

بررسی پارامتری رفتار چرخه‌ای اتصال خمشی نوین T شکل تیر فولادی به ستون فولادی پر شده با بتن (CFT)

حمید محمدی گریفی^۱، امید رضائی فر^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان

۲- دانشیار، مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان

* سمنان، صندوق پستی ۳۵۱۳۱-۱۹۱۱۱، Orezayfar@semnan.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳)

چکیده

یکی از انواع اتصالات تیر به ستون فولادی اتصال به وسیله المان‌های T شکل می‌باشد. سهولت در فرآیند ساخت، حمل و برپایی در عین شکل‌پذیری مناسب، اقتصادی و مقاوم بودن از مزایای این نوع اتصال می‌باشد. در ستون‌های قوطی‌شکل، پیچ‌کاری بال سپری به بال ستون به دلیل محدودیت دسترسی به عنوان یک چالش مطرح می‌باشد. در این تحقیق ضمن استفاده از بولت‌های میان‌گذر به عنوان عامل برقراری اتصال میان بال سپری و بال ستون، موجبات انتقال نیروها و صلبیت چشمه اتصال فراهم گردیده است. این موضوع به‌ویژه در ستون‌های فولادی پر شده با بتن که موضوع عبور بتن از ناحیه چشمه اتصال مطرح است، کارآمد می‌باشد. از سوی دیگر انتقال مستقیم تنش‌ها به بدنه ستون، موضوع ازدیاد طول بولت‌های میان‌گذر تحت بارهای چرخه‌ای که موجب کاهش سطح عملکرد آن‌ها می‌شود و همچنین تراکم بالای محصول قطر زیاد و چهار طرفه بودن اتصال که موجب اختلال در عبور بتن از ناحیه چشمه اتصال می‌شود، به عنوان موضوعات بحث‌برانگیز مطرح می‌باشد. بدین جهت به منظور ارائه راهکار مناسب، در اقدامی نوآورانه از دیافراگم خارجی ستون به همراه بولت‌های میان‌گذر استفاده گردید و عملکرد مشترک و توأمان آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش با استفاده از نرم افزار ABAQUS، یک نمونه اتصال با بولت میان‌گذر و دیگری به همراه دیافراگم خارجی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد عملکرد کلی هر دو اتصال کاملاً مطلوب است.

واژگان کلیدی

اتصال خمشی تیر به ستون، ستون مرکب CFT، اتصال T شکل، بولت میان‌گذر، دیافراگم خارجی

Parametric analysis of the cyclic behavior of a new T-shaped bending connection of steel beam to steel column filled with concrete (CFT) column

H.M. Garfamy, O. Rezaifar

Abstract

T-shaped joints are one type of beam-column connections in steel structures. Ease of manufacturing, transportation, and assembling, as well as suitable ductility, economy, and durability, are the advantages of this type of connection. However, bolting of the T-shaped flange to tubular columns is very challenging due to limited access. In this research, by using through bolts for connecting the T-shaped flanges and the column, the transfer of forces and the rigidity of the panel zone have been provided. This is especially effective in concrete filled tubular (CFT) columns where the passage of concrete through the panel zone is important. On the other hand, the direct transfer of stresses to the column, the stretch of through bolts under cyclic loads, which reduces their performance level, as well as accumulation of bolts, which is caused by large diameter, and four-way connection that interferes with the passage of concrete through the panel zone are controversial. Therefore, to provide a suitable solution, in an innovative action, the external diaphragm of the column with through bolts was used simultaneously and the performance of the connection was examined. In this study, using ABAQUS software, one connection sample with a through bolt and another with an external diaphragm were investigated. The results show that the overall performance of both kinds of connection is quite good.

Keywords

Beam-to-column bending connection, CFT composite column, T-shaped connection, Through bolt, External diaphragm

سیستم مرکب بتنی فولادی، امروزه در ستون‌ها، تیرها و دال‌های با دهانه‌های متوسط و بزرگ در ساختمان‌ها و همچنین در پایه و تیرهای پل‌ها استفاده می‌شوند. ستون‌های مرکب علاوه بر مزایای سازه‌ای دارای مزایای اجرایی مانند سرعت ساخت بالا نیز می‌باشند.

ستون‌های مرکب پر شده با بتن از ترکیب دو مصالح متداول سازه‌ای بتن و فولاد تشکیل شده و از مزیت‌های هر دوی آن‌ها بهره می‌گیرند. نتیجه این همکاری مشترک بین بتن و فولاد تشکیل یک عضو سازه‌ای با ویژگی‌های عالی مانند ظرفیت باربری بالا در فشار، خمش، برش و پیچش می‌باشد. ستون‌های مرکب پر شده با بتن دارای ظرفیت جذب انرژی بالا و شکل‌پذیری مناسب بوده و برای استفاده در مناطق لرزه‌خیز یک گزینه بسیار مناسب تلقی می‌شوند.

این ستون‌ها به علت وجود جداره پیوسته فولادی نیازی به قالب‌بندی نداشته و از نظر اجرایی سرعت ساخت بالایی دارند و این در شرایطی است که طرح توجیه اقتصادی نیز خواهد داشت. چندین سال است ساخت‌وساز با اعضای مرکب در آسمان‌خراش‌های آمریکا و ژاپن رواج یافته است، لیکن در ایران به‌تازگی در حال رشد بوده و اخیراً مورد اجرا قرار گرفته است [۱].

مزیت بزرگ ستون‌های مرکب پر شده با بتن سختی بالایی آن‌ها می‌باشد. بنابراین یکی از بهترین سیستم‌های باربر جانبی برای آن‌ها، سیستم قاب خمشی می‌باشد.

یکی از انواع اتصالات تیر به ستون فولادی اتصال به‌وسیله المان‌های T شکل می‌باشد. سهولت در فرآیند ساخت، حمل و نصب در عین شکل‌پذیری مناسب، اقتصادی و مقاوم بودن از مزایای این نوع اتصال می‌باشد. در ستون‌های قوطی‌شکل پیچ‌کاری بال سبیری به بال ستون به دلیل محدودیت دسترسی به‌عنوان یک چالش مطرح می‌باشد. در این تحقیق به‌صورت نوآورانه از بولت‌های میان‌گذر به‌منظور اتصال بال سبیری به بال ستون استفاده شده است.

از سوی دیگر تغییر طول نسبی بولت‌های میان‌گذر تحت بارهای چرخه‌ای که موجب کاهش سطح عملکرد آن‌ها می‌شود و همچنین تراکم بالای محصول قطر بالا و چهار طرفه بودن اتصال به‌ویژه در دهانه‌های بلند که موجب اخلاص در عبور بتن از ناحیه چشمه اتصال می‌شود به‌عنوان موضوعات بحث‌برانگیز مطرح می‌باشد. به‌منظور ارائه راهکار مناسب در دومین اقدام نوآورانه در این پژوهش، از دیافراگم خارجی ستون به همراه

بولت‌های میان‌گذر استفاده گردید و عملکرد مشترک و توان آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از روش تحلیل اجزاء محدود برای بررسی رفتار نمونه‌های اتصال استفاده شده است.

با وجود تمام فوایدی که برای ستون‌های پر شده با بتن و اتصال تیر به آن‌ها توسط قطعات T شکل عنوان شد، کاربرد این ستون‌ها و اتصالات تیر به آن‌ها با پاره‌ای محدودیت همراه است که در این زمینه می‌توان به ابهام و پیچیدگی اتصالات به‌کاررفته در این‌گونه ستون‌ها و کمبود تجربه در طراحی و ساخت آن‌ها در کشور اشاره کرد. از سوی دیگر اتصالات و مفاصل به‌طور بالقوه، حساس‌ترین و کمتر شناخته‌شده‌ترین قسمت در قاب‌های ساختمانی هستند که رفتار آن‌ها مستقیماً در رفتار کل سازه تأثیرگذار است. نقش اصلی اتصالات انتقال نیروهای بین اعضا و حفظ یکپارچگی سازه تحت بار است. معمولاً چند عنصر سازه‌ای در یک اتصال به هم می‌رسند. بخشی از یک اتصال ممکن است تحت تنش‌های فراتر از محدوده الاستیک قرار گیرد و حتی ممکن است باز توزیع نیروها در سطح بار سرویس رخ دهد. در این موارد برای حفظ عملکرد رضایت‌بخش اتصال، وجود انعطاف و شکل‌پذیری در محل اتصال الزامی است. بسیاری از شکست‌های سازه‌ای، نه به دلیل ضعف در تحلیل و یا طراحی اعضای سازه، بلکه به دلیل عدم توجه به رفتار اتصال و طراحی یا اجرای صحیح آن رخ می‌دهد.

ستون با مقطع توخالی پر شده با بتن عمدتاً یک گزینه مطلوب برای طراحی لرزه‌ای ستون‌های معمولی است، زیرا مقاومت افزایش‌یافته ستون ناشی از محصورشدگی بتن، تأخیر در کماتش موضعی به دلیل قید پیوسته مقطع فولادی و شکل‌پذیری بهبودیافته ستون در بارگذاری رفت و برگشتی قابل انتظار است. به همین دلیل برای استفاده از مزایای سازه‌ای این ستون‌ها، اتصالات صلب با مقاومت کامل مورد نیاز می‌باشد. در برخی موارد که اتصالات ساده تیر به ستون مختلط در طرح ارائه شده باشد، اصول محاسباتی و مدهای شکست تفاوت عمده‌ای با ستون‌های توخالی ندارد، اما اتصالات صلب با مشکلاتی مواجه می‌باشند. در اتصالات صلب به علت وجود بتن درون مقطع ستون، نمی‌توان مانند سازه‌های صرفاً فولادی، ورق پیوستگی را علیرغم همه مسائلی که در خصوص جوش بعد چهارم آن وجود دارد اجرا کرد و این موضوع باعث ضعف در محل چشمه اتصال می‌شود [۲].

از طرفی ناحیه اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی، مهم‌ترین بخش سازه را تشکیل می‌دهد که رفتار آن مستقیماً در



رفتار کل سازه تأثیرگذار است. یک اتصال صلب باید بتواند لنگر مورد انتظار در بر اتصال را از تیر به ستون منتقل کند و علاوه بر تأمین صلبیت لازم، ظرفیت تحمل دوران ناشی از جابجایی نسبی طبقات را در محدوده غیرالاستیک داشته باشد [۳].

از نتایج تحقیقاتی که Alostaz و Schneider انجام دادند مشخص گردید در مناطق با لرزه‌خیزی بالا از اتصال تیر به جداره ستون بدون سخت‌کننده و با جوش باید پرهیز شود؛ زیرا اعوجاج شدید جداره ستون می‌تواند مانع استفاده از ظرفیت خمش پلاستیک تیر شود و همچنین باعث ایجاد تنش‌ها و کرنش‌های بسیار بزرگ بر روی جوش‌ها و بال ستون می‌شود؛ بنابراین نیاز به جزئیات مناسبی در اتصال تیر فولادی به ستون مرکب پر شده با بتن می‌باشد که اعوجاج و کرنش‌های بزرگ در بال ستون را به حداقل برساند [۴].

جزئیات مختلفی برای اتصال صلب تیر به ستون مرکب پر شده با بتن معرفی شده است؛ اما اکثر آن‌ها هنوز به صورت تئوری بوده و تا رسیدن به حالت عملی و اجرایی فاصله زیادی دارند. برای مثال کین و همکارانش مطالعاتی آزمایشگاهی روی ۴ مدل با مقیاس واقعی با دیافراگم میانی انجام دادند. متغیرهای آزمایشات آن‌ها شامل هندسه دیافراگم، مکان سوراخ دسترسی جوشکاری و نحوه اتصال تیر به ستون می‌باشد. با توجه به نتایج تحقیقات کین و همکارانش، اتصال با دیافراگم عبوری شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی قابل‌قبولی تحت بار لرزه‌ای از خود نشان می‌دهد [۵].

راه‌حل دیگر برای تأمین سختی موردنیاز در اتصالات قاب‌های خمشی، استفاده از تمام یا بخشی از مقطع تیر متصل به ستون است. با استفاده از برش مقطع ستون به اندازه مقطع تیر و جوشکاری اطراف آن به پوسته ستون می‌توان این کار را انجام داد. عزیزی نمینی و اشنایدر [۶] در طی برنامه‌ای تحقیقاتی بر روی انواع راه‌کارهای دیافراگم‌های ستون از جمله عبور تیر از ستون کار کردند. تحقیقات آن‌ها شامل ساخت و آزمایش نمونه‌هایی با ابعاد واقعی برای بررسی رفتار و پاسخ غیرالاستیک نمونه‌ها می‌شد. در این تحقیقات مشخص شد اتصال مستقیم تیر به بدنه ستون باعث ایجاد اعوجاج شدید در دیواره ستون می‌شود. دیافراگم خارجی و عبور جان تیر از ستون، رفتار غیرالاستیک بهتری نشان می‌دهند، اما در مراحل اولیه تاریخچه تغییرشکل، مقاومت آن‌ها دچار افت می‌شود.

نوع دیگری از اتصال که به جای دیافراگم پیشنهاد شده است اتصال تیر با بولت‌های عبوری از ستون است. استفاده از قطعات اتصال T شکل به همراه بولت‌های میان‌گذر به‌جای

استفاده از ورق پیوستگی، به علت سادگی اجرایی و عدم مزاحمت برای بتن‌ریزی درون ستون‌های مرکب پر شده با بتن موردتوجه می‌باشد. همچنین تحقیقات در مورد این اتصال خصوصاً با استفاده از ستون‌های مرکب پر شده با بتن ساخته شده از مقاطع فولادی نورد سرد تک درز^۱ محدود بوده و نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. Sheet و همکارانش در طی تحقیقاتی رفتار اتصال با بولت عبوری از ستون و همچنین ترکیب بولت و مقطع تیر عبوری از ستون را بررسی کردند [۷]. در تحقیقات Sheet و همکاران، در اتصال با ورق انتهایی و بولت‌های عبوری از درون ستون فولادی پر شده با بتن، به علت تشکیل مفصل پلاستیک دور از بر ستون می‌توان به جابجایی نسبی بیش از ۵٪ تحت بار زلزله دست یافت. میله‌های فولادی با ایجاد یک مسیر مستقیم انتقال بار باعث ایجاد فشار روی وجه خارجی ستون شدند؛ این امر باعث ایجاد یک مسیر انتقال نیروی صلب و در نتیجه جلوگیری از آسیب به جداره ستون می‌شود. Kanatani و همکارانش در سال ۱۹۸۷ بولت‌های عبوری اتصال خمشی را به‌عنوان جایگزینی برای دیافراگم به کار بردند که هدف آن ارزیابی تغییر شکل‌های خارج از صفحه اتصالات و از بین بردن مشکلات در زمینه جوشکاری بود [۸]. آزمایشات بارگذاری یکنواخت نشان داد که اتصال با سپری نسبت به اتصال دیافراگم مقاومت بهتری دارند. تحقیقات در مورد اتصال ستون فولادی پر شده با بتن در فاز سوم در سال ۲۰۰۰ افزایش یافت، وقتی که محققان بر توسعه اتصالات مختلف متمرکز شدند. بعد از آن تحقیقات جامع بر روی رفتار و عملکرد انواع جدید اتصالات ستون‌های فولادی پر شده با بتن تحت بارگذاری ثابت و چرخه‌ای توسط محققان زیادی انجام شد [۹].

Hu و همکارانش در سال ۲۰۱۱ کاربرد روش هوش مصنوعی را در اتصالات ستون‌های فولادی پر شده با بتن در قاب‌های خمشی مرکب مطالعه نمودند. این اتصالات ابداعی با استفاده از میلگردهای کششی با خصوصیات الاستیک و ظرفیت استهلاک انرژی بالا کاربرد دارد. مدل‌سازی ساده مطابق با شکل واقعی اتصال برای رسیدن به فرمول استفاده شد. عملکرد مدل پیشنهادی با مدل‌های جوش‌شده معمولی در پارامترهای تحلیل تاریخیچه زمانی برای بررسی تغییرشکل طبقات و بام مقایسه گردید و مشاهده شد که قاب‌ها با اتصالات مرکب عملکرد بسیار خوبی دارند [۱۰].

با توجه به اینکه یکی از اهداف این مطالعه دستیابی به یک اتصال اقتصادی و مقاوم و تسهیل اجرا می‌باشد، به بررسی

شده است. واحد طول و جابجایی بر حسب متر، واحد نیرو بر حسب نیوتن، واحد تنش بر حسب نیوتن بر مترمربع (پاسکال) در نظر گرفته شد. نمونه شامل اتصال تیر I شکل به ستون قوطی پر شده از بتن با استفاده از سپری می‌باشد. اتصال تیر به سپری از نوع پیچی بوده و اتصال سپری به ستون با استفاده از پیچ‌های عبوری فراهم شده است. ستون با سطح مقطع $200 \times 200 \times 6$ و به طول 3400 میلی‌متر، تیر با سطح مقطع $203 \times 133 \times 6 \times 8$ و به طول 2520 میلی‌متر است. سپری با جان و بال به ضخامت 15 میلی‌متر، طول جان و بال به ترتیب 220 و 120 با عرض 133 میلی‌متر می‌باشد. پیچ‌های عبوری و پیچ‌های اتصال بال تیر به قطر 16 و ورق برشی اتصال جان تیر به ضخامت 10 هستند.

مطابق شکل (۱) تمامی اجزای تشکیل دهنده اتصال به علاوه تیرها و ستون و همچنین بتن داخل ستون مطابق نمونه آزمایش شده مدل سازی شدند و سپس تک تک اجزا در جای مناسب خود قرار گرفتند.

برای تعریف شرایط مرزی، در مرکز سطوح دو انتهای ستون و دو انتهای آزاد تیرها، نقطه‌ای به عنوان نقطه مرجع ایجاد و هر سطح به طور جداگانه به یک نقطه مرجع مقید شد و شرایط مرزی متناسب با هر سطح مقطع به نقطه مرجع نظیر همان مقطع اعمال گردید. مطابق با بارگذاری چرخه‌ای انجام شده در تست آزمایشگاهی، دامنه^۱ مناسب در نرم افزار تعریف شده و به بالای ستون اعمال شد. با توجه به اینکه پایین ستون مفصلی بوده لذا تمام درجات آزادی به جز درجه آزادی چرخشی حول محور عمود بر اتصال مقید شده است. درجه آزادی بالای ستون شامل چرخش حول محور عمود بر اتصال، حرکت انتقالی افقی و عمودی را آزاد گذاشته و سایر مقید شده است. درجه آزادی دو انتهای آزاد تیرها برای چرخش حول محور عمود بر اتصال و حرکت انتقالی افقی، آزاد و برای سایر درجات آزادی مقید شد.

نیروی پیش تنیدگی موجود در پیچ‌ها با استفاده از تغییر دما و انقباض پیچ‌ها ایجاد شده است. ضریب انبساط گرمایی برابر با 0.000027 بر درجه سانتی‌گراد برای مصالح پیچ‌ها در نظر گرفته شد. با استفاده از رابطه $\sigma = E\alpha\Delta\theta$ و مشخص بودن تنش پیش تنیدگی مورد نیاز σ ، مشخصه مدول الاستیسیته E و ضریب انبساط حرارتی α می‌توان اختلاف دمای مناسبی را به دست آورد و تنش پیش تنیدگی لازم را در مدل عددی وارد کرد. برای اینکار ابتدا دمای 55 درجه برای حالت اولیه تعریف و سپس به صفر درجه رسانده شد.

استفاده از بولت‌های میان‌گذر پر مقاومت به همراه دیافراگم خارجی و نحوه توزیع تنش در بولت‌های میان‌گذر و دیافراگم خارجی پرداخته شده است. بولت‌های میان‌گذر علاوه بر برقراری اتصال میان بال سپری و بال ستون موجب انتقال نیروها و صلبیت چشمه اتصال شده و به نوعی نقش ورق‌های پیوستگی داخل ستون قوطی شکل را بازی کرده و نیاز به تعبیه آن را مرتفع می‌نمایند. این موضوع به ویژه در ستون‌های فولادی پر شده با بتن که موضوع عبور بتن از ناحیه چشمه اتصال مطرح است بسیار حائز اهمیت می‌باشد. همچنین استفاده از بولت‌های میان‌گذر موجب حذف عملیات برشکاری ستون به منظور تعبیه و جوشکاری ورق‌های پیوستگی می‌گردد که این موضوع در فرآیند استفاده از مقاطع فولادی نورد سرد تک درز به عنوان جداره ستون بسیار مطلوب می‌باشد. از سوی دیگر تغییر طول نسبی بولت‌های میان‌گذر تحت بارهای چرخه‌ای که موجب کاهش سطح عملکرد آن‌ها می‌شود و همچنین تراکم بالای محصول قطر بالا و چهار طرفه بودن اتصال به ویژه در دهانه‌های بلند که موجب اختلال در عبور بتن از ناحیه چشمه اتصال می‌شود به عنوان موضوعات بحث برانگیز مطرح می‌باشد. به منظور ارائه راهکار مناسب در اقدامی نوآورانه در این پژوهش، از دیافراگم خارجی در کنار بولت‌های میان‌گذر استفاده گردید و عملکرد مشترک و توأمان آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

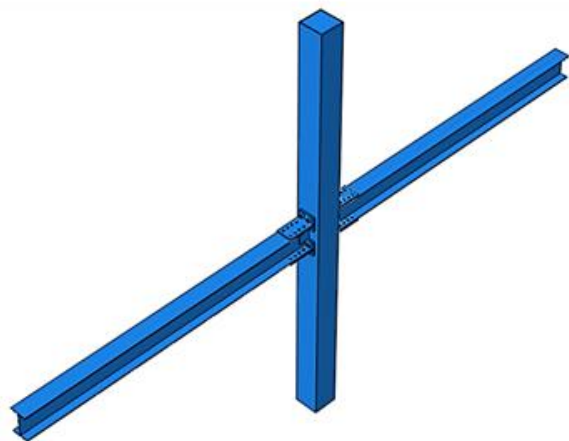
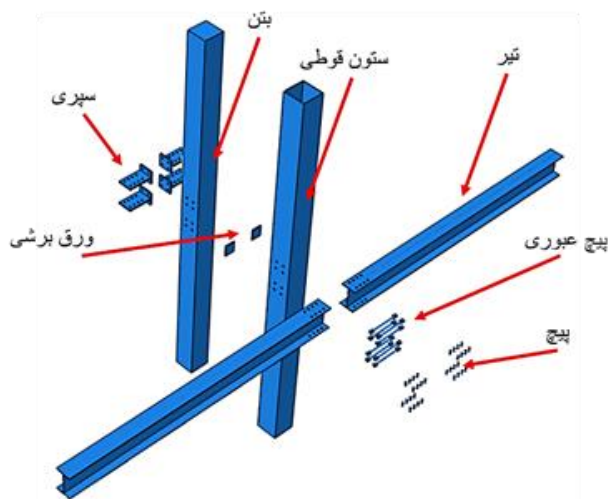
این پژوهش بر مبنای مشخصات و جزئیات تیر و ستون اقتباس شده از یک سازه طرح شده انجام پذیرفته است. در این پژوهش با توجه به نتایج آزمایشگاهی مقاله Sheet و همکارانش [۷]، فرآیند مدل‌سازی اجزای محدود یک نمونه اتصال تیر به ستون فولادی پر شده با بتن که بیشترین شباهت را با طرح پیشنهادی دارد در نرم‌افزار ABAQUS مورد صحت‌سنجی قرار گرفت و هر دو نمونه بر پایه مدل صحت‌سنجی شده مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارزیابی صورت پذیرفته شامل بررسی منحنی هیستریزس و دیاگرام توزیع تنش است. در بخش دوم به توصیف مدل‌سازی نمونه‌ها در نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS پرداخته می‌شود. سپس نتایج تحلیل و تفسیر نمونه‌ها در بخش سوم ارائه می‌شود و بخش چهارم به صحت‌سنجی نتایج می‌پردازد.

۲- مدل‌سازی در نرم‌افزار ABAQUS

۲-۱- مدل‌سازی عددی نمونه بدون دیافراگم خارجی

برای مدل‌سازی و تحلیل عددی از نرم‌افزار ABAQUS استفاده





شکل ۱- مدل‌سازی و مونتاژ قطعات برای تشکیل هندسه کلی اتصال

شده است. به عنوان نمونه برای ورق جان تیر، مقادیر MPa ۳۲۸ و کرنش پلاستیک صفر و همچنین تنش نهایی MPa ۴۱۴ و کرنش نهایی پلاستیک ۰/۰۰۷۱ تعریف شده است. کرنش نهایی پلاستیک از رابطه (۱) قابل محاسبه خواهد بود.

$$\frac{\sigma_u - \sigma_y}{\epsilon_u - 0} = 0.06 \times E \quad (1)$$

که در آن σ_u تنش نهایی، σ_y تنش تسلیم و E مدول الاستیسیته است. برای معرفی مصالح بتن با توجه به ترک‌خوردگی‌ها و تفاوت رفتارکشی و فشاری، از مدل بتن آسیب‌دیده^۲ نرم افزار استفاده شد. برای تعریف این مدل به مشخصاتی از جمله زاویه اتساع^۳، خروج از مرکزیت^۴، نسبت تنش اولیه فشاری دومحوره به تک محوره^۵، نسبت اینورنت دوم تنش و پارامتر ویسکوزیتی^۶ و همچنین مقادیر تنش و کرنش در دو حالت فشاری و کششی و مقادیر پارامترهای خرابی بتن نیاز است. از آنجایی که در تست آزمایشگاهی فقط مقاومت فشاری بتن و برابر با ۴۷ مگاپاسکال اندازه‌گیری شده و نمودار تنش-کرنش بتن موجود نمی‌باشد لذا می‌بایست از مرجع معتبر کمک گرفت.

بدین منظور مشخصات بتن به شکل زیر در نظر گرفته شده است.

نمودار تنش-کرنش فشاری و کششی بتن در شکل (۲) ارایه گردیده است. مقادیر خمیری بتن در جدول (۱) ارایه شده است. در این تحقیق با توجه به تأثیر نداشتن مقادیر خرابی بتن در نتایج و جلوگیری از ازدیاد زمان تحلیل، مقادیر خرابی بتن در حالت کششی و فشاری وارد نشد.

با توجه به اینکه مهره و پیچ نسبت به هم گیرداری کامل دارند و رفتار جوش‌ها نیز کاملاً صلب است، لذا نوع تماس بین این دو از نوع Tie تعریف شد. این نوع تماس درجه آزادی چرخشی و انتقالی تمامی گره‌ها را نسبت به هم مقید می‌کند. سطوح در تماس بتن و فولاد از نوع اصطکاکی با ضریب اصطکاک ۰/۳ و سطوح در تماس فولادی با ضریب اصطکاک ۰/۲ تعریف شد.

در این مدل‌سازی عددی، مشخصات مکانیکی برای ورق بال تیر، جان تیر، ورق ستون، بتن، پیچ عبوری، پیچ اتصال تیر و سبزی بصورت مصالح همگن تعریف شده است. برای مصالح فولادی از مدل دو خطی استفاده شد. بدین‌صورت که برای ناحیه الاستیک مقادیر مدول الاستیسیته و نسبت پواسون تعریف شده و برای ناحیه پلاستیک، خطی با شیب ۶ درصد مدول الاستیسیته از تنش تسلیم تا تنش نهایی در نظر گرفته شد. شیب خط در ناحیه پلاستیک اصطلاحاً مدول پلاستیسیتیه نامیده می‌شود و برای مدل کردن کرنش سخت‌شوندگی تعریف می‌شود. مدول پلاستیسیتیه بین ۱ تا ۱۰ درصد مدول الاستیسیته در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق ۶ درصد در نظر گرفته شده است.

مدول الاستیسیته برای فولاد ساختمانی برابر با ۱۸۰ گیگاپاسکال و برای پیچ‌ها ۲۰۰ گیگاپاسکال و همچنین نسبت پواسون برابر ۰/۳ است.

برای تعریف رفتار پلاستیک، برای نقطه اول تنش تسلیم کرنش پلاستیک متناظر با تنش تسلیم (برابر صفر) و برای نقطه دوم تنش نهایی و کرنش پلاستیک متناظر با تنش نهایی تعریف

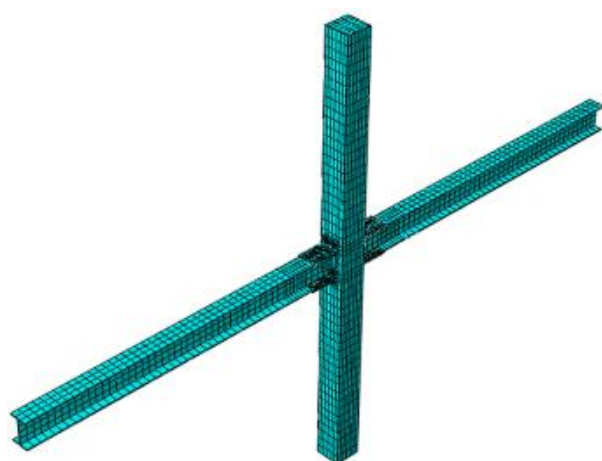
هیچ اثری ندارد، لذا مسئله استاتیکی می باشد.

تحلیل اول برای اعمال تغییر دما در پیچ ها و ایجاد پیش تنیدگی می باشد. تحلیل دوم برای اعمال بارگذاری چرخه ای بوده و با توجه به اینکه دامنه تعریف شده برای بارگذاری چرخه ای در مدت زمان ۰/۹ می باشد لذا زمان این تحلیل برابر با این مقدار تعریف شد.

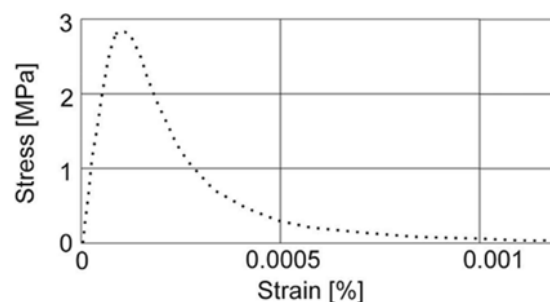
در این مرحله با تعریف محل اعمال بار چرخه ای (بالای ستون) به عنوان محل برداشت خروجی و تعریف مقادیر جابجایی در راستای افقی و نیروی عکس العمل در راستای افقی، مقادیر خروجی مورد نیاز برای ترسیم نمودار بار-جابجایی تعریف شد.

نوع و اندازه مش برای قسمت های مختلف و بعد از آزمون همگرایی مش، در ادامه ارائه شده است. برای مش بندی مدل، به طور کلی برای تمامی قطعات از مش نوع پیوسته استفاده شد. برای قسمتی از تیر که در معرض کرنش پلاستیک بوده و در واقع مفصل پلاستیک تشکیل می شود از نوع مش درجه ۲^۵ استفاده شده که اختصاراً بصورت C3D20R نشان داده می شود (یک المان سه بعدی، پیوسته و ۲۰ گره ای) و برای سایر اجزا از نوع درجه ۶^۱ که اختصاراً به صورت C3D8R نشان داده می شود (یک المان سه بعدی، پیوسته و ۸ گره ای) بهره گرفته شد.

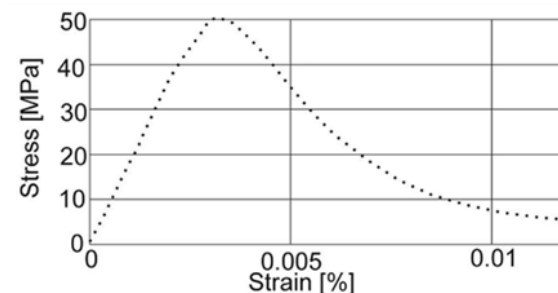
اندازه مش برای قسمت مفصل پلاستیک تیر برابر با ۰/۰۳ و برای سایر آن ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. برای ستون فولادی و قسمت بتنی ۰/۰۷، برای سپری ۰/۰۲، برای پیچ ها برابر ۰/۰۱ و برای مهره ها اندازه ۰/۰۰۵ در نظر گرفته شد. شکل (۳) نمای کلی مدل بعد از مش بندی را نشان می دهد.



شکل ۳- مش بندی کلی مدل



الف) کششی



ب) فشاری

شکل ۲- نمودار تنش-کرنش بتن

جدول ۱- مقادیر خمیری بتن در مدل بتن آسیب دیده

ψ	۳۸ درجه	زاویه اتساع
ε	۰/۱	خروج از مرکزیت
f_{b0}/f_{c0}	۱/۱۲	نسبت تنش تسلیم فشاری دو محوره به تنش تسلیم فشاری تک محوره اولیه
k	۰/۶۶	نسبت نامتغیر دوم تنش در نصف النهار کششی
μ	۰/۰۰۱	پارامتر ویسکوزیته

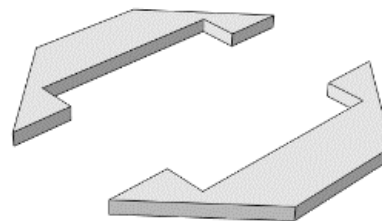
نظر به آنچه بیان گردید، تمامی مصالح مورد استفاده در مدل سازی تعریف شدند و برای هر یک، مقطع^۷ متناظر آن به صورت همگن تعریف شد.

پس از تعریف مصالح و مقاطع متناظر، می بایست هر مقطع را به بخش مورد نظر اختصاص داد.

در این مدل سازی از دو مرحله تحلیل عددی بهره برده شد. در ابتدا برای پیش تنیده کردن پیچ ها و همچنین برای تحلیل بارگذاری چرخه ای مدل از حلگر استاتیکی، عمومی^۸ استفاده شد. این حلگر مناسب برای تحلیل مسائل استاتیکی و با تغییر شکل پلاستیک می باشد. در مسئله مورد نظر ما هم با توجه به اینکه سرعت اعمال بارگذاری بار چرخه ای به نحوی است که اینرسی

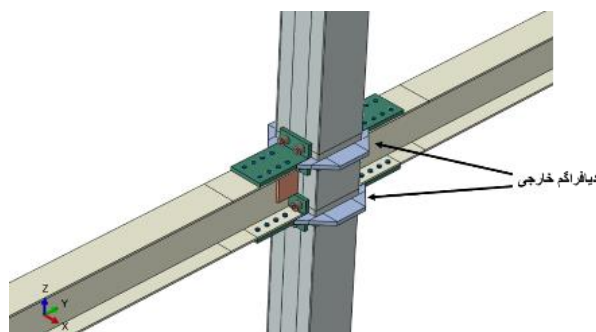
۲-۲ مدل‌سازی مدل دارای دیافراگم خارجی

برای مدل‌سازی نمونه با دیافراگم خارجی، تمام روند مطابق مدل قبل می‌باشد. مصالح دیافراگم خارجی همانند مصالح بکاررفته در سپری دارای مدول الاستیسیته ۱۸۰ گیگاپاسکال، نسبت پواسون ۰/۳، تنش تسلیم ۳۱۲ مگاپاسکال و تنش نهایی ۴۰۷ مگاپاسکال می‌باشد که همانند روش توضیح داده شده در مدل قبل، در نرم افزار تعریف شد. شکل (۴) دیافراگم خارجی را نشان می‌دهد.



شکل ۴- مدل دیافراگم خارجی

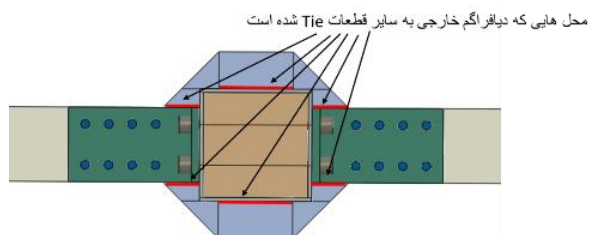
در محیط مونتاز دیافراگم خارجی در محل مناسب قرار گرفت (شکل (۵)).



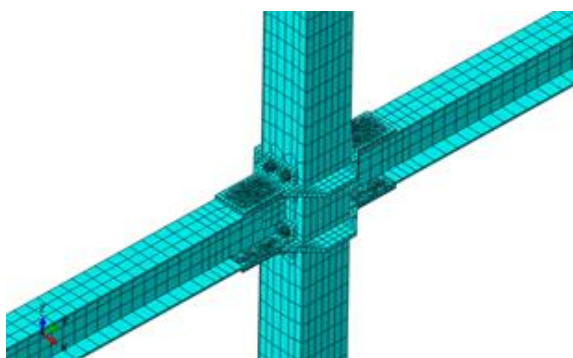
شکل ۵- مدل دیافراگم خارجی

با هدف کارکرد مشترک مناسب میان پیچ‌های عبوری و دیافراگم خارجی و جلوگیری از ترکیب جوش و پیچ در راستای اعمال نیروی بال تیرها در اتصال، دیافراگم خارجی در محدوده گوشه ستون به آن جوش نشده است. محل‌های نشان داده شده با خط قرمز در شکل (۶)، محل‌هایی است که دیافراگم خارجی به سطوح در تماس با اینتراکشن Tie مقید (جوش) شده است. سایر سطوح دیافراگم خارجی با قید تماس اصطکاکی با سطوح دیگر در تماس است. مش دیافراگم خارجی از نوع C3D8R و با اندازه ۰/۰۲

می‌باشد. شکل (۷) مش‌بندی مدل با دیافراگم خارجی را نشان می‌دهد.



شکل ۶- محل‌هایی که دیافراگم خارجی به سطوح دیگر مقید (جوش) شده است.



شکل ۷- مش‌بندی مدل با دیافراگم خارجی

۳- بررسی تحلیل عددی

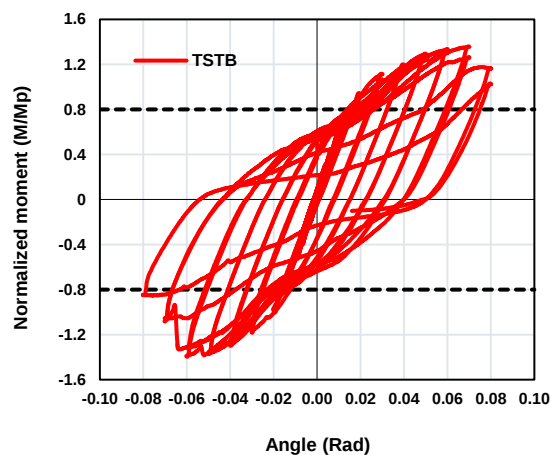
۳-۱- نتایج تحلیل عددی نمونه بدون دیافراگم خارجی

نتایج تحلیل عددی این مدل به‌صورت نمودار لنگر-دوران (هیستریزیس) در شکل (۸) نشان داده شده است. همچنین توزیع تنش و تغییرشکل‌ها در مدل پس از تحلیل در شکل (۹) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود منحنی هیستریزیس دارای چرخه‌های پایدار بوده و مساحت آن، جذب و استهلاک انرژی مناسبی را نشان می‌دهد. همچنین توزیع تنش و مقادیر آن‌ها و تغییرشکل‌ها در مدل عددی مطلوب می‌باشد.

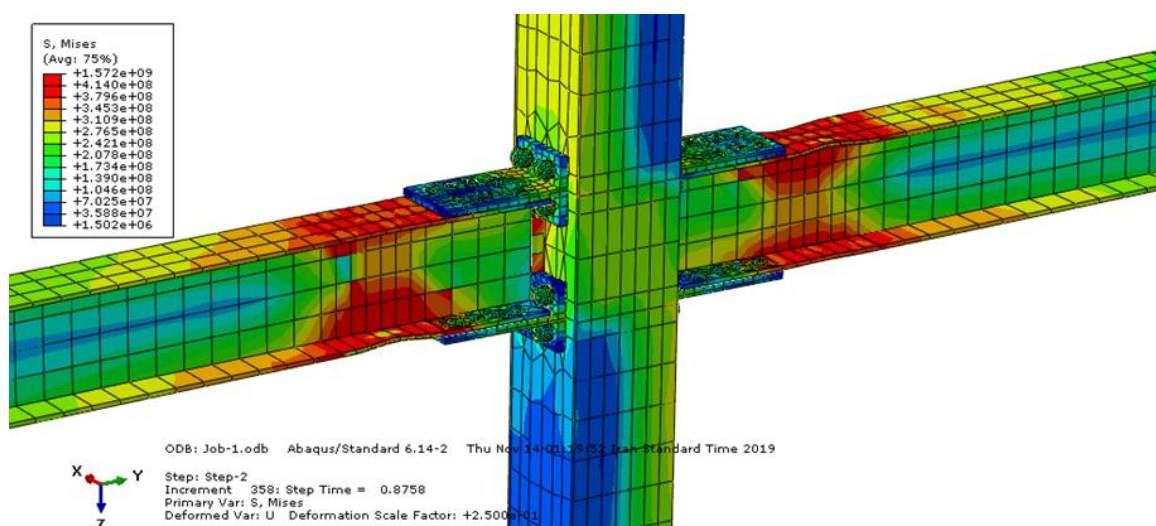
۳-۲- نتایج تحلیل عددی نمونه دارای دیافراگم خارجی

نتایج تحلیل عددی این مدل نیز به‌صورت نمودار هیستریزیس در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همچنین توزیع تنش و تغییرشکل‌ها در مدل پس از تحلیل در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود منحنی هیستریزیس دارای چرخه‌های پایدار بوده و مساحت آن، جذب و استهلاک انرژی

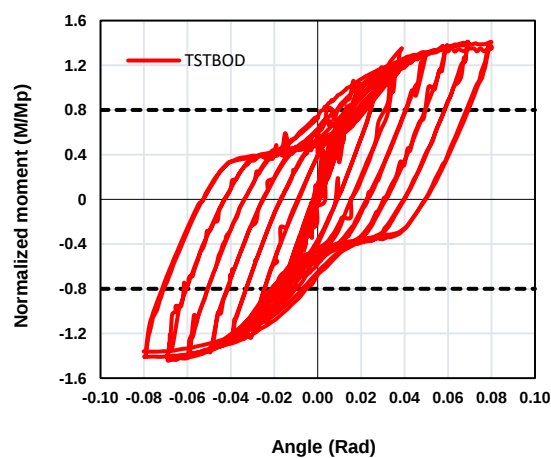
مناسبی را نشان می‌دهد. همچنین توزیع تنش و مقادیر آن‌ها و تغییر شکل‌ها در مدل عددی مطلوب می‌باشد.



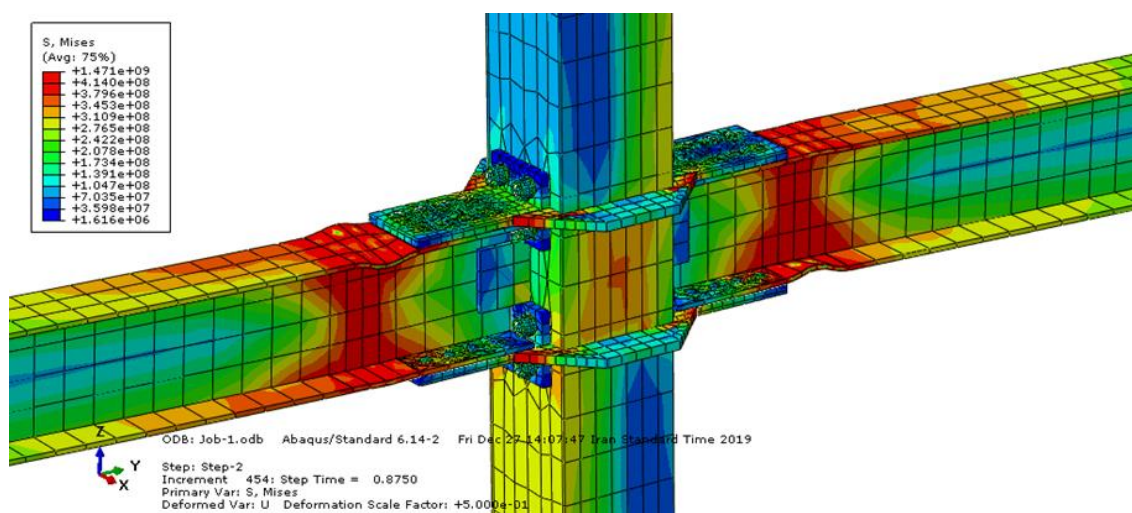
شکل ۸- نمودار لنگر-دوران (هیستریزیس) مدل اتصال بدون دیافراگم خارجی



شکل ۹- توزیع تنش و تغییر شکل‌ها در مدل بدون دیافراگم خارجی



شکل ۱۰- نمودار هیستریزیس مدل اتصال با دیافراگم خارجی

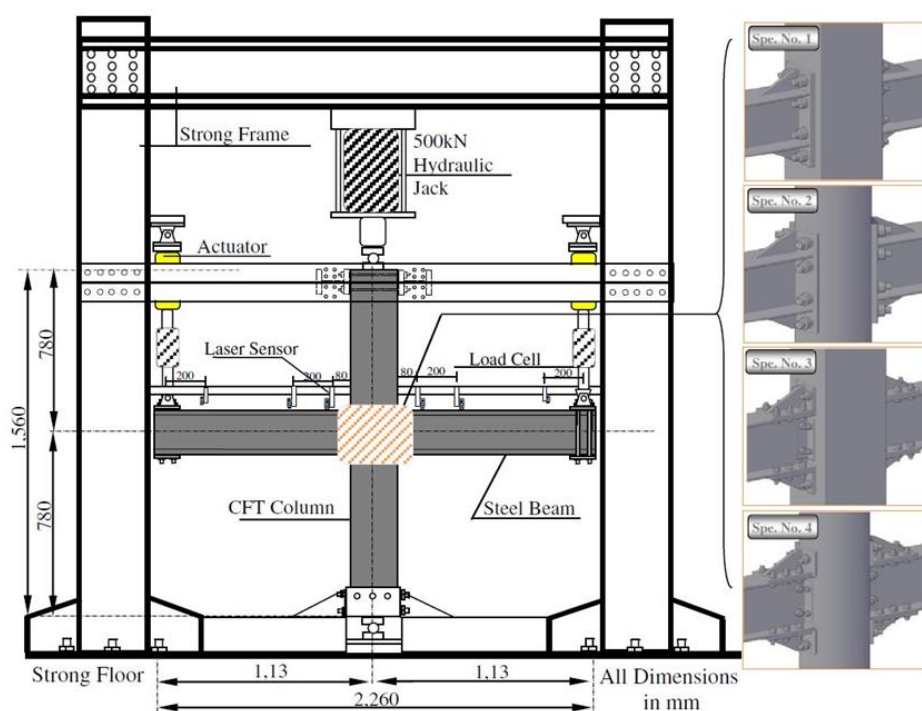


شکل ۱۱- توزیع تنش و تغییرشکل‌ها در مدل اتصال با دیافراگم خارجی

۴- صحت‌سنجی مدل

Sheet و همکارانش [۷] آزمایش شده است، صحت‌سنجی گردید. اتصال به‌صورت دوطرفه آزمایش‌شده و پیکربندی آزمایش در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

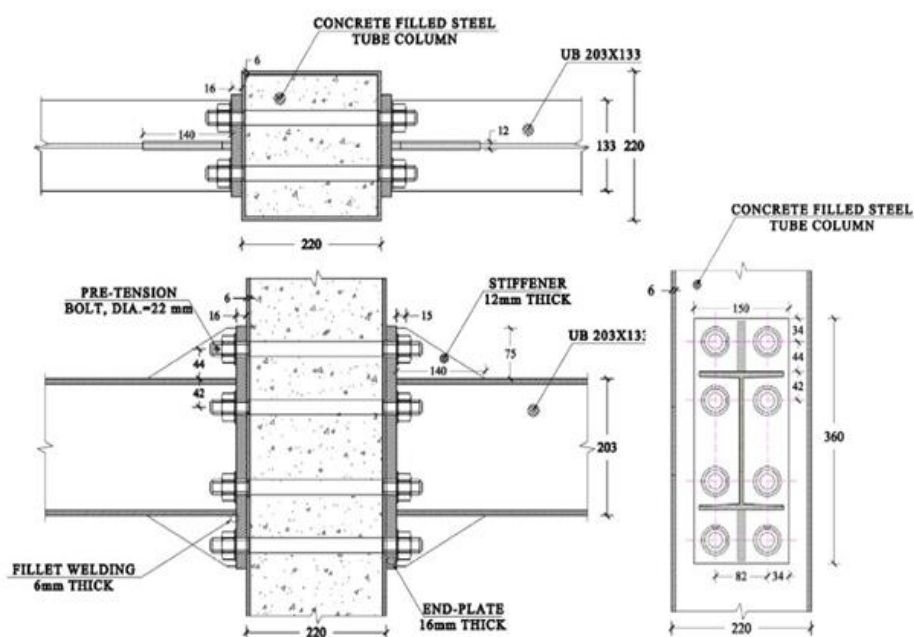
به‌منظور اطمینان از صحت نتایج تحلیل، مدل اجزاءمحدود در این مطالعه با پاسخ چرخه‌ای اتصال نمونه شماره ۱ که توسط



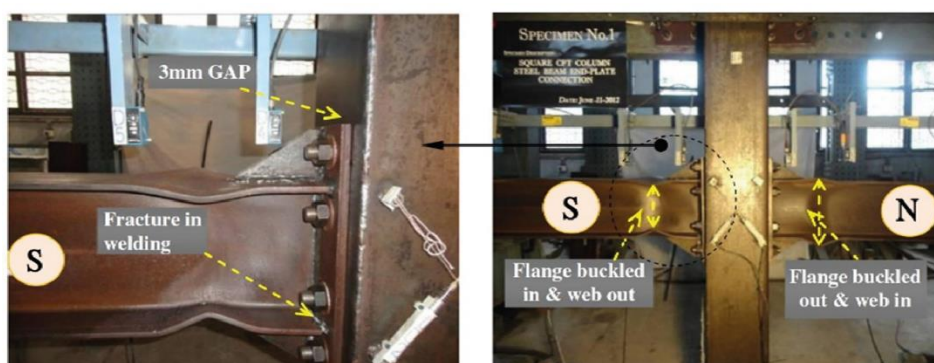
شکل ۱۲- پیکربندی و مشخصات آزمایش Sheet و همکارانش [۷]

آزمایشگاهی Sheet و همکارانش [۷] نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مدل اجزاءمحدود به‌خوبی رفتار اتصال آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

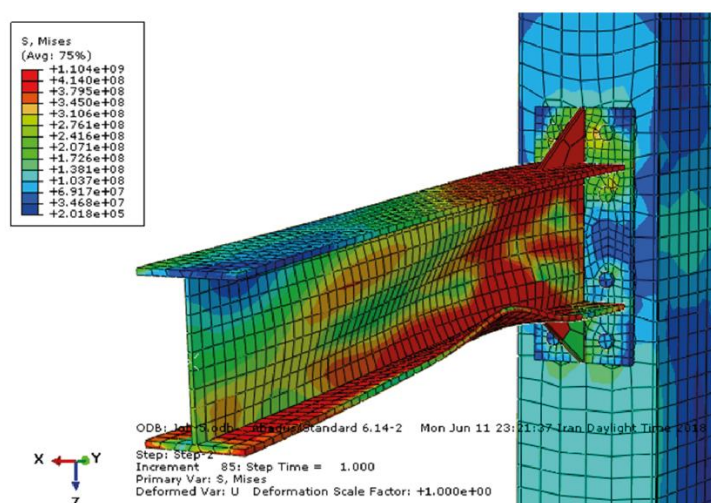
ستون در مطالعه Sheet و همکارانش [۷] به صورت مقطع HSS و پرشده با بتن می‌باشد. ابعاد تیر و ستون و همچنین وسائل اتصال در شکل (۱۳) مشخص شده است. در شکل (۱۴) تغییرشکل و تنش در نمونه تحلیلی و تغییرشکل نمونه



شکل ۱۳- مشخصات ابعادی تیر، ستون و وسائل اتصال آزمایش Sheet و همکارانش [۷]



الف) نمونه آزمایشگاهی Spe. No. 1



ب) مدل اجزاء محدود

شکل ۱۴- مدل سازی جهت صحت سنجی [۷]

۵- مطالعه پارامتریک

دو نمونه برای تشخیص و مجزا نمودن نتایج با نام‌های TSTB و TSTBOD مشخص شده‌اند، که اتصال نمونه TSTB سپری با بولت‌های میان‌گذر و نمونه TSTBOD همراه با دیافراگم خارجی متصل به سپری‌ها می‌باشد. مشخصات ابعادی و جزئیات اتصالات نمونه‌های TSTB و TSTBOD در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات ابعادی و جزئیات اتصالات نمونه‌های TSTB و TSTBOD

TSTBOD		
نمونه	TSTB	TSTBOD
مقطع ستون (میلی‌متر)	۲۰۰×۲۰۰×۶	۲۰۰×۲۰۰×۶
طول ستون (میلی‌متر)	۳۴۰۰	۳۴۰۰
مقطع تیر (میلی‌متر)	۲۰۳×۱۳۳×۶×۸	۲۰۳×۱۳۳×۶×۸
طول تیر (میلی‌متر)	۲۵۲۰	۲۵۲۰
طول جان و بال و عرض سپری (میلی‌متر)	۲۲۰×۱۲۰×۱۳۳	۲۲۰×۱۲۰×۱۳۳
ضخامت سپری (میلی‌متر)	۱۵	۱۵
ضخامت ورق اتصال جان (میلی‌متر)	۱۰	۱۰

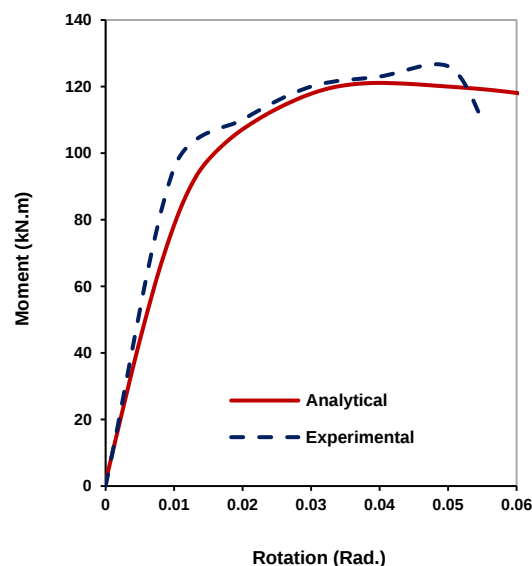
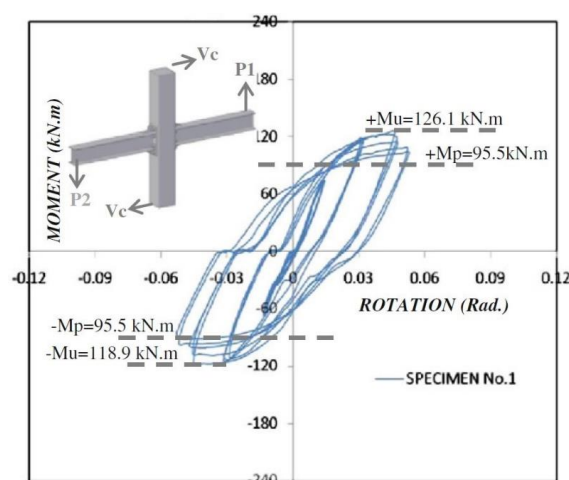
پس از کالیبره کردن مدل‌های تحلیلی در نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS، با هدف بررسی میزان بهینه‌بودن ادوات اتصال و تعیین سهم باربری و میزان تنش و کرنش هر یک از بولت‌های میان‌گذر و دیافراگم خارجی در نمونه TSTBOD و ارائه روابط محاسباتی مطلوب جهت اتصال مذکور، مشخصات برخی پارامترها در نمونه‌های TSTB و TSTBOD به شرح جدول (۳) تغییر یافت و سپس نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت.

۵-۱- نمونه TSTB

الف) در مدل تحلیلی نخست، قطر بولت‌های میان‌گذر مورد استفاده در اتصال از ۱۶ میلی‌متر به ۱۲ میلی‌متر کاهش یافت. شکل (۱۶) نمودار هیستریزس نمونه‌های TSTB با قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۶ و ۱۲ میلی‌متر را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود زوال مقاومت در نمونه با قطر بولت‌های ۱۲ میلی‌متر افزایش داشته و سختی و جذب انرژی در نمونه کاهش یافته است. ب) در مدل تحلیلی دوم، قطر بولت‌های میان‌گذر مورد استفاده در اتصال از ۱۶ میلی‌متر به

به دلیل وجود باریک‌شدگی^{۱۱} در نمودار هیستریزس نمونه آزمایشگاهی که در نتیجه پیچ و مهره‌ای بودن اتصالات بوجود می‌آید به منظور صحت سنجی از منحنی پوش محصول تحلیل اجزای محدود بهره گرفته شده است.

شکل (۱۵) مقایسه منحنی هیستریزس نمونه آزمایشگاهی شیت و همکاران و منحنی پوش آن با منحنی پوش مدل اجزاء محدود این مطالعه را نشان می‌دهد. مشخصات مصالح اندازه‌گیری شده و گزارش شده توسط شیت و همکارانش برای صحت‌سنجی نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. همان‌گونه که در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود تطابق خوبی بین نتایج نمونه تحلیلی و آزمایشگاهی وجود دارد.



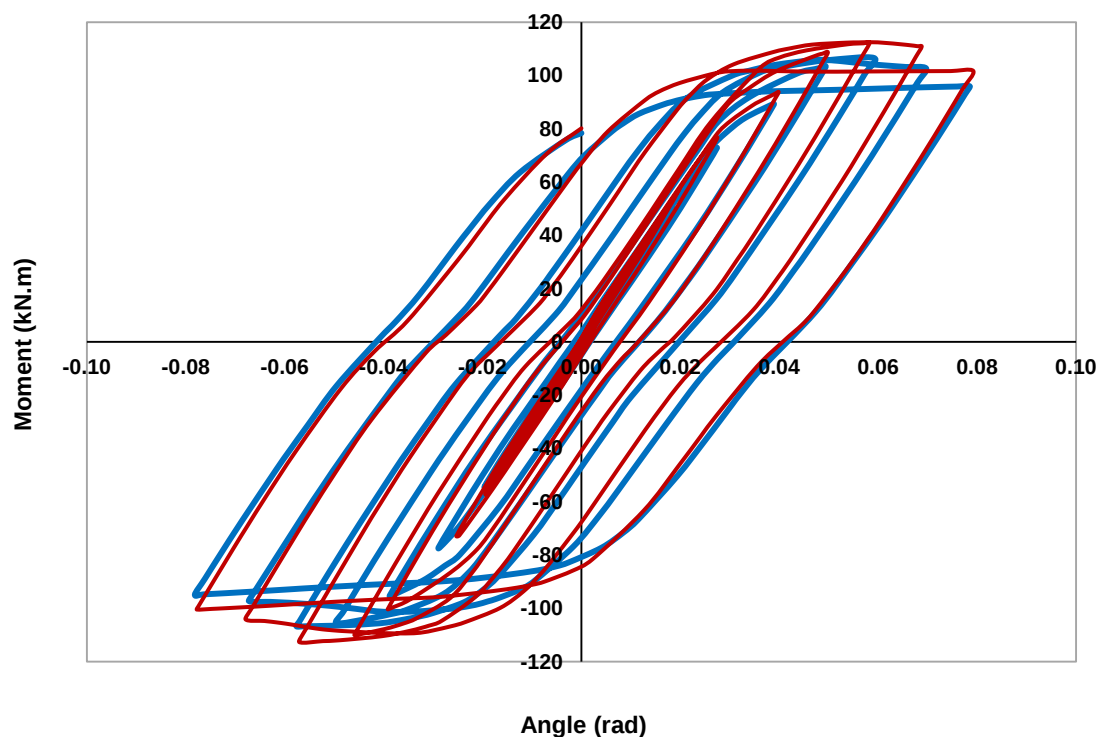
شکل ۵- بالا) منحنی هیستریزس آزمایشگاهی نمونه شماره ۱ مطالعه Sheet و همکارانش [۷]، پایین) مقایسه منحنی پوش هیستریزس آزمایشگاهی نمونه 1 Spe. No. [۷] و مدل تحلیلی اجزاء محدود

جدول ۳- تغییرات پارامتریک نمونه‌های TSTB و TSTBOD

نمونه	TSTBOD					TSTB	
	ه	د	ج	ب	الف	ب	الف
ضخامت بولت میان‌گذر در مدل مبنا (میلی‌متر)	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶
ضخامت بولت میان‌گذر در نمونه تحلیلی پارامتریک (میلی‌متر)	۱۲	۱۶	۱۶	۲۰	۱۲	۲۰	۱۲
ضخامت دیافراگم خارجی در مدل مبنا (میلی‌متر)	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	-	-
ضخامت دیافراگم خارجی در مدل تحلیلی پارامتریک (میلی‌متر)	۱۰	۲۰	۱۰	۱۵	۱۵	-	-

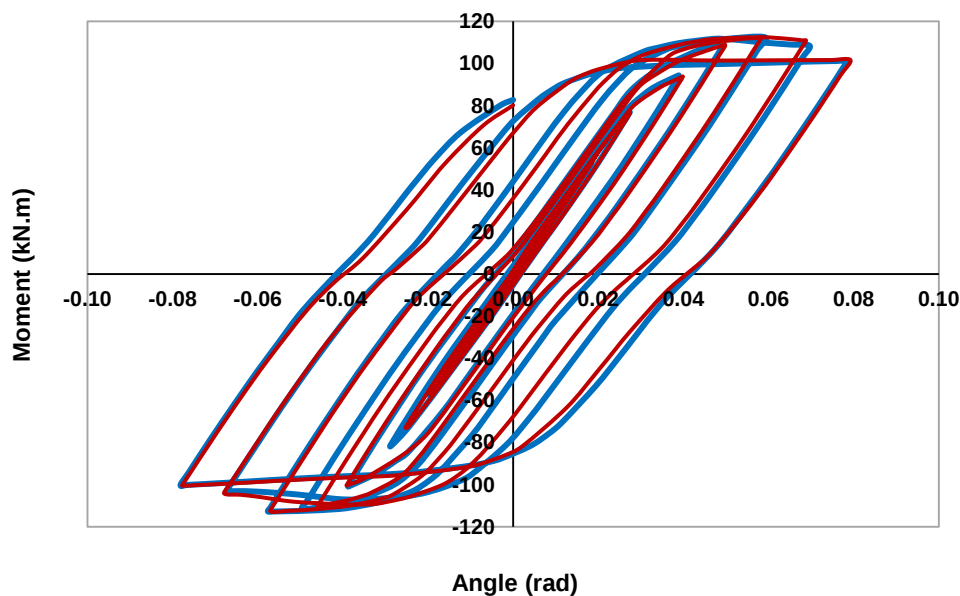
۲۰ میلی‌متر افزایش یافت. شکل (۱۷) نمودار هیستریزس نمونه‌های TSTB با قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۶ و ۲۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل منحنی هیستریزس هر دو نمونه تقریباً منطبق بوده و زوال مقاومت در هر دو نمونه تقریباً یکسان است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت قطر ۱۶ میلی‌متر محاسبه شده برای بولت‌های میان‌گذر مناسب و بهینه می‌باشد.

شکل (۱۸) تنش موجود در بولت‌های میان‌گذر را برای قطرهای ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌متر نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود بولت‌های میان‌گذر با قطر ۱۲ میلی‌متر در دوران نسبی ۰/۰۸ رادیان دچار تسلیم‌شدگی شده‌اند. بولت‌های میان‌گذر با قطر ۱۶ میلی‌متر در دوران نسبی ۰/۰۸ رادیان تنش‌هایی کمتر از تنش تسلیم را تجربه کرده‌اند و بولت‌های با قطر ۲۰ میلی‌متر به میزان قابل‌توجهی کمتر از ظرفیت خود متحمل تنش شده‌اند. لذا می‌توان نتیجه گرفت روابط محاسباتی در نظر گرفته شده جهت طراحی بولت‌های میان‌گذر بهینه و مناسب می‌باشد.



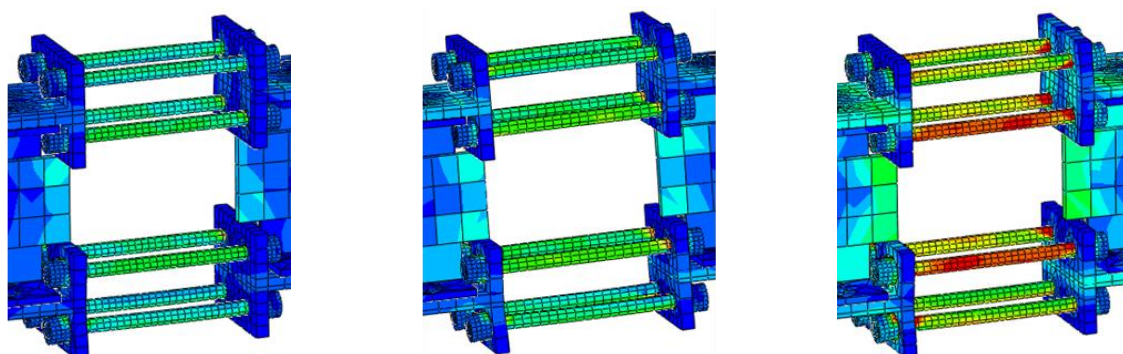
قطر بولت های میان گذر ۱۶ میلی متر قطر بولت میان گذر ۱۲ میلی متر

شکل ۱۶- نمودار هیستریزس نمونه‌های TSTB با قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۶ و ۱۲ میلی‌متر



— قطر بولت های میان گذر ۱۶ میلی متر — قطر بولت های میان گذر ۲۰ میلی متر

شکل ۱۷- نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTB با قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۶ و ۲۰ میلی‌متر



(ج) قطر بولت ۲۰ میلی‌متر

(ب) قطر بولت ۱۶ میلی‌متر

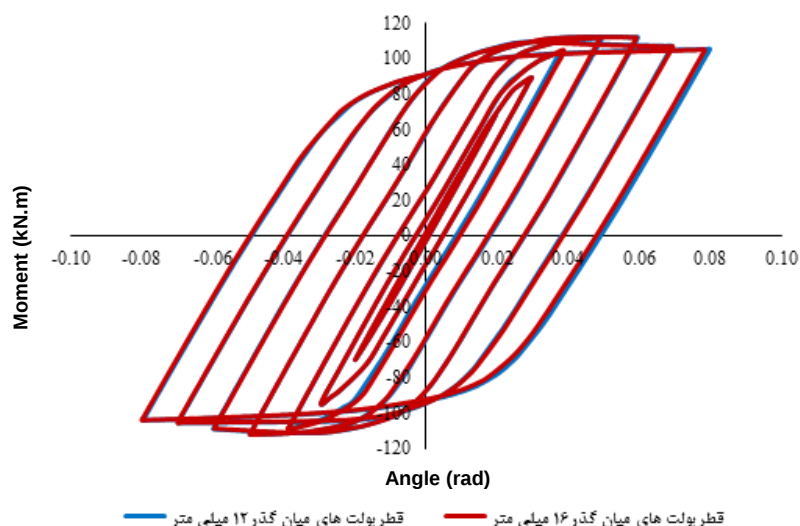
(الف) قطر بولت ۱۲ میلی‌متر

شکل ۱۸- تنش موجود در بولت‌های میان‌گذر

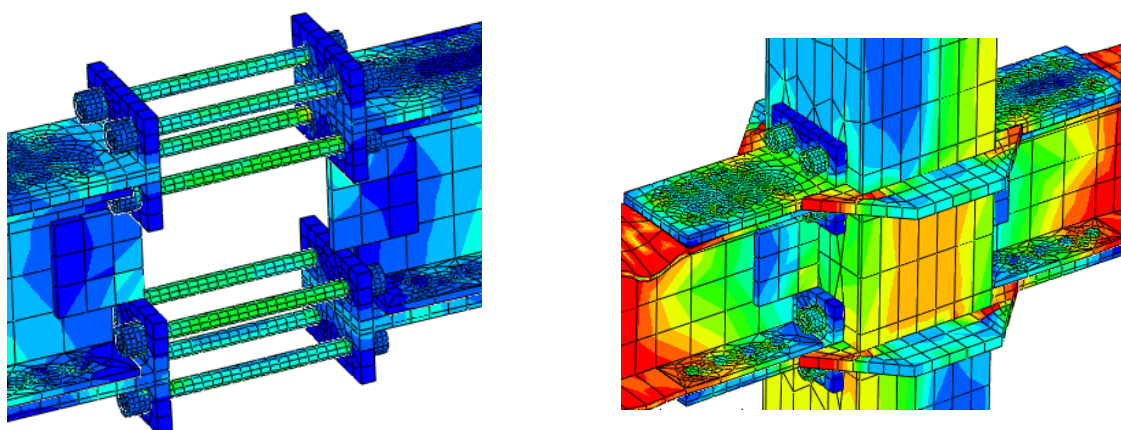
۲-۵- نمونه TSTBOD

(الف) در مدل تحلیلی نخست در این دسته، قطر بولت‌های میان‌گذر مورد استفاده در اتصال از ۱۶ میلی‌متر به ۱۲ میلی‌متر کاهش یافت. شکل (۱۹) نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTBOD با قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۶ و ۱۲ میلی‌متر را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود زوال مقاومت در هر دو نمونه یکسان بوده و دو منحنی کاملاً بر یکدیگر منطبق می‌باشند. لذا در صورت اضافه کردن دیافراگم خارجی به نمونه علیرغم کاهش قطر بولت‌های میان‌گذر کاهش مقاومتی در نمونه مشاهده نمی‌شود.

شکل (۲۰) تنش موجود در دیافراگم خارجی و بولت‌های میان‌گذر را برای این نمونه نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ملاحظه می‌گردد دیافراگم خارجی کاملاً در تحمل تنش‌های وارده سهیم بوده و بولت‌های میان‌گذر نیز با حدود ۷۰ درصد از ظرفیت خود در تحمل بارهای وارده سهیم هستند. بنابر این با توجه به عملکرد مشترک بولت‌های میان‌گذر و دیافراگم خارجی می‌توان نتیجه گرفت با افزودن دیافراگم خارجی به اتصال، می‌توان قطر بولت‌های میان‌گذر را بدون داشتن هیچگونه زوال مقاومتی در اتصال کاهش داد.



شکل ۱۹- نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTBOD با قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۶ و ۱۲ میلی‌متر



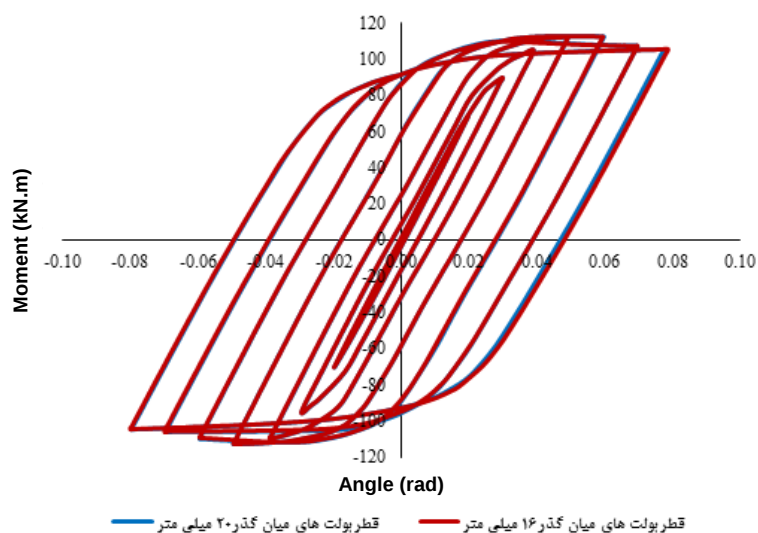
شکل ۲۰- تنش موجود در دیافراگم خارجی و بولت‌های میان‌گذر در نمونه TSTBOD با قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۲ میلی‌متر

تحمل بارهای وارده سهم هستند. لذا با افزایش قطر بولت‌های میان‌گذر در این اتصال، افزایشی در سهم باربری آن‌ها و یا کاهش قابل توجهی در سهم باربری دیافراگم‌های خارجی مشاهده نگردید.

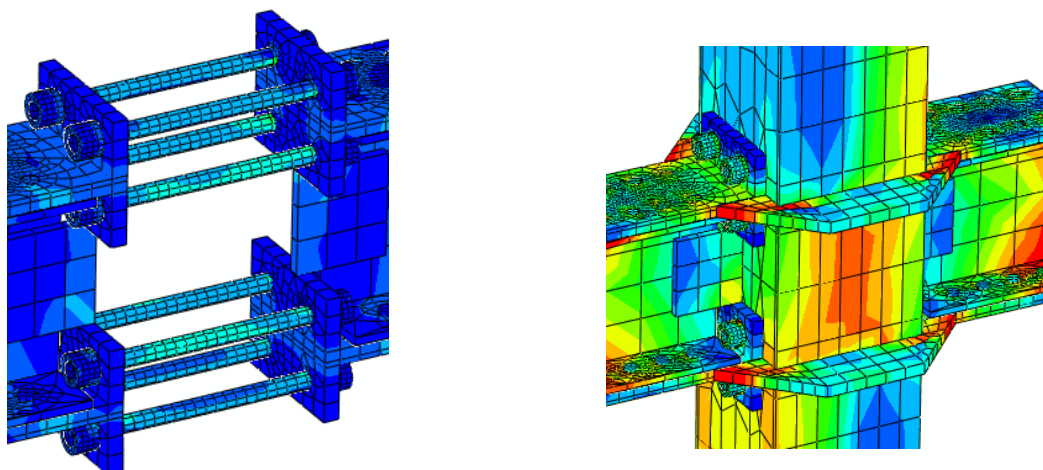
ج) در مدل تحلیلی سوم در این دسته، ضخامت دیافراگم خارجی مورد استفاده در اتصال از ۱۵ میلی‌متر به ۱۰ میلی‌متر کاهش یافت. شکل (۲۳) نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTBOD با ضخامت دیافراگم خارجی ۱۵ و ۱۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود زوال مقاومت در هر دو نمونه یکسان بوده و دو منحنی تقریباً بر یکدیگر منطبق می‌باشند. لذا در صورت کاهش ضخامت دیافراگم خارجی با وجود بولت‌های میان‌گذر کاهش مقاومتی در نمونه مشاهده نمی‌شود.

ب) در مدل تحلیلی دوم در این دسته، قطر بولت‌های میان‌گذر مورد استفاده در اتصال از ۱۶ میلی‌متر به ۲۰ میلی‌متر افزایش یافت. شکل (۲۱) نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTBO با قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۶ و ۲۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۲۱) مشاهده می‌شود زوال مقاومت در هر دو نمونه یکسان بوده و دو منحنی کاملاً بر یکدیگر منطبق می‌باشند. لذا در این نمونه با افزایش قطر بولت‌های میان‌گذر تأثیر افزایشی در مقاومت نمونه مشاهده نمی‌شود.

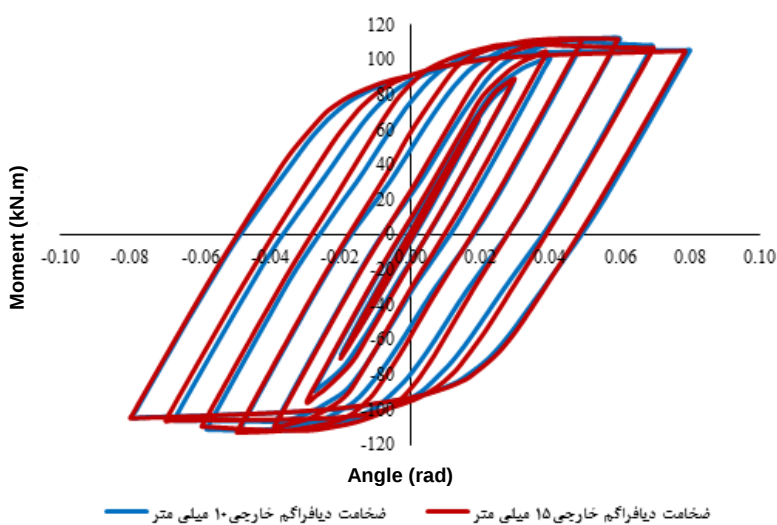
شکل (۲۲) تنش موجود در دیافراگم خارجی و بولت‌های میان‌گذر را برای این نمونه نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ملاحظه می‌گردد دیافراگم‌های خارجی در این نمونه نیز در تحمل تنش‌های وارده سهم بوده و بولت‌های میان‌گذر با قطر ۲۰ میلی‌متر نیز با حدود یک سوم از ظرفیت مقاومتی خود در



شکل ۲۱- نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTBOD با قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۶ و ۲۰ میلی‌متر

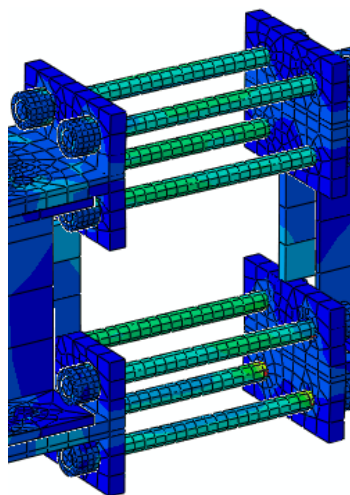


شکل ۲۲- تنش موجود در دیافراگم خارجی و بولت‌های میان‌گذر نمونه TSTBOD با قطر بولت‌های میان‌گذر ۲۰ میلی‌متر

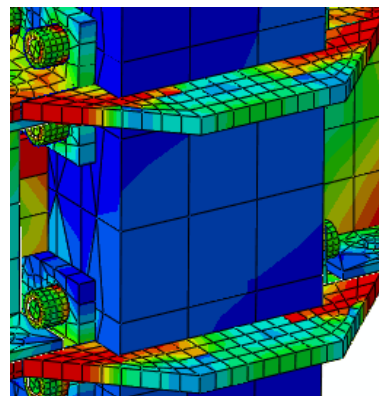


شکل ۲۳- نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTBOD با ضخامت دیافراگم‌های خارجی ۱۰ و ۱۵ میلی‌متر

درصد از ظرفیت خود در تحمل بارهای وارده سهمیم هستند. لذا وجود بولت‌های میان‌گذر، کاهش ضخامت دیافراگم خارجی را جبران نموده و زوال مقاومتی در نمونه مشاهده نمی‌شود.



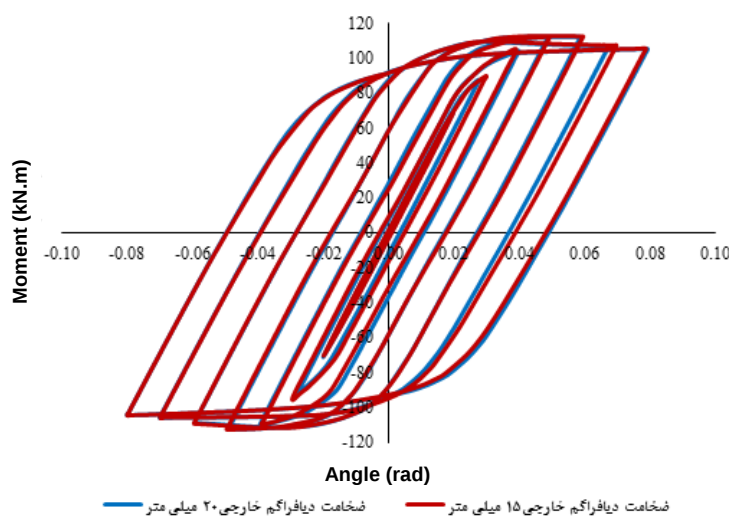
شکل (۲۴) تنش موجود در دیافراگم خارجی و بولت‌های میان‌گذر را برای این نمونه نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ملاحظه می‌گردد دیافراگم‌های خارجی تنش‌هایی کمتر از تنش تسلیم را تجربه می‌کنند و بولت‌های میان‌گذر نیز با بیش از ۷۰



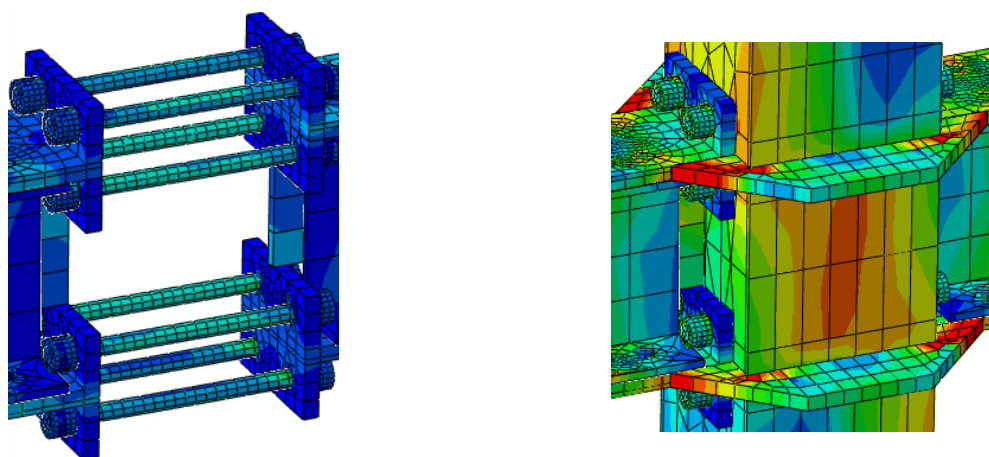
شکل ۲۴- تنش موجود در دیافراگم خارجی و بولت‌های میان‌گذر نمونه TSTBOD با ضخامت دیافراگم خارجی ۱۰ میلی‌متر

شکل (۲۶) تنش موجود در دیافراگم خارجی و بولت‌های میان‌گذر را برای این نمونه نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ملاحظه می‌گردد دیافراگم‌های خارجی تنش‌هایی کمتر از تنش تسلیم را تجربه می‌کنند و بولت‌های میان‌گذر نیز با حدود ۵۰ درصد از ظرفیت خود در تحمل بارهای وارده سهمیم هستند. لذا با افزایش ضخامت دیافراگم خارجی در این اتصال، افزایشی در سهم باربری آن‌ها و یا کاهش قابل‌توجهی در سهم باربری بولت‌های میان‌گذر مشاهده نمی‌گردد.

د) در مدل تحلیلی چهارم در این دسته، ضخامت دیافراگم خارجی مورد استفاده در اتصال از ۱۵ میلی‌متر به ۲۰ میلی‌متر افزایش یافت. شکل (۲۵) نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTBOD با ضخامت دیافراگم خارجی ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۲۵) مشاهده می‌شود زوال مقاومت در هر دو نمونه یکسان بوده و دو منحنی تقریباً بر یکدیگر منطبق می‌باشند. لذا افزایش ضخامت دیافراگم خارجی اثر افزایشی در مقاومت ندارد.



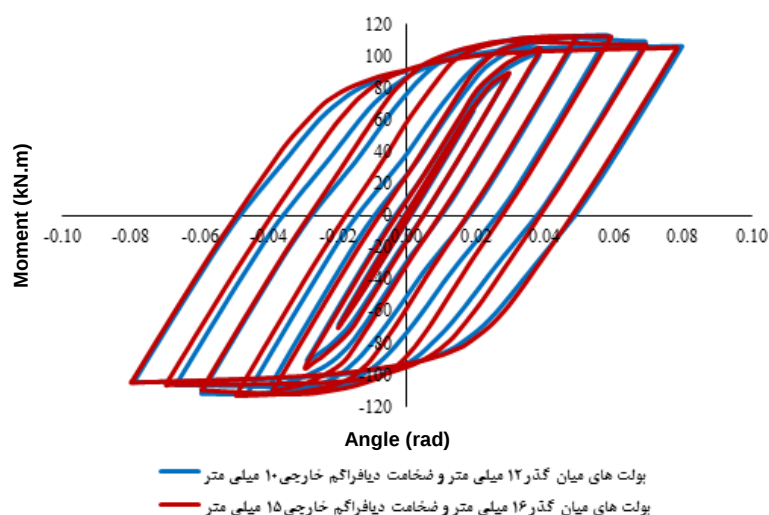
شکل ۲۵- نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTBOD با ضخامت دیافراگم‌های خارجی ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر



شکل ۲۶- تنش موجود در دیافراگم خارجی و بولت‌های میان‌گذر نمونه TSTBOD با ضخامت دیافراگم خارجی ۲۰ میلی‌متر

خارجی ۱۰ میلی‌متر و قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۲ میلی‌متر را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود زوال مقاومت در هر دو نمونه یکسان بوده و میان دو منحنی انطباق خوبی برقرار می‌باشد. لذا عملکرد مشترک مطلوب بولت‌های میان‌گذر و دیافراگم خارجی مشاهده می‌شود به گونه‌ای که با کاهش قطر و ضخامت هر دوی آن‌ها تأثیری در زوال مقاومت نمونه مشاهده نمی‌شود.

۵) در مدل تحلیلی پنجم در این دسته، به‌منظور بررسی دقیق‌تر و نتیجه‌گیری بهتر در خصوص اهداف مطلوب این مطالعه، ضخامت دیافراگم خارجی مورد استفاده در اتصال از ۱۵ میلی‌متر به ۱۰ میلی‌متر و قطر بولت‌های میان‌گذر از ۱۶ میلی‌متر به ۱۲ میلی‌متر به‌صورت توأمان کاهش یافت. شکل (۲۷) نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTBOD مینا با ضخامت دیافراگم خارجی ۱۵ میلی‌متر و قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۶ میلی‌متر و نمونه دارای ضخامت دیافراگم

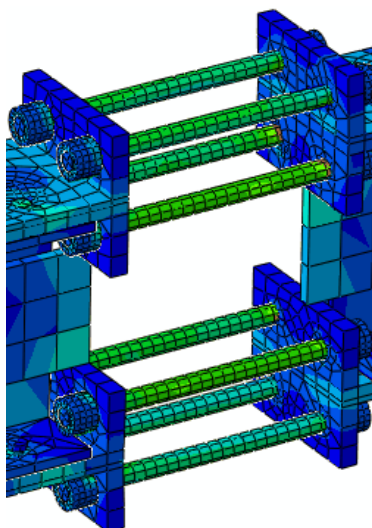


شکل ۲۷- نمودار هیستریزیس نمونه‌های TSTBOD مینا با ضخامت دیافراگم خارجی ۱۵ میلی‌متر و قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۶ میلی‌متر و نمونه دارای ضخامت دیافراگم خارجی ۱۰ میلی‌متر و قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۲ میلی‌متر

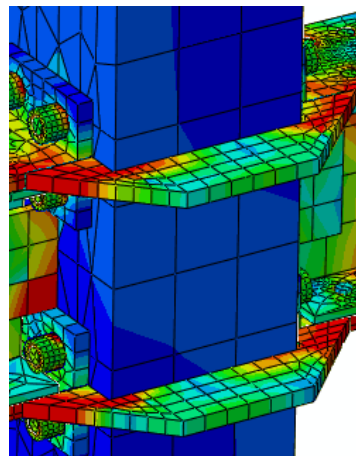
تسلیم را تجربه می‌کنند و بولت‌های میان‌گذر نیز با حدود ۷۰ درصد از ظرفیت خود در تحمل بارهای وارده سهمیم هستند. لذا با وجود کاهش توأمان قطر بولت‌های میان‌گذر و ضخامت

شکل (۲۸) تنش موجود در دیافراگم خارجی و بولت‌های میان‌گذر را برای این نمونه نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ملاحظه می‌گردد دیافراگم‌های خارجی تنش‌هایی کمتر از تنش

مشاهده گردید قطر و یا مقاومت بولت‌های میان‌گذر تا ۲۵ درصد و ضخامت، ابعاد و یا مقاومت دیافراگم‌های خارجی تا ۳۳ درصد قابلیت تقلیل، بدون هیچ‌گونه زوال مقاومتی در نمونه را دارا می‌باشند.



دیافراگم‌های خارجی، رفتار هر دو مصالح در ناحیه خطی باقی ماند. با توجه به بررسی‌های صورت پذیرفته در بخش مطالعه پارامتریک، عملکرد مشترک مطلوب بولت‌های میان‌گذر و دیافراگم‌های خارجی مشاهده گردید. همچنین در این بخش



شکل ۲۸- تنش موجود در دیافراگم خارجی و بولت‌های میان‌گذر نمونه TSTBOD با ضخامت دیافراگم خارجی ۱۰ میلی‌متر و قطر بولت‌های میان‌گذر ۱۲ میلی‌متر

موجود که دارای اتصالات سپری با بولت‌های میان‌گذر می‌باشند نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۷- مراجع

- [1] Ahmadi, M., Kheyroddin, A. and Naderpour H. (2010), "Investigation the behavior and comparison of reliable codes on concrete steel composite columns", Journal of Modeling in Engineering, Vol. 8, pp. 37-49
- [2] Rezaifar, O. and Younesi, A. (2017), "Experimental study discussion of the seismic behavior on new types of internal/external stiffeners in rigid beam-to-CFST/HSS column connections", Journal of Construction and Building Materials, Vol. 136, pp. 574-589.
- [3] Kurobane, Y., Packer, J.A., Wardenier, J. and Yeomans, N. (2004), "Design guide for structural hollow section column connections", Köln: TÜV Rheinland Group, pp. 97-154.
- [4] Alostaz, Y.M. and Shneider, P. (1998), "Connections to concrete-filled steel tubes", Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 748.
- [5] Yu, Y., Chen, Z. and Wang, X. (2015), "Effect of column flange flexibility on WF-beam to rectangular CFT column connections", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 106, pp. 184-197.
- [6] Azizinamini, A. and Schneider, S.P. (2004), "Moment connections to circular concrete-filled steel tube columns", Journal of structural Engineering, Vol. 130, pp.213-222.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل عددی در نرم‌افزار ABAQUS و مقایسه نتایج حاصل با بررسی آزمایشگاهی نمونه‌های تقریباً مشابه، می‌توان گفت که نتایج عددی با دقت خوبی نتایج آزمایشگاهی را توصیف می‌کنند.

شکل‌پذیری اتصال تیر به ستون CFT با سپری و بولت‌های میان‌گذر، با افزودن دیافراگم خارجی به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد و از گسیختگی در اتصالات سپری با بولت میان‌گذر تنها جلوگیری می‌نماید. همچنین استفاده از دیافراگم خارجی سبب توزیع یکنواخت‌تر تنش در نمونه شده و می‌تواند احتمال گسیختگی از محل بولت‌های میان‌گذر و افزایش طول آن‌ها و در نهایت زوال مقاومت را کاهش دهد. قطر بولت‌های میان‌گذر و ابعاد دیافراگم‌های خارجی و یا مشخصه‌های مقاومتی آن‌ها می‌تواند در نتیجه عملکرد مشترک مطلوب در یک اتصال ترکیبی کاهش یافته و حتی بسته به نیاز می‌توان در طراحی از قطر بولت‌ها یا ابعاد دیافراگم‌های خارجی و به طور کلی ظرفیت مقاومتی یکی در یک بازه معین کاست و بر دیگری افزود. این راهکار به منظور مقاوم‌سازی و یا بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های

- [7] Sheet, I.S., Gunasekaran, U. and MacRae, G.A. (2013), "Experimental investigation of CFT column to steel beam connections under cyclic loading", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 86, pp. 167-182.
- [8] Kanatani, H., Tabuchi, M., Kamba, T., Hsiaolien, J. and Ishikawa, M. (1987), "A Study on concrete filled RHS column to H-beam connections fabricated with HT bolts in rigid frames", *Composite Construction in Steel and Concrete*, ASCE, pp. 614-635.
- [9] Chen, Z., Qin, Y. and Wang, X. (2015), "Development of connections to concrete-filled rectangular tubular columns", *Advanced Steel Construction*, Vol. 11, pp. 408-426.
- [10] Hu, J.W., Choi, E. and Leon, R.T. (2011), "Design, analysis and application of innovative composite PR connections between steel beams and CFT columns", *Smart Materials and Structures*, Vol. 20, 025019.

پی نوشت

- ¹ Amplitude
- ² Damaged concrete plasticity
- ³ Dilation angle
- ⁴ Eccentricity
- ⁵ Ratio of initial equibiaxial compressive yield stress to initial uniaxial compressive yield stress
- ⁶ Viscosity Parameter
- ⁷ Section
- ⁸ Static, general
- ⁹ Quadratic
- ¹⁰ Linear
- ¹¹ Pinching