۴	SR202006	۰/۲۰۰	۲۶/۵۲
۵	SR201612	۰/۲۹۱	۳۸/۵۹
۶	SR201610	۰/۲۶۵	۳۵/۱۴
۷	SR201608	۰/۲۳۸	۳۱/۵۶
۸	SR201606	۰/۱۹۸	۲۶/۲۵
۹	SR201312	۰/۲۸۳	۳۷/۵۳
۱۰	SR201310	۰/۲۶۰	۳۴/۴۸
۱۱	SR201308	۰/۴۷۰	۶۲/۳۳
۱۲	SR201306	۰/۱۸۳	۲۴/۲۷
۱۳	SR201012	۰/۵۶۴	۷۴/۸۰
۱۴	SR201010	۰/۵۲۰	۶۸/۹۶
۱۵	SR201008	۰/۴۷۰	۶۲/۳۳
۱۶	SR201006	۰/۳۶۸	۴۸/۸۰
۱۷	SR162012	۰/۳۹۱	۵۱/۸۵
۱۸	SR162010	۰/۳۶۰	۴۷/۷۴
۱۹	SR162008	۰/۳۱۳	۴۱/۵۱
۲۰	SR162006	۰/۲۷۶	۳۶/۶۰
۲۱	SR161612	۰/۳۸۹	۵۱/۵۹
۲۲	SR161610	۰/۳۵۹	۴۷/۶۱
۲۳	SR161608	۰/۲۹۳	۳۸/۸۵
۲۴	SR161606	۰/۲۷۴	۳۶/۳۳
۲۵	SR161312	۰/۳۸۴	۵۰/۹۲
۲۶	SR161310	۰/۳۵۵	۴۷/۰۸
۲۷	SR161308	۰/۳۰۹	۴۰/۹۸
۲۸	SR161306	۰/۲۷۲	۳۶/۰۷
۲۹	SR161012	۰/۳۸۵	۵۱/۰۶
۳۰	SR161010	۰/۳۵۶	۴۷/۲۱
۳۱	SR161008	۰/۲۹۲	۳۸/۷۲
۳۲	SR161006	۰/۲۷۳	۳۶/۲۰
۳۳	SR132012	۰/۲۸۱	۳۷/۲۶
۳۴	SR132010	۰/۲۶۴	۳۵/۰۱
۳۵	SR132008	۰/۲۴۲	۳۱/۹۶

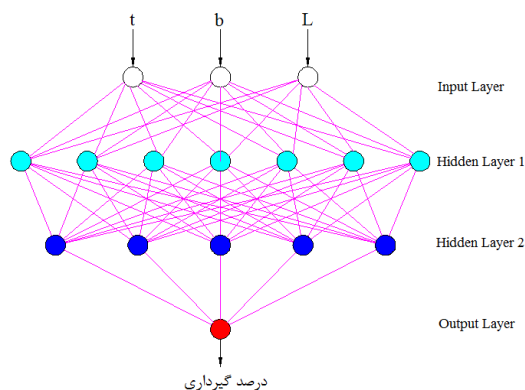
و خروجی مقادیر به حداکثر مقدار نتایج مرتبط تقسیم و حاصل در ۰/۸۵ ضرب شد تا نتایج به محدوده صفر تا ۰/۸۵ نرمال شوند...

جدول ۳- مدل‌های شبکه عصبی مورد استفاده

ANN model structure	Transfer function	Training		MSE
		Max Error	R ²	
4-2-2-1	S-S-S	0.038	0.99	0.15
4-2-2-1	G-G-S	0.04	0.99	0.18
4-2-2-1	HT-HT-S	0.0299	0.99	0.2
4-2-2-1	HS-HS-S	0.0252	0.99	0.15
4-3-2-1	G-G-S	0.02	0.99	0.18
4-4-3-1	G-G-S	0.02	0.99	0.13
4-5-3-1	G-HT-S	0.02	0.99	0.11
4-5-3-1	G-HS-S	0.02	0.99	0.14
4-5-3-1	HT-G-S	0.02	0.99	0.12
4-5-3-1	HS-G-S	0.02	0.99	0.10
4-7-5-1	G-TH-S	0.0199	0.99	0.14
4-7-5-1	G-HS-S	0.02	0.99	0.09
4-7-5-1	G-G-S	0.02	0.99	0.11
4-7-5-1	G-S-S	0.02	0.99	0.08
4-7-5-1	HS-G-S	0.02	0.99	0.12
4-7-5-1	HT-G-S	0.02	0.99	0.14

S: Sigmoid, G: Gaussian, HT: Hyperbolic Tangent, HS: Hyperbolic Secant

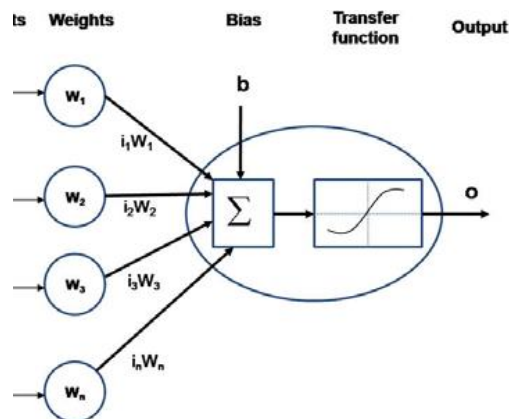
بر اساس جدول فوق شبکه با دو لایه پنهان و هفت نورون در لایه اول و ۵ نورون در لایه دوم و با توابع گوسین در لایه اول و تابع سیگموئید در لایه دوم و خروجی بهترین نتایج را تولید می‌کند. مدل این شبکه در شکل ۲۳ ارائه شده است.



شکل ۲۳- مدل شبکه بهینه شبکه در تعیین درصد گیرداری بر اساس داده های تحلیلی

۵- مدل شبکه عصبی بر پایه نتایج تحلیلی

به منظور تعیین مدل مناسب برای پیش‌بینی درصد گیرداری در این بخش مدل شبکه عصبی استفاده شده بر پایه نتایج تحلیل ارائه می‌شود. مدل پیشنهادی بر اساس مدل جلوسوی پرسپترون می‌باشد. شکل عمومی مدل به صورت نشان داده شده در شکل ۲۲ می‌باشد.



شکل ۲۲- شکل عمومی مدل شبکه عصبی پرسپترون

به منظور تعیین بهترین مدلها سه پارامتر متوسط مربع خطا (MSE)، مقدار واریانس (R²) و متوسط درصد خطا (MAPE) به صورت تعریف شده در معادلات ۷-۹ تا ۷-۱۱ مورد استفاده قرار گرفتند.

$$MSE = \left(\frac{1}{p}\right) \times \sum_j (t_j - \sigma_j)^2 \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_j (t_j - \sigma_j)^2}{\sum_j \sigma_j^2}\right] \quad (3)$$

$$MAPE = \left(\frac{1}{p}\right) \times \sum_j \left(\frac{\sigma_j - t_j}{\sigma_j} \times 100\right) \quad (4)$$

در روابط فوق t_j مقدار هدف و σ_j مقدار خروجی شبکه برای j امین داده و p تعداد داده‌ها می‌باشد...

در مدل شبکه عصبی تعداد لایه‌های پنهان و همچنین تعداد نورون در هر لایه به نحوی تعیین شد تا خطای شبکه به حداقل برسد. به این منظور ورودیهای شبکه مقادیر طول، عرض و ضخامت ورق اتصال انتخاب شد و مقدار درصد گیرداری به عنوان خروجی شبکه لحاظ گردید. در مدل شبکه ارتباط بین تمام نورونها برقرار شد. برای تعیین بهترین مدل شبکه، مدل‌های مختلف با تعداد لایه‌ها و نورونها و همچنین توابع آموزش مختلف در هر لایه مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۳ نمونه این مدلها را نشان می‌دهد. یکی از نکات مهم در مدلسازی شبکه عصبی آن است که خروجی‌های توابع آموزش در محدوده صفر تا یک تغییر می‌کنند. لذا برای استفاده از ورودی‌ها در شبکه لازم بود تا تمام ورودی‌ها و خروجی‌ها در شبکه به این محدوده نرمال شوند. بنابراین در هر ورودی

تحميل می کنند برای یک میزان دوران یکسان حتی از ۳۵ kN.m تجاوز نمی کند.

• مدل شبکه عصبی با دو لایه پنهان و هفت نورون در لایه اول و ۵ نورون در لایه دوم و با توابع گوسین در لایه اول و تابع سیگموئید در لایه دوم و خروجی بهترین نتایج را پیش بینی درصد گیرداری تولید می کند.

۷- منابع

1. Bruneau, M., Uang, C.M., Wittaker, A., 1998, Ductile Design of Steel Structures, McGraw-Hill
2. اسمریان نسب، ر. (۱۳۹۰). بررسی رفتار اتصال نیمه صلب تیر به ستون با ورق های نشیمن و فوقانی، اولین همایش منطقه ای مصالح ساختمانی و تکنولوژی های نوین در مهندسی عمران، باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرند، ایران.
3. Norzan, M. Y. (1986). Semi- Rigid connections analysis and design, a thesis for MSc degree, Lehigh University, Pennsylvania, USA .
4. Simoes, L. M. C. (1996). Optimization of frames with semi- rigid connections, computer and structures, Vol. 60, No. 4, pp. 531-539.
5. Kishi, N., Chen, W.F., Goto, Y. and Matsuoka, G. (2003). Design aid of semi- rigid connections for frame analysis, engineering journal.
6. Lin, X.G. and Hamamoto, N. (2008). Prediction Of Initial Stiffness Of Semi- Rigid Steel Beam-To-Column Connections With Bolts And Angles, The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, Beijing, China.
7. کریمی، م. س.، ذوالفقار، ن. (۱۳۹۰). بررسی عددی رفتار اتصالات نیمه گیردار با ورق انتهایی در قاب های خمشی، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۶ و ۷ اردیبهشت، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
8. S.N.R. Shah , N.H.RamliSulong , MahdiShariati , R.Khan , M.Z.Jumaat, Behavior of steel pallet rack beam-to-column connections at elevated temperatures, Thin-WalledStructures106(2016)471-483.
9. V. Karagiannis, C. Málaga-Chuquitaype , A.Y. Elghazouli, Behaviour of hybrid timber beam-to-tubular steel column moment connections, Engineering Structures (2016)
10. Saeed Erfani, Ahmad Ali Asnafi, Alireza Goudarzi, Connection of I-beam to box-column by a short stub beam, Journal of Constructional Steel Research 127 (2016) 136-150.
11. Deniz Bayraktar, Zeki Ay, Ilyas Devran Celik, Experimental and numerical study on moment-rotation relations of welded end-plate tubular connections, Journal of Constructional Steel Research 126 (2016) 63-73.

۶- نتیجه گیری

با توجه به نمودارهای لنگر دوران، ($M-\theta$) مدل های مورد بررسی گیرداری اکثر مدل ها به جز چند عدد از آنها بین ۲۰٪ و ۹۰٪ می باشد، بنابراین با توجه به محدوده درجه گیرداری برای اتصالات نیمه صلب، این مدل ها به صورت اتصال نیمه صلب رفتار کرده اند. بنابراین افزایش ارتفاع ورق های اتصالی، افزایش ضخامت ورق های اتصالی، افزایش عرض ورق های اتصالی باعث می شود که اتصال از نوع ساده به سمت اتصال نیمه صلب سوق پیدا کند. بنابراین افزایش ارتفاع ورق های اتصالی، افزایش ضخامت ورق های اتصالی، افزایش عرض ورق های اتصالی باعث می شود مقدار لنگر خمشی وارد بر ورق های اتصالی افزایش یابد. اما مهمترین نتایج حاصله به شرح زیر هستند:

- ۱۶ مدل اول که از ارتفاع ۲۰۰ میلی متر برخوردار هستند به طور کلی دارای مقاومت و سختی اتصال بالاتری هستند. به همین ترتیب مدل های ۱۷ تا ۳۲ که همگی دارای ارتفاع ورق اتصال ۱۶۰ میلی متر هستند نسبت به مدل های ۳۳ تا ۴۷ که ارتفاع ورق اتصالشان ۱۳۰ میلی متر است قوی تر و در نهایت مدل های ۴۸ تا ۶۴ که دارای ارتفاع ورق اتصال ۱۰۰ میلی متر هستند از همگی ضعیف تر هستند.
- در مدل های با عرض یکسان ۱۰۰ میلی متر پس از یک مقدار دورانی به بعد با افت مقاومت اتصال مواجه می شویم به طوری که مدل ۴ که در آن ارتفاع ورق ۲۰۰ میلی متر است ناگهان پس از دوران ۵ درصد به بعد با کاهش قابل توجه مقاومت مواجه می شود به همین منوال مدل ۲۰ پس از دوران ۶ درصد و مدل ۳۶ نیز پس از دوران ۷ درصد دچار همین حالت می شود.
- مدل ۲۰ دارای مقاومت بیشینه ۴۰ kN.m می باشد در حالیکه ارتفاع سخت کننده در آن ۱۶۰ میلی متر است و در مدل ۴ که ارتفاع سخت کننده ۲۰۰ میلی متر می باشد مقاومت بیشینه حدوداً ۳۰ kN.m می باشد.
- افزایش مقاومت اتصال با افزایش ارتفاع ورق اتصالی سرعت بیشتری دارد به طوری که مدل ۳ که در آن ارتفاع ورق ۲۰۰ میلی متر است نسبت به مدل ۱۹ که ارتفاع ورق اتصال ۱۶۰ میلی متر است افزایش قابل توجه بیشتری دارد.
- در مدل های دارای عرض ثابت ۱۶۰ میلی متر یعنی مدل های شماره ۱۸، ۳۴، ۲ و ۵۰ با افزایش ارتفاع ورق اتصال، افزایش ظرفیت اتصال قابل توجه است به طوری که مدل ۲ که دارای ارتفاع ۱۶۰ و عرض ۲۰۰ میلی متر است مقاوم ترین اتصال این گروه را ارائه داده است.
- در مدل های دارای عرض ثابت ۲۰۰ میلی متر یعنی مدل های شماره ۳۳، ۱۷، ۱ و ۳۹ با افزایش ارتفاع ورق اتصال، افزایش ظرفیت اتصال قابل توجه است به طوری که مدل ۱ که دارای ارتفاع و عرض ۲۰۰ میلی متر است.
- در مدل های ۴۹ تا ۶۱ عرض ورق در مقاومت اتصال تاثیری ندارد و مقدار لنگری که اتصالات دارای ورق اتصال با ارتفاع ۱۰۰ میلی متر

12. Zhengyi Kong, Seung-Eock Kim, Moment-rotation behavior of top-and seat-angle connections with double web angles, *Journal of Constructional Steel Research* 128 (2017) 428–439.

Investigation of Changing the Dimensions of the Connecting Parts of Beam-to-column Semi-rigid Connections on the Behavior and the Rigidity Percentage of this Connection

Amir Hosein Mollaskandari

Department of civil engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
Ali Delnavaz*

Assistant professor, Department of civil engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract:

Structural analysis is very complicated in terms of actual behavior of its connections, and for this reason, by employing the concept of the beam line, certain stiffness is attributed to each connection and thus the connections are categorized. In this research, a semi-rigid connection with stiffener plates is considered in the connection between a beam web and a column. For this purpose, 64 analytical models are utilized, in which the features of stiffener plates, such as height, width, and thickness are changed. There are four variable modes for height, four variable modes for widths, and four variable modes for thickness, making a total of 64 different models. The connections were modeled under a nonlinear static analysis and then the momentum-rotation diagrams were plotted for each mode. So that, the behavior of the semi-rigid connection and the impact of the connecting plates on its performance was investigated. Finally, by comparing the results, a relationship was provided for estimating the rigidity percentage of a semi-rigid connection.

Keywords: Semi-rigid connection, Rigidity percentage, Non-linear static analysis, Moment-rotation diagram