

Investigating the behavior of innovative hybrid connection of reinforced concrete beam to cruciform steel column using two web plates

Amin Moradi¹, Hossein Parvini Sani^{2*}

1- M.Sc., Department of Civil Engineering, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran.

2- Assistant professor, Department of Civil Engineering, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran.

ABSTRACT

Load transfer from beam to column in connections by a reliable path is one of the most important and critical issues that has been proposed and studied in various details by many researchers. The failure of the connection between the column and the beam is one of the main reasons that causes the failure and accelerates the collapse process of the structures. In the current research, it has been tried to increase the capacity and strength of the connection by proposing an innovative hybrid connection of reinforced concrete beam to steel column in two cases and provide the possibility of using these details in heavier sections. The innovative connection is proposed in two ways: 1- placing two steel shear web plates inside the concrete beam and connecting it with the end plate to the steel column 2- placing two steel shear web plates with upper and lower flange plates together inside the concrete beam and its connection with the end plate to the steel column. In this regard, after modeling and validating the prototype, the capacity and behavior of the proposed connections have been checked in Abaqus finite element software. The results of the analysis show that an increase in energy absorption with the addition of continues plate, and this effect is more visible with the increase in the dimensions of the beam and column in higher drifts. Also, the addition of flange plates to the steel part of the hybrid concrete beam is very effective in the overall ductility of the connection, and this has caused a 24% increase in the ductility coefficient and 13% in the maximum strength compared to the other proposed connections. At the same time, increasing the length of the steel part of the beam has increased the strength of the connection in all cases.

ARTICLE INFO

Receive Date: 17 January 2023

Revise Date: 20 May 2023

Accept Date: 05 June 2023

Keywords:

Cruciform steel column

End plate connection

Innovative connection

Hybrid connection

Reinforced concrete beam

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2023.380707.3010>

*Corresponding author: Hossein Parvini Sani.
Email address: hossein.parvini_sani@iauz.ac.ir

بررسی رفتار اتصال هیبریدی نوآورانه تیر بتنی مسلح به ستون صلیبی فولادی با استفاده از دو ورق جان

امین مرادی^۱، حسین پروینی ثانی^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران.

چکیده

انتقال بار از تیر به ستون در اتصالات توسط یک مسیر مطمئن، یکی از مسائل مهم و حیاتی است که توسط بسیاری از محققان با جزئیات مختلف پیشنهاد شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. شکست اتصال بین ستون و تیر یکی از دلایل اصلی است که باعث ایجاد شکست و تسریع در فرآیند فروپاشی سازه می‌شود. در تحقیق حاضر سعی شده است با پیشنهاد اتصال نوآورانه هیبریدی تیر بتنی مسلح به ستون فولادی، ظرفیت و مقاومت اتصال افزایش یافته و امکان استفاده از این جزئیات در مقاطع سنگین‌تر فراهم گردد. اتصال ابداعی در دو حالت پیشنهاد شده است: ۱- قرار دادن دو جان برشی فولادی همراه با برشگیر در داخل تیر بتنی و اتصال آن با ورق انتهائی به ستون فولادی ۲- قرار دادن دو جان برشی فولادی با ورق بال بالایی و پائینی همراه با برشگیر در داخل تیر بتنی و اتصال آن با ورق انتهائی به ستون فولادی. در این راستا پس از مدل‌سازی و صحت‌سنجی نمونه اولیه، ظرفیت و رفتار اتصالات پیشنهادی در نرم‌افزار المان محدود آباکوس بررسی شده است. نتایج تحلیل نشان‌دهنده افزایش جذب انرژی بخصوص در بخش اتصال و چشمه اتصال با اضافه شدن ورق پیوستگی می‌باشد و این تاثیر با افزایش ابعاد تیر و ستون در دریافت‌های بالاتر بیشتر مشاهده می‌گردد. همچنین اضافه شدن بال به بخش فولادی تیر بتنی هیبریدی در شکل‌پذیری کلی اتصال بسیار تاثیرگذار بوده و این امر افزایش ۲۴٪ در ضریب شکل‌پذیری و ۱۳٪ در حداکثر مقاومت نسبت به سایر اتصالات پیشنهادی را نشان داد. همچنین افزایش طول بخش فولادی دستک اتصال، در کلیه حالات موجب افزایش مقاومت اتصال گردید.

کلمات کلیدی: ستون صلیبی فولادی، اتصال با ورق انتهائی، اتصال نوآورانه، اتصال هیبریدی، تیر بتنی مسلح

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2023.380707.3010	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2023.380707.3010	۱۴۰۲/۱۱/۳۰	۱۴۰۲/۰۳/۱۵	۱۴۰۲/۰۳/۱۵	۱۴۰۲/۰۲/۳۰	۱۴۰۱/۱۰/۲۷
حسین پروینی ثانی hossein.parvini_sani@iauz.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

مطالعات زیادی در ارتباط با سیستم‌های باربر لرزه‌ای جانبی تا کنون انجام شده [۱] و سیستم‌های متنوع نوین باربر جانبی پیشنهاد شده است [۲ و ۳]. سیستم‌های سازه‌ای قاب خمشی یکی از پرکاربردترین سیستم مقاوم باربر جانبی در سازه‌های جهان می‌باشد. قاب‌های خمشی بتنی درجا در کارگاه توسط عوامل اجرایی آرماتوربندی، قالب بندی و بتن ریزی شده و مطمئناً دارای دقت در حد ساخت کارخانه‌ای پیش ساخته نبوده و همچنین نیازمند زمان برای گیرش بتن در روند ساخت هستند. از طرفی دیگر استفاده از سیستم‌های سازه‌های فولادی نسبت به سازه‌های بتنی خصوصاً در ساختمان‌های با اهمیت متوسط باعث افزایش هزینه شده و با مدنظر قراردادن ضعف بیشتر سازه‌های فولادی در برابر حریق تمایل کارفرمایان برای استفاده از آن را کاهش می‌دهد. حال با این تفاسیر می‌توان با ساخت یک سازه‌ی قاب خمشی کامپوزیتی یا هیبریدی با تیر بتنی و ستون‌های فولادی ساخته شده در کارخانه و همچنین ایجاد شرایط برای امکان پذیر نمودن اتصال اعضا بصورت خمشی به یکدیگر با نصبی سریع، علاوه بر تسریع و سهولت اجرا، فرآیند ساخت کارخانه‌ای و نصب نهایی در محل کارگاه، کنترل کیفیت، دقت و مقاومت مدنظر اعضا را نیز افزایش داده و با کاهش هزینه‌ها امکان استفاده این قبیل سیستم‌ها را برای سازه‌های متداول نیز امکان پذیر نمود.

مطالعات زیادی در ارتباط با عملکرد و رفتار سازه‌های هیبریدی فولادی-بتنی انجام شده است. چو و یوانگ [۴] در سال ۲۰۰۲ نیز با انجام دو تست آزمایشگاهی جزئیات اتصال تیر فولادی به ستون فولادی مرکب مدفون در بتن را بررسی نمودند. چنگ و چن [۵] در سال ۲۰۰۵ با انجام شش تست آزمایشگاهی جزئیات اتصال تیر فولادی به ستون فولادی مرکب مدفون در بتن با و بدون اثر دال سقف را بررسی نموده و نشان دادند که مقاومت نهایی تیر کامپوزیت با در نظر گرفتن اثر دال بتنی تا ۲۷٪ نسبت به تیر فولادی بدون دال بتنی افزایش می‌یابد. جو و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۷ به ارزیابی اتصال نوآورانه تیر فولادی کامپوزیتی به ستون فولادی در چهار مدل آزمایشگاهی پرداختند که نتایج آن‌ها نشان داد که اتصال پیشنهادی مقاومت مناسب به عنوان اتصال نیمه صلب را داراست. ادر و همکاران [۷] در سال ۲۰۱۱ با انجام تست‌های آزمایشگاهی و مدل‌سازی‌های عددی به جزئیات اتصال ابداعی دال بتن مسطح به ستون فولادی با استفاده از برشگیر پرداختند بگونه‌ای که برشگیرها در برابر نیروی برشی قبل از وقوع برش پانچ در دال بتنی تسلیم شوند. اتصال پیشنهادی آن‌ها رفتار عملکرد غیرالاستیک مناسبی از خود نشان داد. بومپا و الگازولی [۸] در سال ۲۰۱۵ به بررسی مکانیزم انتقال برش و رفتار نهایی سیستم هیبریدی شامل تیر بتنی مسلح متصل به ستون فولادی پرداخته و با انجام تست‌های آزمایشگاهی و مدل‌سازی‌های عددی مقایسه بین نتایج را انجام دادند. مدل آن‌ها شامل یک دستک فولادی جوش شده به ستون فولادی بوده که این دستک در بتن تیر مدفون شده است. نتایج این مطالعات نشان داد که مکانیزم انتقال نیروی تابعی از سطح نیروی اعمالی و توزیع ترک‌ها می‌باشد. ال-مصری و همکاران [۹] با انجام تست آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی اقدام به بررسی وضعیت اتصال تیر بتنی به ستون فولادی در چهار حالت مختلف نمودند. در این مطالعه تیر فولادی مدفون در بتن بصورت دستک در طول‌های مختلف با اتصال پیچی به ستون فولادی متصل شده و نشان داده شده که مقاومت در برابر گسیختگی با افزایش طول انتقال تیر فولادی، افزایش می‌یابد. ژانگ و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۲۱ به مطالعه آزمایشگاهی اتصال تیر کامپوزیتی فولادی-بتنی به ستون بتن مسلح با استفاده از یک ورق برشی پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد که نسبت آرماتور طولی، قطر پیچ‌های پرمقاومت و دال سقف بر روی رفتار اتصال بشدت تاثیرگذار هستند. سانگ و همکاران [۱۱] به بررسی رفتار و طراحی اتصالات تیرهای فولادی ضد زنگ کامپوزیتی به ستون‌ها پرداخته و روابط طراحی اصلاح شده برای آن را ارائه نمودند. وانگ و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۲۱ به بررسی عملکرد اتصال تیرهای کامپوزیتی و ستون فولادی در برابر بارهای ضربه‌ای پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که نوع اتصال و رفتار دال بتنی در نحوه تشکیل مسیر بار زنجیره‌ای در اتصال و سناریو فروریزش دینامیکی کاملاً موثر است. همچنین مطالعه عددی اتصال تیر کامپوزیتی فولادی-بتنی به ستون فولادی با استفاده از میلگردهای ریشه‌ای توسط لچی و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۲۱ انجام شد. مدل پیشرفته برای مدل‌سازی بتن و پیش‌بینی احتمال ترک بتن توسط آن‌ها تهیه شد. یانگ و همکاران [۱۴] در سال ۲۰۲۲ با پیشنهاد اتصال ابداعی تیر کامپوزیتی فولادی-بتنی با استفاده از قطعه فولادی پیش ساخته دائمی در محل اتصال نشان دادند که اتصال پیشنهادی آن‌ها عملکرد مناسبی در قاب‌های خمشی ویژه کامپوزیتی را داراست. ژانگ و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۲۲ به

بررسی آزمایشگاهی اتصال نوآورانه تیر کامپوزیتی پیش ساخته به ستون فولادی پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد که شکست در کلیه قسمت‌ها از نوع خمشی می‌باشد که موید فلسفه ستون قوی-تیر ضعیف می‌باشد.

جزئیات مختلفی جهت اتصال تیرهای بتنی به ستون فولادی وجود دارد و تحقیقاتی نیز در این باره صورت گرفته است، در تحقیق حاضر سعی شده است با پیشنهاد اتصال نوآورانه هیبریدی تیر بتنی مسلح به ستون فولادی، ظرفیت و مقاومت اتصال افزایش یافته و امکان استفاده از این جزئیات در مقاطع سنگین تر فراهم گردد و همچنین با توجه به سهولت اجرایی جزئیات پیشنهادی، امکان افزایش سرعت عملیات اجرایی در آن نیز میسر می‌شود. اتصال ابداعی در دو حالت پیشنهاد شده است: ۱- قرار دادن دو جان برشی فولادی همراه با برشگیر در داخل تیر بتنی و اتصال آن با ورق انتهائی به ستون فولادی ۲- قرار دادن دو جان برشی فولادی با ورق بال بالایی و پائینی همراه با برشگیر در داخل تیر بتنی و اتصال آن با ورق انتهائی به ستون فولادی. در این راستا پس از مدل‌سازی و صحت‌سنجی نمونه اولیه، ظرفیت و رفتار اتصالات پیشنهادی در نرم‌افزار المان محدود آباکوس بررسی شده است.

۲- تشریح مدل صحت‌سنجی

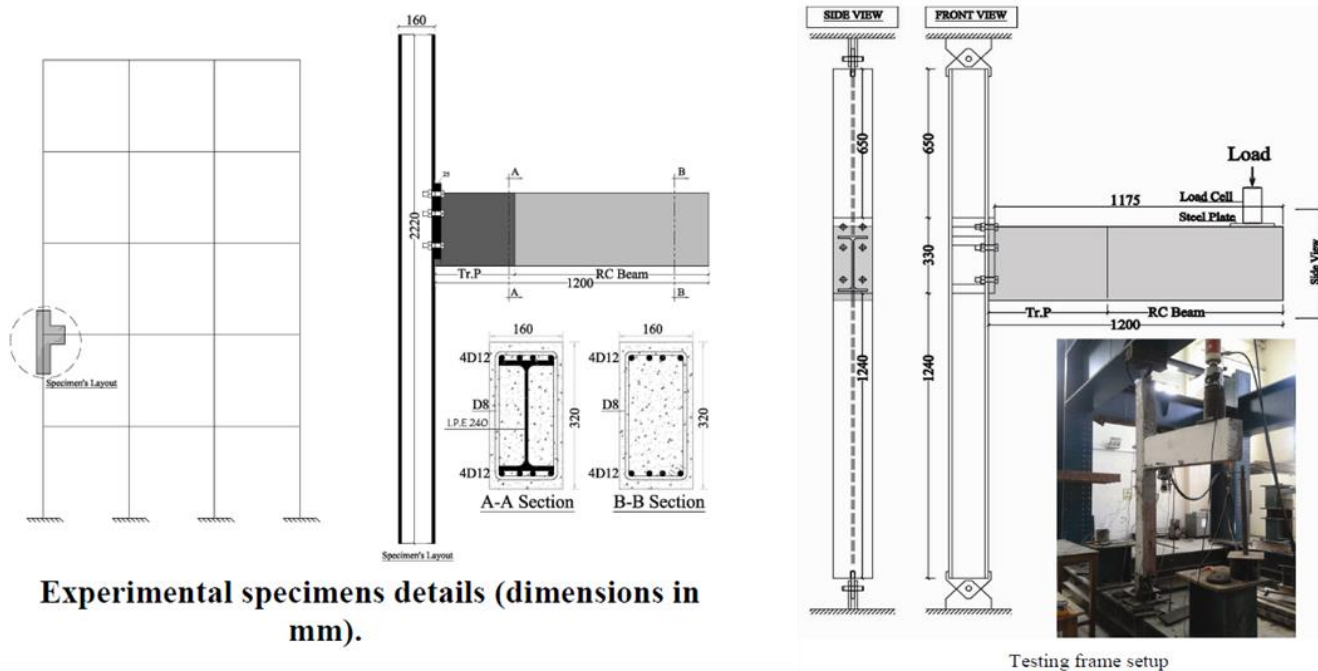
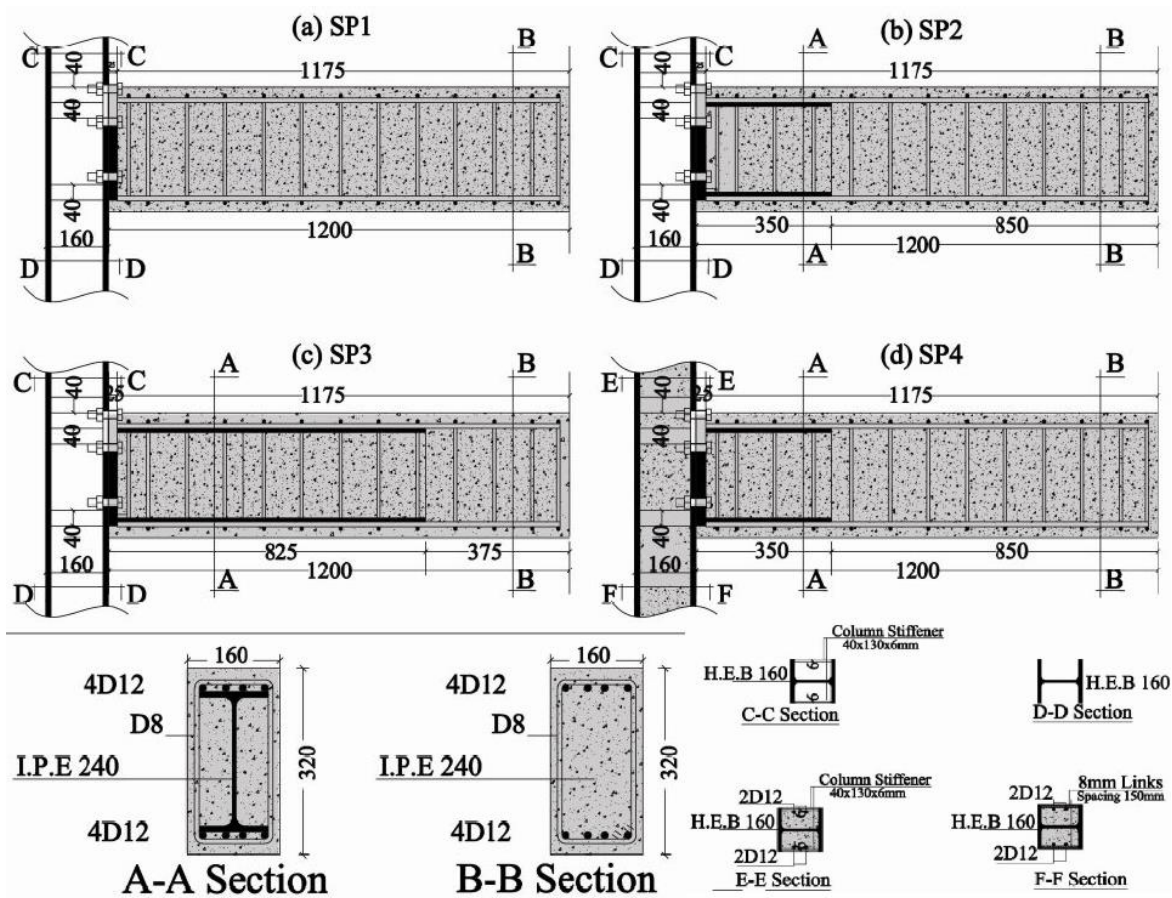
۲-۱- مشخصات کلی

جهت بدست آوردن فرضیات و نکات قابل اطمینان برای مدل‌سازی، از تحقیق آزمایشگاهی [۹] و مدل‌سازی عددی همان تحقیق با نرم افزار انسیس [۱۶] که توسط ال-مصری و همکاران در سال ۲۰۱۵ انجام شده، استفاده گردیده است. سازه مورد بحث در نمونه آزمایشگاهی دارای تیر بتنی با مقطع مختلط در ابتدای تیر که توسط پیچ و یک ورق به ستون فولادی متصل شده است، می‌باشد. این سازه شامل چهار نمونه با جزئیات متفاوت در مقاطع تیر، ستون و طول المان‌ها می‌باشد که در شکل ۱ مشخصات این نمونه‌ها نشان شده است. میلگردگذاری همه تیرها یکسان بوده و فقط طول مقطع فولادی داخل تیر متفاوت است. ستون‌ها در همه نمونه‌ها یکسان بوده و فقط در جزئیات نمونه چهارم، مقطع ستون در یک ستون بتنی دیگر محاط شده است. ارتفاع خالص ستون‌ها از مقطع HEB-160 برابر با ۲۲۲۰ میلی‌متر و طول تیرها از مقطع IPE240 برابر با ۱۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در کلیه نمونه‌ها اتصال دستک اتصال صورت مفصلی به ستون انجام شده است. عرض مقطع تیر بتنی شکل گرفته برابر با ۱۶۰ میلی‌متر و ارتفاع آن برابر با ۳۲۰ میلی‌متر می‌باشد. تیر بتنی دارای ۴ آرماتور در بالا و ۴ آرماتور در پایین با قطر ۱۲ میلی‌متر بوده و خاموت‌های تیر بتنی با قطر ۸ میلی‌متر به فواصل ۱۰۰ میلی‌متر جاسازی شده‌اند. دستک اتصال به ورق انتهایی جوش شده و ورق توسط پیچ به ستون متصل شده است. مقاومت فشاری میانگین نمونه‌های بتنی اخذ شده در هنگام ساخت تیر برابر با ۵۰ مگاپاسکال بوده و آرماتورهای فولادی طولی مورد استفاده با مقاومت حد تسلیم ۳۶۰ مگاپاسکال و حد نهایی ۵۲۰ مگاپاسکال و آرماتورهای عرضی طولی مورد استفاده با مقاومت حد تسلیم ۲۴۰ مگاپاسکال و حد نهایی ۳۵۰ مگاپاسکال و حد تسلیم اجزای فولادی برابر با ۳۳۶ مگاپاسکال و حد نهایی برابر با ۵۰۰ مگاپاسکال و حد تسلیم برای پیچ‌ها برابر با ۵۷۵ مگاپاسکال می‌باشد. بار وارده به نمونه نیز به صورت بار یک جهته می‌باشد. از جزئیات SP3 مطالعه فوق برای صحت‌سنجی استفاده شده است.

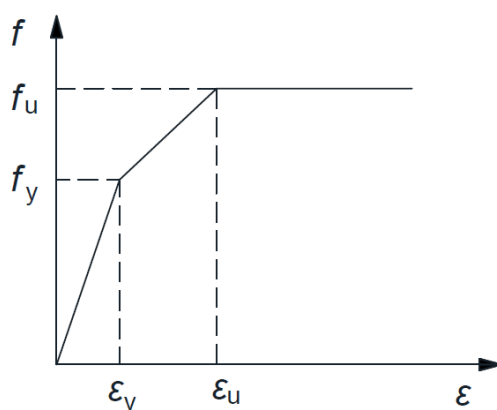
۲-۲- جزئیات مدل‌سازی

منحنی تنش کرنش مصالح فولادی با استفاده از مدل سه خطی توصیه شده توسط بهاری و همکاران [۱۷] مطابق با شکل ۲ مدل‌سازی شده است. این مدل تنش-کرنش سخت شونده‌گی پلاستیک مصالح را بر اساس نظریه نمودی پلاستیسیته در نظر می‌گیرد. از معیار فون-میسز برای تعیین این موضوع که آیا فولاد به حد تسلیم خود در تنش چندمحوره رسیده است، استفاده شده است [۱۸]. در آباکوس برای مدل قطعات فولادی از المان هشت‌گه‌ای C3D8R استفاده شده که انتگرال‌گیری عددی این المان به روش گاوس انجام می‌پذیرد. بمنظور مدل‌سازی میلگردها از المان وایر T3D2 که بصورت خرپایی عمل می‌کنند و قادر به تحمل خمش نمی‌باشند، بهره گرفته شده است. همچنین برای مدل قطعات پیچ‌ها از مدل دوخطی با سخت شونده‌گی (الاستوپلاستیک کامل) [۱۹] و جهت مش بندی آن از المان هشت‌گه‌ای C3D8R استفاده شده است. به جهت کاهش زمان تحلیل و برطرف کردن مشکلات همگرایی که ممکن است در روند

حل مسئله پیش آید هندسه پیچ‌ها به صورت دمبلی در نظر گرفته شده‌اند و از مدل‌سازی و اشراها صرف‌نظر گردید. بر این اساس مساحت سرپیچ‌های دمبلی شکل برابر با مساحت تماس و اشراها در نظر گرفته شده است.



شکل ۱: ابعاد و اندازه نمونه آزمایشگاهی استفاده شده در مدل صحت سنجی [۹].

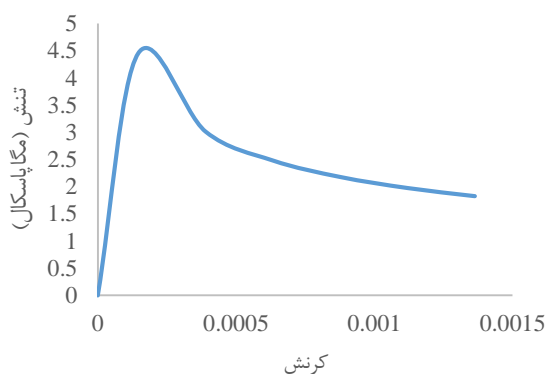


شکل ۲: نمودار سه خطی تعریف شده برای مصالح فولادی

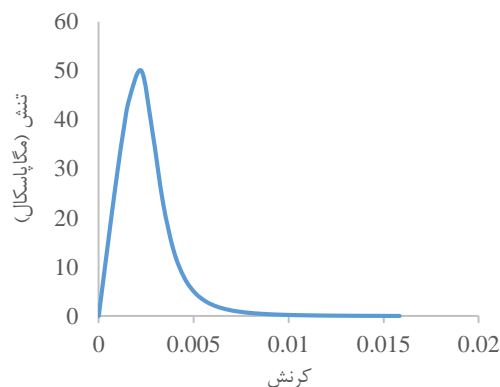
برای تعریف بتن در فشار از مدل کنت-اسکات-پارک [۲۰] بهره گرفته شده است. برای تعریف رفتار بتن در فاز غیرخطی نیز از مدل پلاستیسیته خسارت بتن در نرم افزار اجزا محدود آباکوس استفاده شده است. مدل پلاستیسیته خسارت بتن، تنها مدلی است که در هر دو تحلیل استاتیکی و دینامیکی قابل استفاده است. پارامترهای تعریف شده برای این مدل مطابق با جدول ۱ می باشد [۲۱]. همچنین نمودارهای تنش-کرنش بتن در کشش و فشار در شکل ۳ نمایش داده شده است. در نرم افزار برای مدل بتن از المان هشت گره ای C3D8R استفاده شده است.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل پلاستیسیته خسارت بتن

زاویه اتساع	پتانسیل خروج از مرکزیت پلاستیک	F_{b0}/F_{c0}	پارامتر K_c	پارامتر ویسکوالاستیک
۳۰	۰/۱	۱/۱۶	۰/۶۷	۰/۰۰۱



(ب)



(الف)

شکل ۳: الف) نمودار تنش-کرنش بتن در فشار ب) نمودار تنش-کرنش بتن در کشش

یکی از مهم ترین بخش های مدل سازی در اتصالات اندرکنش و تماس بین اعضای مختلف و همچنین پیچ ها می باشد. در نرم افزار آباکوس دو امکان عمومی و سطح به سطح برای تعریف جفت های تماسی وجود دارد که از روش سطح به سطح استفاده شده است. در این تحقیق برای سطوح تماسی بین پیچ و سایر اعضای در تماس با آن، برای بخش کله پیچ ها که از یک سر با بال ستون و از سر دیگر با ورق انتهایی در تماس است رفتار عمودی و مماسی تعریف شده است. برای پارتیشن بندی بدنه پیچ، ضخامت ورق انتهایی و بال ستون در

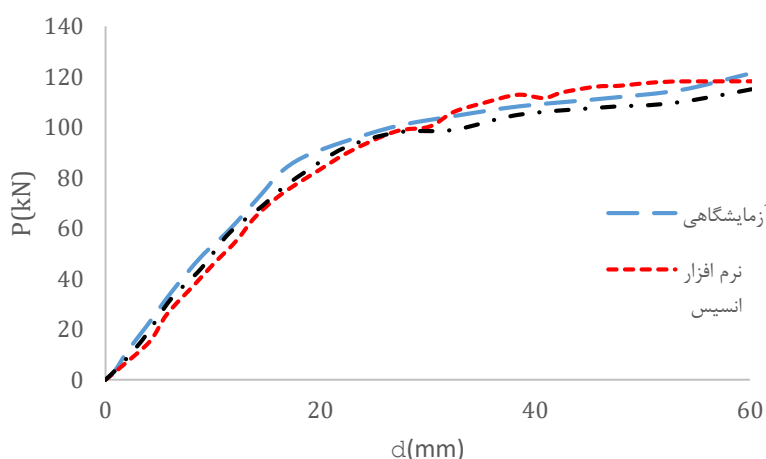
نظر گرفته شد که برای هر دو بخش، هر دو رفتار عمودی و مماسی اعمال شده است. نیروی اصطکاک، ناشی از لغزش بین سطوح است که بر اساس اصطکاک کولمب (مدل جهت توصیف رفتار اصطکاکی) در نرم افزار آباکوس با ضریب اصطکاک ۰/۳ تعریف شد. ورق انتهایی و جوش اتصال آن با ورق های داخل تیر بتنی بصورت یکپارچه به یکدیگر بسته شده اند. اتصال و شرایط تماسی بین بتن و فولاد هم با فرض قرارگیری برشگیرهای گلمیخ با ضریب اصطکاک ۰/۳ تعریف شده است. برای ورق انتهایی و بال ستون نیز رفتار عمودی و مماسی با ضریب اصطکاک ۰/۳ در نظر گرفته شد.

۲-۳- روش تحلیل

حلگر مورد استفاده در این مطالعه روش تحلیل صریح می باشد. این نوع تحلیل در نرم افزار آباکوس در اصل یک نوع تحلیل دینامیکی است که برای شبیه سازی با سرعت بالا ایجاد شده است [۲۲]. در این مسائل اینرسی نقش بسیار مهم و تعیین کننده ای در جواب های مسئله دارد. در این روش همزمان که نیروهای خارج از تعادل برای حالت تعادل دینامیکی حل می شوند نیروها به صورت موج تنش نیز میان المان های مجاور انتشار می یابد. بنابراین زمان حد پایداری نمودار زمانی معمولاً بسیار کوچک بوده و در بیشتر مسائل به تعداد زیادی نمونه زمانی احتیاج می باشد. از طرف دیگر استفاده از روش دینامیکی صریح برای حل مسائل با تماس پیچیده و شبه استاتیکی بسیار مناسب و کارآمد می باشد. انجام این تحلیل ها به روش دینامیکی صریح در زمان واقعی خود بسیار زمان بر می باشد برای به دست آوردن جواب در یک مدت زمان مناسب نیاز است که رخداد در مدت زمان کوتاه تری شبیه سازی گردد. ولی مشکلی که وجود دارد این است که افزایش سرعت رخدادها باعث می گردد که حالت تعادل استاتیکی مسئله به تعادل دینامیکی تبدیل شود که در آن نیروهای اینرسی اثر قابل توجهی دارند.

۲-۴- مقایسه نمودار نیرو-جابجایی در مدل صحت سنجی

مطابق شکل ۴ که مقایسه نمودار نیرو جابجایی مدل آزمایشگاهی و مدل سازی شده در نرم افزار آباکوس در آن نمایش داده شده و همچنین بر اساس جدول ۲ مشخص می شود که فرضیات و مدلسازی نمونه در نرم افزار آباکوس مطابقت قابل قبولی با نمونه های آزمایشگاهی [۹] و نرم افزار اجزای محدود انسیس [۱۶] را دارد و حداکثر تفاوت نتایج عددی مدلسازی در نرم افزار آباکوس با نتایج نمونه آزمایشگاهی برابر با ۴ درصد می باشد.



شکل ۴: مقایسه نمودار نیرو جابجایی در نرم افزار آباکوس این مطالعه و نتایج آزمایشگاهی و مدل سازی نرم افزار انسیس ال مصری و همکاران [۹][۱۶]

جدول ۲: مقایسه عددی نتایج صحت سنجی

پارامترها	نتایج آزمایشگاهی	نرم افزار انسیس	نرم افزار آباکوس
حداکثر نیرو (kN)	۱۲۱/۲۸	۱۱۸/۲۱	۱۱۹/۵۴
حداکثر تغییر شکل (mm)	۵۲/۸۱	۶۸/۷	۵۴/۸
کرنش	۰/۰۰۰۱۵۶	۰/۰۰۰۱۶۴	۰/۰۰۰۱۵۹

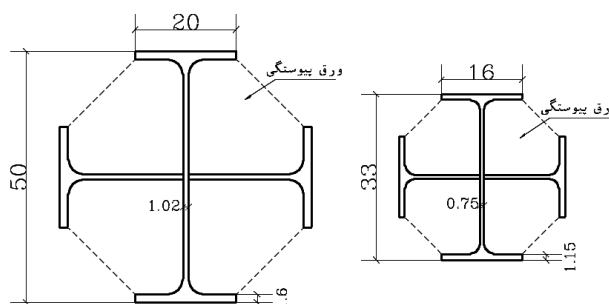
۳- مدلسازی نمونه اتصالات پیشنهادی

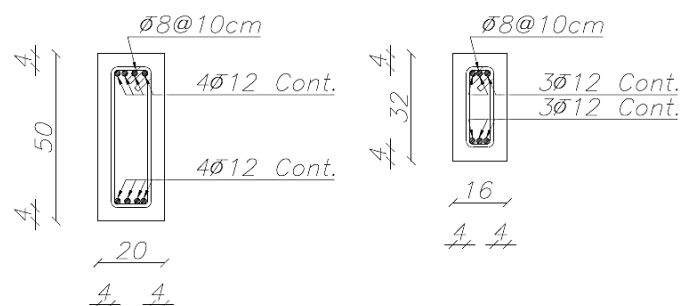
برای مطالعه موضوع مورد نظر در این تحقیق اتصال تیر بتنی مختلط به ستون فولادی در دو گروه ابعادی کلی و در هشت جزئیات مختلف در نرم افزار اجزا محدود آباکوس مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱- مشخصات مدل ها

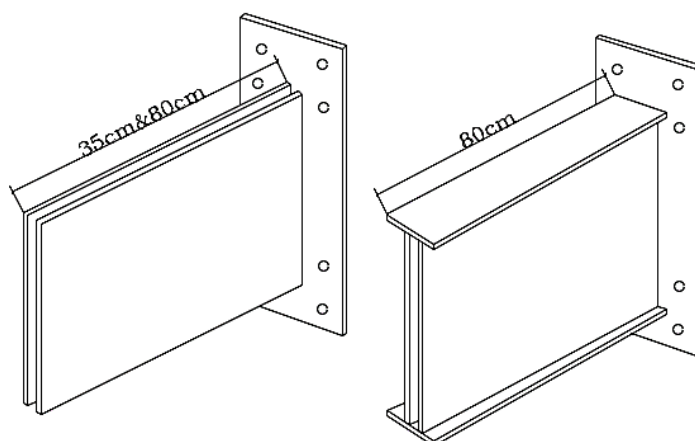
شکل ۵ جزئیات مقطع ستون ها و تیرهای بتنی و شکل ۶ جزئیات اجزای فولادی چشمه اتصال با دو حالت متفاوت ورق های فولادی را نشان می دهند. ستون ها از مقطع صلیبی ساخته شده از IPE500 و IPE330 می باشند که در دو حالت (یک حالت با تعبیه ورق پیوستگی و یک حالت بدون ورق پیوستگی در چشمه اتصال) در نظر گرفته شده اند. ضخامت ورق پیوستگی در ستون های دارای ورق پیوستگی ۸ میلی متر در نظر گرفته شده است که در راستای انتهای ورق انتهایی اتصال در بالا و پائین قرار گرفته است. مشخصات نمونه های مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است. مدل های ۱ تا ۷ در این جدول، دارای دو ورق جان بوده که بصورت دستک با ورق انتهایی به ستون فولادی متصل شده و طول بخش دستک فولادی تیر در دو گروه ۳۵ و ۸۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. مدل شماره ۸ در این جدول علاوه بر دو ورق جان دستک متصل به ورق انتهایی، دارای دو ورق بال بالا و پائین بوده و طول بخش دستک فولادی تیر ۸۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. شرایط تکیه گاه ها در دو انتهای ستون بصورت مفصلی می باشد و بارگذاری بصورت جابجایی به چهار گوشه تیر بتنی اعمال شده است. طول کلی تیر ۱/۲ متر و ستون ۲/۲ متر می باشد. با توجه به طول دستک ها برابر با ۳۵ و ۸۰ سانتی متر بوده، نسبت طول این دستک ها به طول تیر تقریباً بترتیب برابر با ۲۹ درصد و ۶۷ درصد می باشد. اجزای فولادی تیر در چشمه اتصال بصورت یکپارچه مدل شده و جوش اتصال مابین آن ها بصورت یکپارچه بهم بسته شده است. در این مدلسازی ها نیز از همان پارامترهای مورد استفاده برای بتن، آرماتور و فولاد که در مدل صحت سنجی در نظر گرفته شده اند، استفاده شده است.

به لحاظ تئوری هر چه المان های بیشتری در یک مدل استفاده شود، نتایج به مقادیر واقعی نزدیک تر خواهند بود. در این راستا ابعاد مش بندی مورد پالایش قرار گرفته و با مشاهده نتایج و اصلاح مجدد مش بندی، نتایج بهتری حاصل خواهد شد. این کار را می توان به دفعات انجام داد اما بعد از چند بار تکرار این عمل، بهبود و اصلاح در نتایج کاهش خواهد یافت و به این ترتیب همگرایی در مش بندی انجام خواهد شد. همچنین مش بندی در محل های تنش های متمرکز با ابعاد کوچکتری انجام پذیرفته است. مدل مش بندی شده ی اجزا نیز در شکل ۷ نمایش داده شده است.





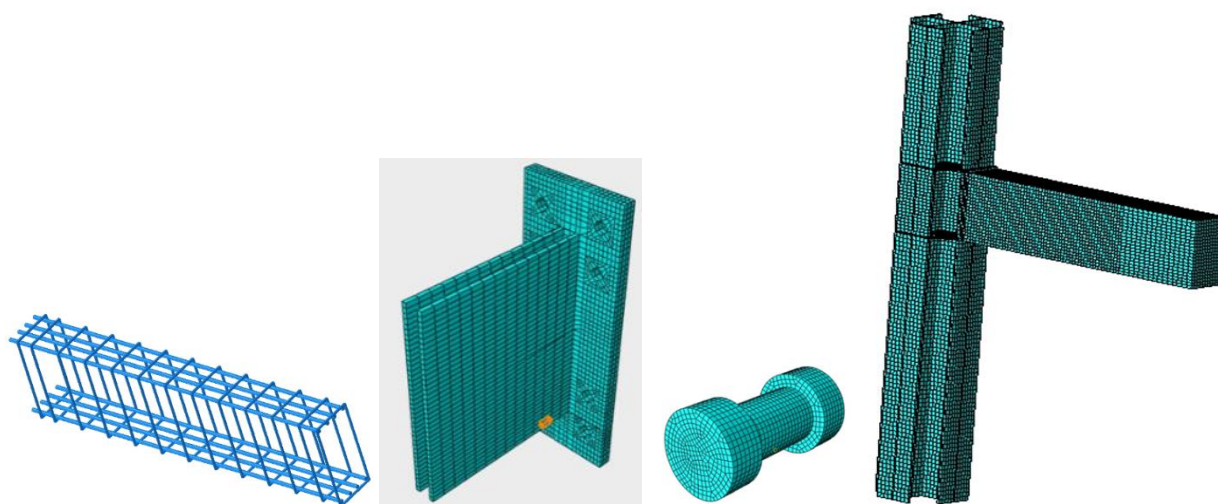
شکل ۵: جزئیات و ابعاد مقاطع ستون‌های صلیبی و مقطع تیر بتنی (ابعاد به سانتی‌متر می‌باشد)



شکل ۶: جزئیات اجزای فولادی چشمه اتصال

جدول ۳: مشخصات و ابعاد مدل‌های عددی

شماره مدل	نام گذاری مدل‌های عددی	مقطع صلیبی ستون از	ورق پیوستگی	ابعاد ورق انتهایی	ورق جان دستک (دوبل)	ورق بال دستک	ابعاد تیر بتنی (سانتی‌متر)	قطر پیچ (میلی متر)
۱	W33-16-35	IPE330	ندارد	16×32×2.5	21.5×35×1	ندارد	32×16×120	22
۲	W33-16-80	IPE330	ندارد	16×32×2.5	21.5×80×1	ندارد	32×16×120	22
۳	W33-16-80-P8	IPE330	دارد	16×32×2.5	21.5×80×1	ندارد	32×16×120	22
۴	W50-20-35	IPE500	ندارد	20×50×2.5	35×35×0.8	ندارد	50×20×120	22
۵	W50-20-80	IPE500	ندارد	20×50×2.5	35×80×0.8	ندارد	50×20×120	22
۶	W50-20-35-P8	IPE500	دارد	20×50×2.5	35×35×0.8	ندارد	50×20×120	22
۷	W50-20-80-P8	IPE500	دارد	20×50×2.5	35×80×0.8	ندارد	50×20×120	22
۸	W50-20-80-WPI	IPE500	دارد	20×50×2.5	35×80×0.8	دارد	50×20×120	22



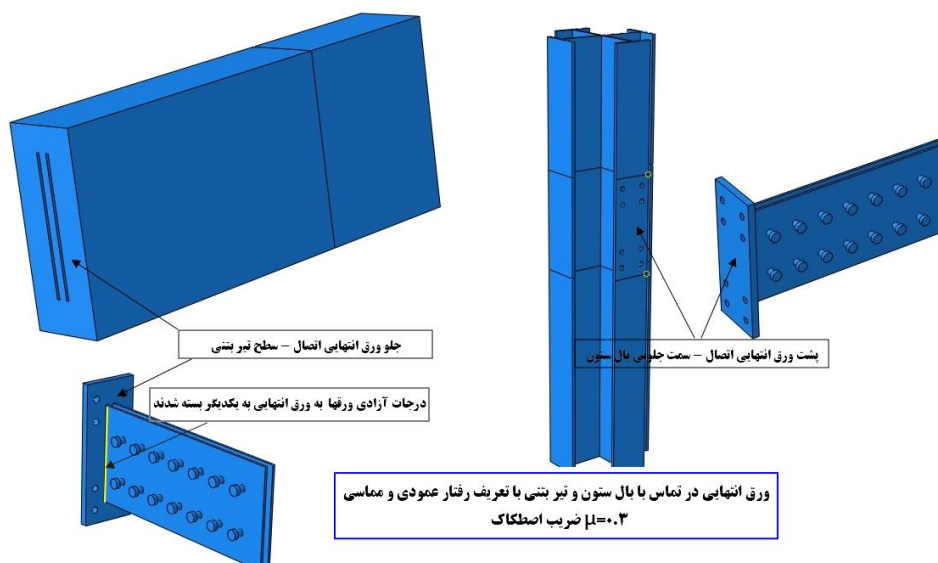
شکل ۷: نحوه مش بندی اعضا

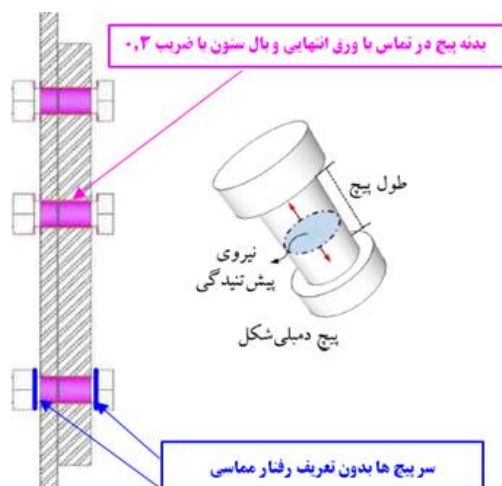
۳-۲- بارگذاری و شرایط مرزی

برای بارگذاری از اعمال تغییر مکان به انتهای تیر بتنی استفاده شده است. برای تعریف دامنه بارگذاری از حالت Smooth Amplitude استفاده شده است. از آنجا که در تحلیل شبه استاتیکی هدف انجام تحلیل در کمترین زمان ممکن است، یکی از راهکارهای این مساله در آباکوس ایجاد دامنه بارگذاری برای اعمال بار به صورت ملایم می باشد که در این حالت به صورت خودکار در اطراف هر نقطه وارده از طرف کاربر مشتق های اول و دوم منحنی را ملایم ایجاد کرده و در نقاط وارده مشتق های اول و دوم را برابر با صفر قرار خواهد داد. این مزیت این توانایی را ایجاد می کند که در تحلیل های شبه استاتیکی دقت مناسبی به وجود آید. درجات آزادی انتقالی ابتدا و انتهای ستون بسته شده ولی دوران ها آزاد می باشد. مقدار نیروی پیش تنیدگی پیچ ها به صورت پیش بار که در شرایط بارگذاری نرم افزار آباکوس امکان پذیر است و به صورت یک نیروی کششی در وسط بدنه پیچ وارد می گردد، به مقدار ۲۲۱ کیلو نیوتن (مقدار حداقل نیروی پیش تنیدگی برای پیچ M22 نوع A490) وارد شده است.

۳-۳- اندرکنش و شرایط تماسی بین اعضا

در شکل ۸ شرایط تماسی بین بخش های مختلف نشان داده شده است.

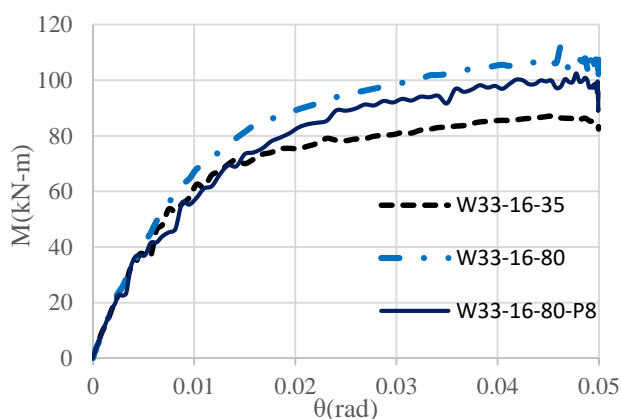




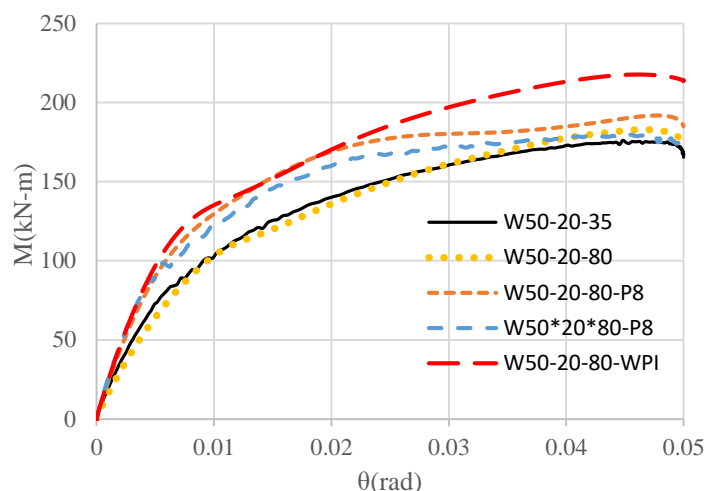
شکل ۸: شرایط تماسی بین بخش‌های مختلف

۴- بررسی مقاومت خمشی اتصالات

مقاومت خمشی اتصالات یکی از مهمترین پارامترهایی است که در بررسی عملکرد اتصالات تیر به ستون می‌بایست به آن توجه شود. بنابراین در این قسمت با رسم نمودارهای لنگر-انحنای تمامی اتصالات در کنار یکدیگر، به بررسی تأثیر جزئیات مختلف اتصالات در مقاومت آن‌ها پرداخته شده است. نمودارها با توجه به ابعاد تیر بتنی در دو شکل مجزای ۹ و ۱۰ ترسیم گردیده و سپس در جدول ۴ میزان نیرو در زوایای دریفت ۰٫۰۱ و ۰٫۰۴ رادیان مقایسه شده‌اند و همچنین حداکثر نیرو وارده بر اتصال نیز در این جدول نمایش داده شده است. در این جدول جهت مقایسه، نمودار میله‌ای مقادیر نیز در آن نمایش داده شده است.



شکل ۹: مقایسه نمودارهای لنگر-انحنای در مدل‌های شماره ۱ الی ۳



شکل ۱۰: مقایسه نمودارهای لنگر-انحنای مدل‌های شماره ۳ الی ۸

جدول ۴: مقدار نیرو در زوایای دررفت ۰٫۰۱ و ۰٫۰۴ رادیان در مدل‌های مختلف

شماره مدل	نام گذاری مدل های عددی	حداکثر نیرو (کیلو نیوتن)	دررفت ۰٫۰۱ (رادیان)	دررفت ۰٫۰۴ (رادیان)
۱	W33-16-35	۷۲٫۵۱	۵۲٫۰۶۹	۷۱٫۲۷۱
۲	W33-16-80	۹۳٫۶۱۴	۵۵٫۰۷۸۵	۸۷٫۹۶۵۹
۳	W33-16-80-P8	۸۵٫۳۹۸	۴۸٫۰۶۰۳	۸۰٫۷۷۲
۴	W50-20-35	۱۴۶٫۷۴۹	۸۷٫۶۰۸۵	۱۴۴٫۲۳۹
۵	W50-20-80	۱۵۲٫۴۲۱	۸۵٫۹۲۸۶	۱۴۸٫۰۷۹
۶	W50-20-35-P8	۱۴۹٫۶۵۴	۱۰۳٫۶۱۴	۱۴۸٫۴۰۴
۷	W50-20-80-P8	۱۵۹٫۸۹۷	۱۰۸٫۱۲۴	۱۵۴٫۱۷۷
۸	W50-20-80-WPI	۱۸۱٫۳۶۱	۱۱۲٫۶۰۸	۱۷۷٫۷۴۶

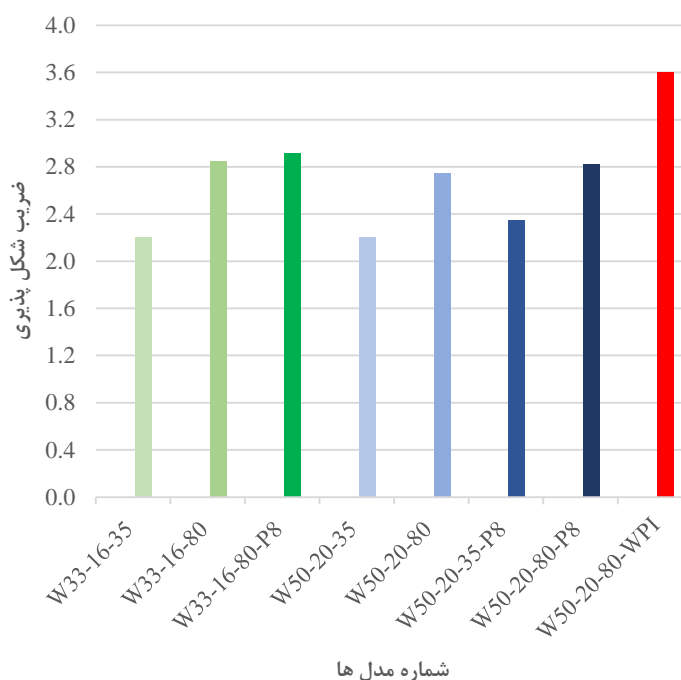
مشاهده می‌گردد که در مدل‌های شماره ۱ الی ۳ که دارای تیر بتنی به ابعاد ۳۲×۱۶ سانتی‌متر می‌باشند، با افزایش طول بخش فولادی دستک تیر (از ۲۹٪ طول تیر به ۶۷٪ طول تیر)، مقاومت خمشی اتصال اندکی افزایش یافته است که می‌تواند ناشی از تامین طول مهاری بیشتر و انتقال مناسب‌تر نیرو باشد. همچنین در مدل‌های شماره ۴ الی ۷ با تیر بتنی به ابعاد ۵۰×۲۰ سانتی‌متر با افزایش طول بخش دستک فولادی از ۲۹٪ به ۶۷٪ طول تیر و همچنین تقویت چشمه اتصال، مقاومت هم افزایش تقریبی ۹٪ داشته است. نکته مهم در مدل شماره ۸ دستک اتصال دارای بال بالا و پائین می‌باشد که سبب افزایش در بیشینه مقاومت (حدود ۱۳٪ نسبت به بیشترین مقاومت در سایر نمونه اتصالات) و نیروی جذب شده اتصال شده است که بدلیل افزایش در ممان اینرسی و اساس مقطع در مقطع عضو دستک اتصال می‌باشد. ورق پیوستگی در ستون صلیبی در مدل‌های شماره ۱ الی ۳ تاثیر چشمگیری نداشته ولی در مدل‌های ۴ الی ۷ در دررفت ۱٪ موجب افزایش ۲۰ درصدی و در دررفت ۴٪ موجب افزایش حدوداً ۴ درصدی مقاومت شده است. علت اصلی این موضوع جلوگیری از کمناش و لهیدگی بال ستون توسط ورق پیوستگی علی‌الخصوص در تیرها با ارتفاع بیشتر است.

۵- بررسی شکل‌پذیری اتصالات پیشنهادی

قابلیت یک سازه در داشتن تغییر مکان بالاتر از حد خطی در تغییر شکل‌های بزرگ به وسیله رفتار غیرخطی را شکل‌پذیری می‌گویند. نسبت شکل‌پذیری به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_y} \quad (1)$$

که در این رابطه Δ_m تغییر مکان متناظر با نیروی برشی ماکزیمم (بر روی منحنی دو خطی)، Δ_y تغییر مکان متناظر با نیروی برش تسلیم V_y می‌باشد. در این تحقیق برای محاسبه شکل پذیری نمودار نیرو جابجایی به روش دوخطی ساده سازی شده و اعداد مورد نیاز به بدست می‌آیند. با توجه به این که تمام نمونه‌ها تا زاویه ۵ درصد رادپان بارگذاری شده‌اند، دوران نهایی اتصال برابر ۵ درصد رادپان است. ضرایب شکل پذیری انواع مدل‌های اتصالات پیشنهادی در شکل ۱۱ بصورت میله‌ای مقایسه گردیده‌اند.

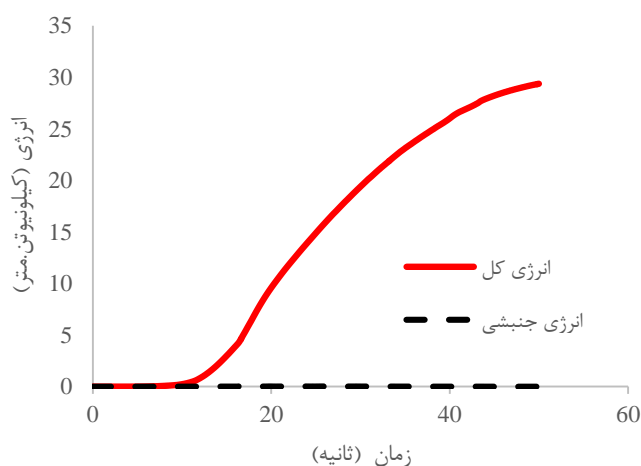


شکل ۱۱: مقایسه میله‌ای ضرایب شکل پذیری اتصالات پیشنهادی

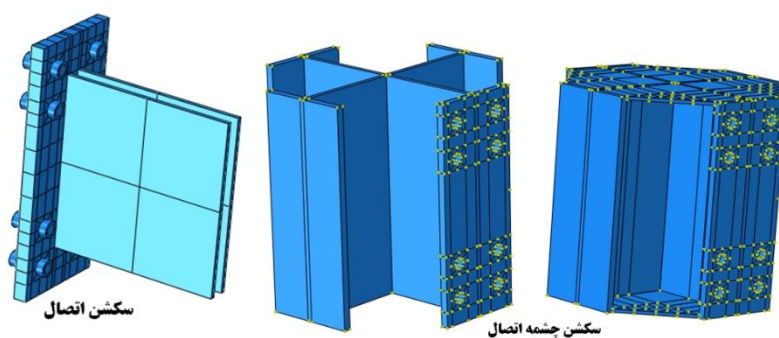
مطابق نتایج شکل‌پذیری، در مدل‌های شماره ۱ الی ۳ تغییر در طول مقطع دستک اتصال، شکل‌پذیری را تقریباً برابر با ۳۰٪ افزایش داده ولی تقویت چشمه اتصال تاثیر چندانی در شکل‌پذیری نداشته است. همچنین در مدل‌های شماره ۴ الی ۷ افزایش طول بخش فولادی تیر باعث افزایش تقریبی ۲۰٪ شکل‌پذیری شده است. در این ابعاد تقویت چشمه اتصال هم سبب افزایش ۵٪ در شکل‌پذیری شده است. نکته مهم افزایش تقریبی ۲۴٪ نسبت شکل‌پذیری در نمونه مدل شماره ۸ (دستک فولادی با بال بالا و پائین فولادی) نسبت به نمونه‌های با ابعاد و طول مشابه می‌باشد.

۶- مقایسه جذب انرژی اتصالات پیشنهادی

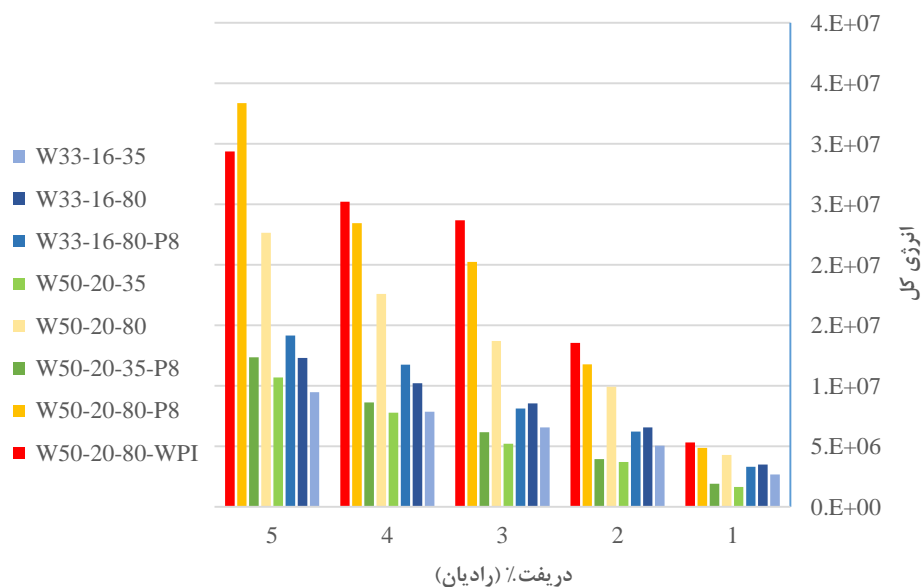
در شکل ۱۲ مقایسه بین انرژی کل و انرژی جنبشی برای مدل ۸ نمایش داده شده است که موید این موضوع می‌باشد که تحلیل بصورت شبه استاتیکی انجام شده است. برای بررسی دقیق‌تر رفتار اتصالات پیشنهادی، بررسی نمودارهای جذب انرژی اتصالات می‌تواند موثر باشد. در این راستا با بخش‌بندی قسمت اتصال و چشمه اتصال و همچنین کل سازه از قابلیت خود نرم افزار برای استخراج انرژی استفاده شده است. جزئیات تعریف مقطع برای استخراج نتایج در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. همچنین در اشکال ۱۴ تا ۱۶ به نسبت زاویه دریافت مقادیر جذب انرژی در جزئیات‌های مختلف اتصالات برای مقایسه با هم بصورت میله‌ای ترسیم شده است.



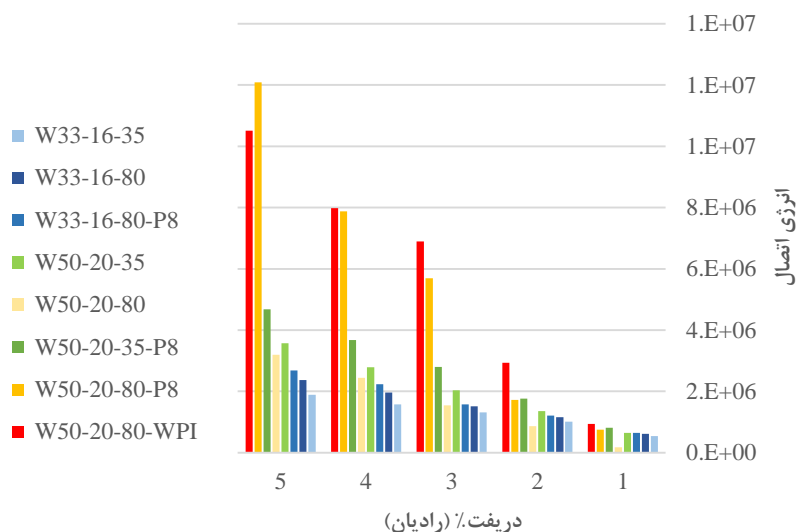
شکل ۱۲: مقایسه بین انرژی کل و انرژی جنبشی برای مدل شماره ۸



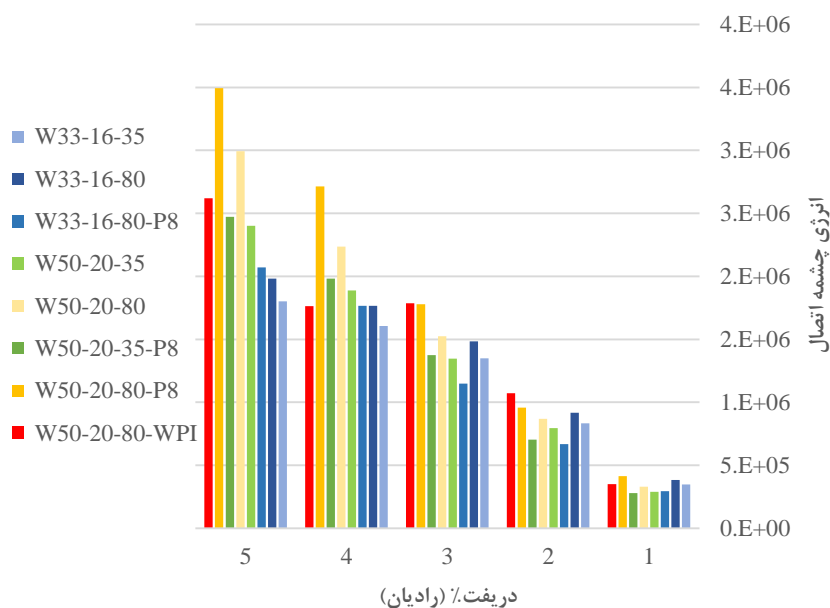
شکل ۱۳: تعریف مقطع برای رصد نتایج جذب انرژی



شکل ۱۴: نمودار استهلاک انرژی کل به دررفت اتصالات



شکل ۱۵: نمودار استهلاک انرژی محل اتصال به دریفت اتصالات



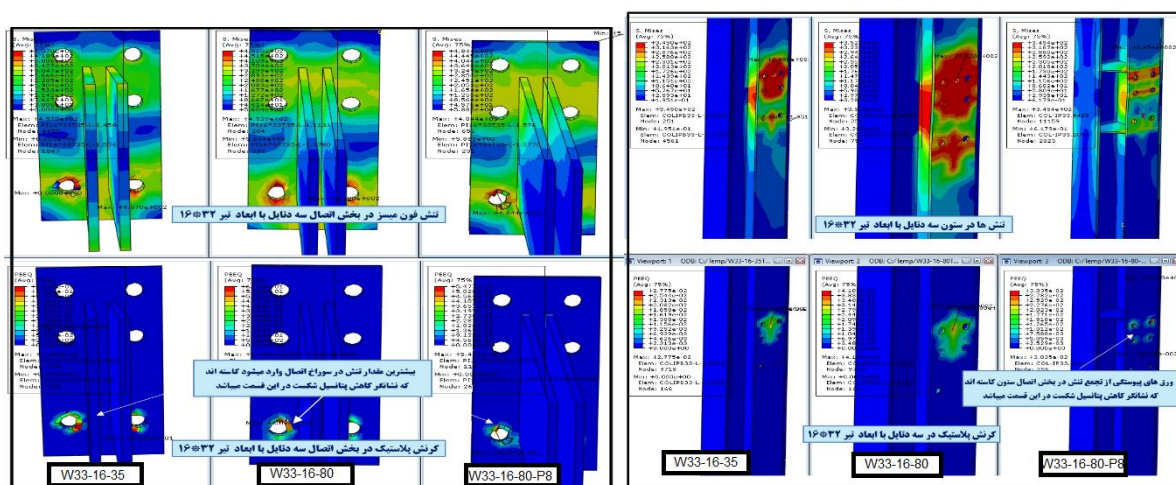
شکل ۱۶: نمودار میزان استهلاک انرژی چشمه اتصال به دریفت اتصالات

میزان جذب انرژی با افزایش مقدار زاویه دریفت افزایش می‌یابد، یعنی با افزایش مقدار دریفت نسبت مستقیم دارد. این مساله در تقویت چشمه اتصال نیز صادق است و ورق‌های پیوستگی باعث افزایش استهلاک انرژی شده است. البته در تیر و ستون با ابعاد کوچک‌تر، تقویت چشمه اتصال تاثیر چندانی در میزان استهلاک انرژی دریفت‌های پایین نداشته و بالعکس مقداری نیز باعث کاهش آن شده است ولی در دریفت‌های بالای ۴٪ افزایش ۲۰ تا ۳۰ درصدی در انرژی چشمه و اتصال سازه را باعث شده است. با افزایش دریفت میزان انرژی جذب شده بخش اتصال هم افزایش می‌یابد و تقویت چشمه اتصال سبب افزایش جذب انرژی در بخش اتصال می‌گردد. میزان جذب انرژی بخش چشمه اتصال هم همانند بخش اتصال با افزایش دریفت افزایش می‌یابد ولی در تیر بتنی با عمق بیشتر و بخش فولادی کوتاه‌تر

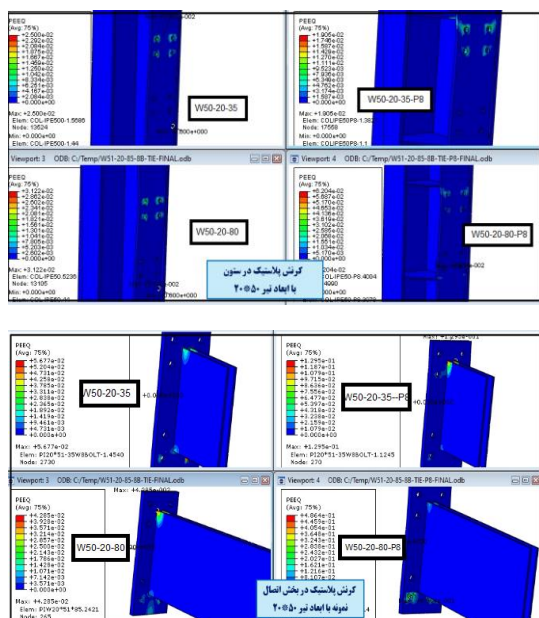
معکوس بوده و جذب انرژی چشمه اتصال با جاگذاری ورق پیوستگی چندان تغییری نکرده است. در جزئیات اتصال مدل شماره ۸ که دستک اتصال دارای بال بالا و پائین است، استهلاک انرژی در دررفت‌های پایین نسبت به موارد بدون بال بیشتر بوده و با افزایش دررفت استهلاک انرژی به نسبت کاهش می‌یابد.

۷- بررسی موضعی تنش‌ها و کرنش پلاستیک موثر

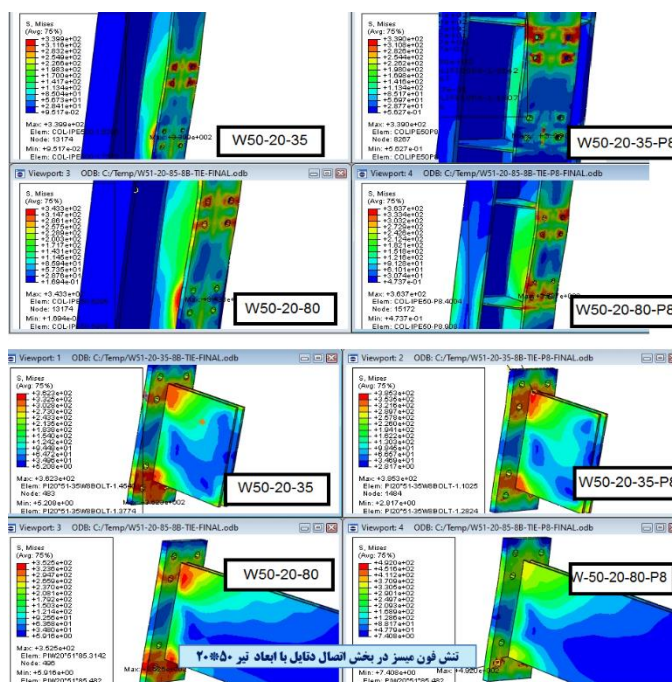
در اشکال ۱۷ الی ۱۹ کانتور تنش فون میسز و کرنش موثر پلاستیک در بخش اتصال ستون‌ها و ورق انتهایی و بخش فلزی تیر مختلط در سه دسته بندی با توجه به ابعاد تیر بتنی و دتایل بخش فلزی تیر مختلط ارائه شده است. شایان ذکر است که کرنش معادل پلاستیک که از نسبت کرنش موثر پلاستیک بر کرنش حد تسلیم بدست می‌آید، در بین محققین برای بررسی بخش‌های مستعد شکست و آسیب و محاسبه شاخص گسیختگی^۱ رایج می‌باشد.



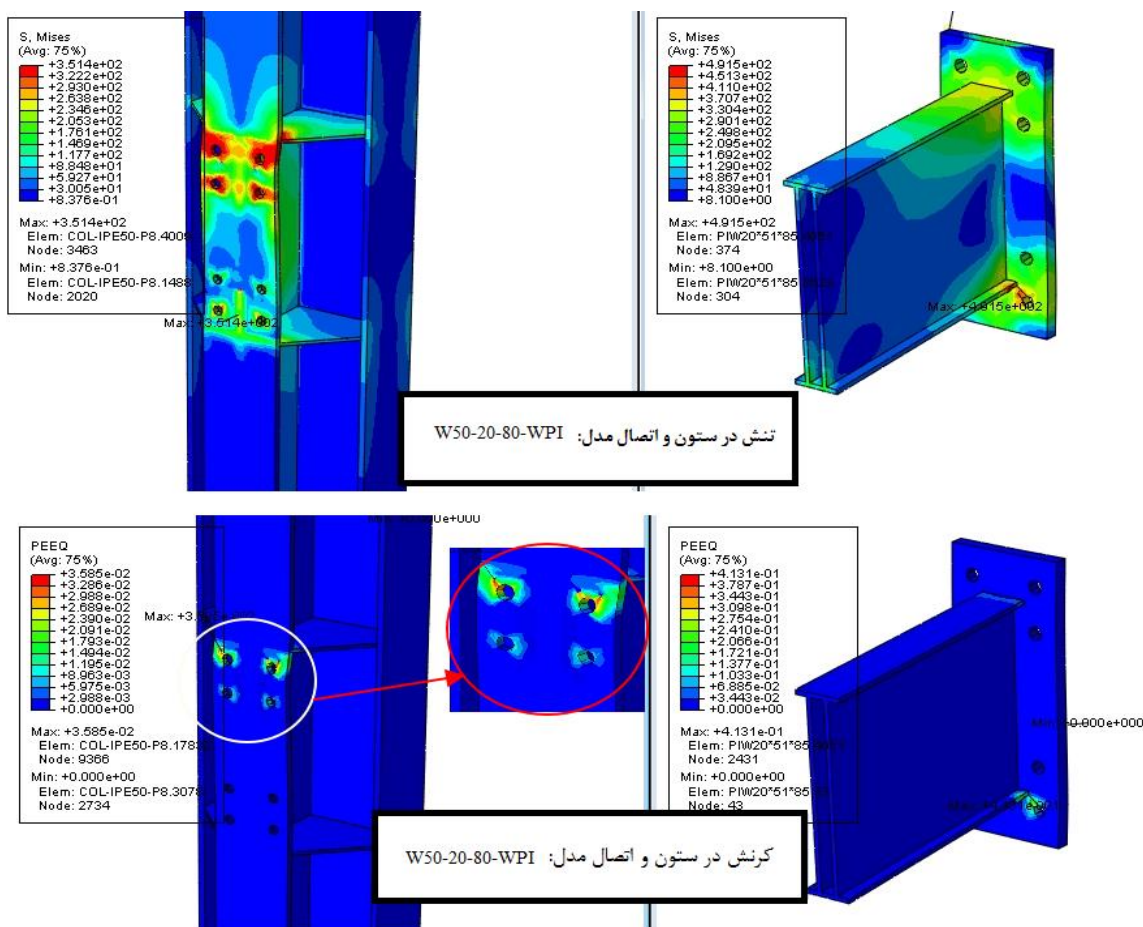
شکل ۱۷: تنش فون میسز و کرنش پلاستیک موثر در مدل‌های اتصالات شماره ۱ الی ۳



^۱ Rupture Index



شکل ۱۸: تنش فون میسز و کرنش پلاستیک موثر در مدل های اتصالات شماره ۴ الی ۷



شکل ۱۹: تنش فون میسز و کرنش پلاستیک موثر در مدل اتصال شماره ۸ (W50-20-80-WPI)

با توجه به اشکال کانتور تنش‌ها مشاهده می‌شود که با قرارگیری ورق پیوستگی از تمرکز تنش‌ها در بخش اتصال و چشمه کاسته شده و توزیع تنش در بخش‌های بیشتری از بال و جان ستون بخصوص در بال و جان های راستای دیگر ستون صلیبی سبب افزایش مقاومت اتصال شده است. این مسئله در ورق انتهایی و بخش فلزی تیر نیز قابل مشاهده است. علت اصلی این موضوع جلوگیری از کمانش و لهیدگی بال ستون توسط ورق پیوستگی می‌باشد.

۸- نتیجه گیری

جزئیات مختلفی جهت اتصال تیرهای بتنی به ستون فولادی وجود دارد. در تحقیق حاضر سعی شده است با پیشنهاد اتصال نوآورانه هیبریدی تیر بتنی مسلح به ستون فولادی، ظرفیت و مقاومت اتصال افزایش یافته و امکان استفاده از این جزئیات در مقاطع سنگین‌تر فراهم گردد. اتصال ابداعی در دو حالت پیشنهاد شده است: ۱- قرار دادن دو جان برشی فولادی همراه با برشگیر در داخل تیر بتنی و اتصال آن با ورق انتهایی به ستون فولادی ۲- قرار دادن دو جان برشی فولادی با ورق بال بالایی و پائینی همراه با برشگیر در داخل تیر بتنی و اتصال آن با ورق انتهایی به ستون فولادی. در این راستا پس از مدل‌سازی و صحت‌سنجی نمونه اولیه، ظرفیت و رفتار اتصالات پیشنهادی در نرم‌افزار المان محدود آباکوس بررسی شده است که نتایج حاصله به شرح زیر است:

۱. مشاهده گردید که استفاده از ورق پیوستگی باعث توزیع بهتر تنش و افزایش کرنش پلاستیک معادل گردیده است. این موضوع در تیر با ارتفاع بزرگتر، مشهودتر می‌باشد.
۲. با توجه به اشکال کانتور تنش‌ها مشاهده گردید که با قرارگیری ورق پیوستگی از تمرکز تنش‌ها در بخش اتصال و چشمه کاسته می‌شود. علت اصلی این موضوع جلوگیری از کمانش و لهیدگی بال ستون توسط ورق پیوستگی می‌باشد.
۳. مشاهده می‌گردد که در مدل‌های شماره ۱ الی ۳ با افزایش طول بخش فولادی دستک تیر از ۲۹٪ به ۶۷٪ طول تیر، مقاومت خمشی اندکی افزایش یافته است. همچنین در مدل‌های شماره ۴ الی ۷ با افزایش طول بخش دستک فولادی از ۲۹٪ به ۶۷٪ طول تیر و همچنین تقویت چشمه اتصال، مقاومت خمشی هم افزایش تقریبی ۹٪ داشته است. نکته مهم در مدل شماره ۸ دستک اتصال دارای بال بالا و پائین می‌باشد که بشدت سبب افزایش در مقاومت و نیروی جذب شده اتصال شده است که بدلیل افزایش در ممان اینرسی و اساس مقطع در مقطع عضو دستک اتصال می‌باشد. ورق پیوستگی در ستون صلیبی در مدل‌های ۱ الی ۳ تاثیر چشمگیری نداشته ولی در مدل‌های شماره ۴ الی ۷ در دریافت ۱٪ موجب افزایش ۲۰ درصدی و در دریافت ۴٪ موجب افزایش حدوداً ۴ درصدی مقاومت خمشی شده است.
۴. در جزئیات اتصالی که دستک اتصال دارای بال بالا و پائین است، استهلاک انرژی در دریافت‌های پایین نسبت به موارد بدون بال بیشتر بوده و با افزایش دریافت، استهلاک انرژی این اتصال به نسبت کاهش می‌یابد.
۵. در تیر و ستون با ابعاد کوچک‌تر، تقویت چشمه اتصال تاثیر چندانی در میزان استهلاک انرژی دریافت‌های پایین نداشته و بالعکس مقداری نیز باعث کاهش آن شده است ولی در دریافت‌های بالای ۴٪ افزایش ۲۰ تا ۳۰ درصدی در انرژی چشمه و اتصال سازه را باعث شده است و در نتیجه با افزایش دریافت میزان انرژی جذب شده بخش اتصال هم افزایش می‌یابد و تقویت چشمه اتصال سبب افزایش جذب انرژی در بخش اتصال می‌گردد که تاثیر ورق‌های پیوستگی در این موضوع مشهود است.
۶. جذب انرژی در اتصالات با طول دستک فولادی اتصال بیشتر و دارای ورق پیوستگی در دریافت‌های بالاتر افزایش چشمگیری می‌یابد.
۷. مطابق نتایج شکل‌پذیری، در تیر با ابعاد کوچک‌تر، افزایش طول دستک فولادی از ۲۹٪ به ۶۷٪ طول تیر، شکل‌پذیری را برابر با ۳۰٪ افزایش داده ولی تقویت چشمه اتصال تاثیر چندانی در شکل‌پذیری نداشته است. در مدل‌های شماره ۳

الی ۷ با مقطع بزرگتر تیر، افزایش طول بخش فولادی تیر باعث افزایش تقریبی ۲۰٪ شکل پذیری شده است. در این مدل‌ها تقویت چشمه اتصال هم سبب افزایش ۵٪ در شکل پذیری شده است. نکته مهم افزایش تقریبی ۲۴٪ نسبت شکل پذیری در نمونه مدل شماره ۸ با بال بالا و پائین فولادی نسبت به نمونه‌های با ابعاد و طول مشابه می‌باشد که ناشی از افزایش اساس مقطع و مقاومت خمشی دستک اتصال است.

بررسی عملکرد اتصالات پیشنهادی در این تحقیق، تحت بارگذاری چرخه‌ای و انجام مطالعات آزمایشگاهی برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

مراجع

- [1] Pachideh, G. Kafi, M. and Gholhaki, M. (2020). Evaluation of cyclic performance of a novel bracing system equipped with a circular energy dissipater. *Structures*, 28, 467–481. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.007>
- [2] Pachideh, G. Gholhaki, M. and Saedi Daryan, A. (2019). Analyzing the damage index of steel plate shear walls using pushover analysis. *Structures*, 20, 437–451. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.05.005>
- [3] Pachideh, G. Gholhaki, M. and Kafi, M. and (2020). Experimental and numerical evaluation of an innovative diamond-scheme bracing system equipped with a yielding damper. *Steel and Composite Structures*, 36(2), 197-211. <https://doi.org/10.12989/scs.2020.36.2.197>
- [4] Chou, C.-C. and Uang, C.-M. (2002). Cyclic performance of a type of steel beam to steel-encased reinforced concrete column moment connection. *Journal of Constructional Steel Research*, 58(5–8), 637–663. [https://doi.org/10.1016/s0143-974x\(01\)00089-x](https://doi.org/10.1016/s0143-974x(01)00089-x)
- [5] Cheng, C.-T. and Chen, C.-C. (2005). Seismic behavior of steel beam and reinforced concrete column connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 61(5), 587–606. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2004.09.003>
- [6] Ju, Y. K. Kim, J.-Y. and Kim, S.-D. (2007). Experimental Evaluation of New Concrete Encased Steel Composite Beam to Steel Column Joint. *Journal of Structural Engineering*, 133(4), 519–529. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2007\)133:4\(519\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2007)133:4(519))
- [7] Eder, M. A. Vollum, R. L. and Elghazouli, A. Y. (2011). Inelastic behaviour of tubular column-to-flat slab connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(7), 1164–1173. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.02.009>
- [8] Bompa, D. V. and Elghazouli, A. Y. (2015). Ultimate shear behaviour of hybrid reinforced concrete beam-to-steel column assemblages. *Engineering Structures*, 101, 318–336. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.07.033>
- [9] El-Masry, A.H. Dabaon, M.A. El-Shafiey, T.F. and El-Hakim A. K. (2015). Investigation on an innovative way to connect RC beam and steel column. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 9(4), 362-368.
- [10] Zhang, J. Hu, X. Gong, S. Wu, J. Zhu, W. and Ren, C. (2021). Experimental investigation of steel-concrete composite beam to reinforced-concrete column joints with single plate shear connection. *Engineering Structures*, 245, 112906. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112906>
- [11] Song, Y. Wang, J. Uy, B. and Li, D. (2021). Behaviour and design of stainless steel-concrete composite beam-to-column joints. *Journal of Constructional Steel Research*, 184, 106800. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106800>
- [12] Wang, H. Huo, J. Liu, Y. Elchalakani, M. and Zhu, Z. (2021). Dynamic performance of composite beam-column connections subjected to impact loadings. *Journal of Constructional Steel Research*, 178, 106498. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106498>
- [13] Lacki, P. Derlatka, A. Kasza, P. and Gao, S. (2021). Numerical study of steel–concrete composite beam with composite dowels connectors. *Computers and Structures*, 255, 106618. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2021.106618>
- [14] Yang, I.-S. Lee, D. Ju, H. Lee, S.-J. and Oh, J.-Y. (2022). Steel-concrete composite beam-column connections utilizing prefabricated permanent steel form. *Journal of Building Engineering*, 46, 103836. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103836>
- [15] Zhang, J. Pei, Z. and Rong, X. (2022). Experimental seismic study of an innovative precast steel–concrete composite beam–column joint. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 161, 107420. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107420>
- [16] H.ElMasry A, Dabaon M, Elshafiey T, Khalil A-H. (2016). Numerical modeling of innovative connection between RC beam and steel column. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 5(4),78–82.
- [17] Bahaari, M. R. and Sherbourne, A. N. (2000). Behavior of eight-bolt large capacity endplate connections. *Computers and Structures*, 77(3), 315–325. [https://doi.org/10.1016/s0045-7949\(99\)00218-7](https://doi.org/10.1016/s0045-7949(99)00218-7)

- [18] Wang, Y. Wang, Z. Pan, J. and Wang, P. (2020). Seismic Behavior of a Novel Blind Bolted Flush End-Plate Connection to Strengthened Concrete-Filled Steel Tube Columns. *Applied Sciences*, 10(7), 2517. <https://doi.org/10.3390/app10072517>
- [19] Lin, T. Wang, Z. Hu, F. and Wang, P. (2022). Finite-Element Analysis of High-Strength Steel Extended End-Plate Connections under Cyclic Loading. *Materials*, 15(8), 2912. <https://doi.org/10.3390/ma15082912>
- [20] Cao, X. Wu, L. and Li, Z. (2020). Behaviour of steel-reinforced concrete columns under combined torsion based on ABAQUS FEA. *Engineering Structures*, 209, 109980. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109980>
- [21] Qingfu, L. Wei, G. and Yihang, K. (2020). Parameter calculation and verification of concrete plastic damage model of ABAQUS. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 794(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/794/1/012036>
- [22] Tran, V.-L. (2022). Investigating the behavior of steel flush endplate connections at elevated temperatures using FEM and ANN. *International Journal of Steel Structures*, 22(5), 1433–1451. <https://doi.org/10.1007/s13296-022-00650-x>