



بررسی شکل‌پذیری ستون‌های فولادی پرشده با بتن در دو نوع CFST و CFDST

محمدحسین طالب‌پور^۱، امیرمسعود صادقیان^۲

۱- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشکده فنی و مهندسی دارالفنون، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان

:

M.H.Talebpour@du.ac.ir

خلاصه

ستون‌های فولادی پرشده با بتن و انواع آن به سبب کاربرد و استفاده در سازه‌های فلزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله سعی شده است تا شکل‌پذیری دو مدل ستون CFST و CFDST تحت بار حرارتی و نیروی محوری تناوبی مورد بررسی قرار گیرد. بدین ترتیب تاثیر نوع فولاد مصرفی در مقطع داخلی و لایه خارجی ستون مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور دو نوع فولاد معمولی و فولاد پرمقاومت با مشخصات مکانیکی مفروض به عنوان متغیر لحاظ شده است. کلیات مدلسازی و تحلیل ستون در نرم‌افزار ABAQUS صورت گرفته و شکل‌پذیری براساس نمودارهای هیستریزس مورد ارزیابی قرار گرفته است. فرآیند بررسی ابتدا با تحلیل حرارتی آغاز و مقدار دمای حداکثر تعیین خواهد شد. سپس با توجه به دمای حداکثر و نیز دمای معمولی، نیروی محوری طبق شیوه موردنظر به ستون اعمال می‌شود. در نهایت منحنی‌های هیستریزس مبنای ارزیابی و مقایسه برای انواع فولاد مصرفی در مدل‌های مفروض درنظر گرفته خواهد شد. نتایج دلالت بر تاثیر مقاومت فولاد مصرفی به خصوص برای لایه خارجی، در رفتار ستون‌ها دارد.

کلمات کلیدی: بار آتش، مقاومت فولاد، CFST، CFDST، نمودار هیستریزس.

۱. مقدمه

سازه‌های فولادی با توجه به مزایایی همچون سرعت، سازگاری با معماری و ... بسیار مورد توجه مهندسين می‌باشد. اما در برخی موارد اثرات سوانح طبیعی و غیرطبیعی همچون آتش‌سوزی و ... از عوامل بازدارنده برای اجرای سازه‌های مختلف بویژه سازه‌های ساختمانی با اسکلت فلزی می‌باشد. از سوی دیگر پایداری سازه به اجزایی همچون ستون‌های سازه بستگی دارد. به بیان دیگر رفتار ستون‌های سازه در بارگذاری‌های مختلف بویژه بار حرارتی تاثیر بسزایی در رفتار کل سازه دارد. در دمای بالا عملکرد نامناسب ستون‌ها می‌تواند پایداری کل سازه را تحت تاثیر قرار دهد. در سالیان اخیر وقوع آتش‌سوزی با توجه به پیشرفت‌های متنوع در زمینه‌های مختلف تکنولوژی، محتمل‌تر از گذشته است. به بیان دیگر با توجه به ابزارهای دنیای مدرن، احتمال آتش‌سوزی در سازه‌های ساختمانی بسیار بالا می‌باشد. همین مسئله سبب شده است تا محققین به دنبال راهکارهایی برای غلبه بر اثرات منفی بار حرارتی در سازه‌های فلزی بویژه در ستون‌های سازه باشند. یک از این راهکارها، استفاده از ستون‌های کامپوزیتی با مقاطع فولادی پرشده با بتن (CFT) می‌باشد. این ستون‌ها تا حدودی ویژگی‌های اعضا مشابه با مصالح فولاد یا بتن را به صورت همزمان دارا می‌باشد. به همین دلیل کاربرد این نوع ستون در سازه‌های اسکلتی به خصوص صنعت ساختمان گسترش فزاینده‌ای یافته است. یکی از انواع ستون‌های CFT ستون‌های دوجداره فولادی پرشده با بتن (CFDST) و نوع دیگر آن پرشده با بتن مسلح (تقویت با آرماتور (CFST)) می‌باشد. ترکیب بتن و فولاد به صورت ستون‌های CFT تا حدود زیادی نگرانی‌های جزئی بابت ضعف سازه‌های اسکلت فلز را در برابر بار آتش مرتفع می‌نماید. اما همچنان رفتار این نوع از ستون‌ها در برابر بارهای خارجی سازه و نیز بار حرارتی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است [۱]. همین مسئله سبب شده است تا تحقیقات مختلفی برای بررسی و ارزیابی ستون‌های CFT و نیز انواع آن تحت برابر بار حرارتی در شرایط مختلف انجام پذیرد.

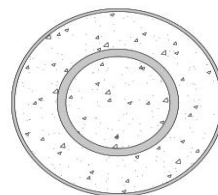
امیرگر از نخستین محققینی بود که به صورت غیرمستقیم به بررسی ستون CFT پرداخت. وی سه ستون فولادی را جهت آزمایش کماتش مورد بررسی قرار داد. پس از انجام آزمایش برای ارزیابی تاثیر بتن، یکی از ستون‌های کماتش یافته را به حالت اولیه بازگردانده و پس از پرمودن ستون با بتن مجدداً مورد آزمایش قرار داد. این آزمایش سرآغازی برای ستون‌های کامپوزیتی فولادی پرشده با بتن بود. وی بعدها تحقیقات خود در زمینه

ستون‌های فولادی پرشده با بتن را گسترش و ادامه داد [۲]. در دهه سی میلادی آزمایشات گوناگونی در آلمان توسط محققین مختلف بر روی ستون‌های پرشده از بتن صورت گرفت. نتیجه این آزمایشات منجر به تدوین بخشی از آیین‌نامه آلمان برای ستون‌های کامپوزیتی گردید [۳]. در دهه‌های اخیر نیز تحقیقات متنوعی در زمینه‌های مختلف ستون‌های CFT انجام شده است. برخی از این تحقیقات در زمینه تاثیر بار حرارتی برای ستون‌های CFT و انواع آن می‌باشد [۴-۵]. در این راستا هو و همکاران از جمله محققینی بودند که تاثیر بار آتش بر روی نوعی از ستون‌های CFST را بررسی نمودند. آن‌ها به ارائه یک روش مدلسازی نوین برای پیش‌بینی پاسخ حرارتی ستون‌های CFST، تحت بار آتش استاندارد با در نظرگیری تعدادی پارامتر مشخص پرداختند [۶]. لو و همکاران در سال ۲۰۱۰ به صورت آزمایشگاهی ستون‌های CFDST تحت بار آتش را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها شش ستون موردنظر را تحت بار آتش قرار داده و پارامترهایی همچون تغییر شکل، مقاومت در برابر آتش، عملکرد ترکیبی فولاد و بتن را بررسی نمودند [۷]. لو و همکاران در تحقیقی دیگر نیز به بررسی آزمایشگاهی رفتار ستون‌های CFDST با بتن تقویت شده با الیاف تحت بار آتش پرداختند. آن‌ها در این تحقیق پاسخ حرارتی و ساختاری ستون را تحت بار آتش مورد مطالعه قرار داده و پارامترهایی همچون حالت شکست، چگونگی توزیع دما، دمای بحرانی و... را بررسی نمودند [۸]. لو و همکاران در سال ۲۰۱۱ نیز یک مدل عددی مبتنی بر المان محدود برای تحلیل و پاسخ حرارتی ستون‌های CFDST ارائه نمودند. سپس نتایج حاصل از مدل عددی را با مدل آزمایشگاهی مقایسه کردند. در نهایت تحلیل و مطالعات پارامتریکی برای ستون‌های CFDST انجام و پیشنهاداتی توسط آن‌ها برای طراحی اینگونه ستون‌ها در برابر حریق ارائه گردید [۹]. تحقیق آزمایشگاهی دیگری در سال ۲۰۱۵ توسط رومرو و همکاران برای ستون‌های CFDST صورت پذیرفت. در این تحقیق شش ستون تحت بار محوری در دماهای مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت [۱۰].

همان‌طور که مشاهده گردید، ضرورت بررسی ستون‌های CFT و انواع آن برای صنعت و مهندسی ساختمان امری مهم و ضروری است. بر این اساس در این مقاله نیز با توجه به تحقیقات گذشته رفتار دو نوع از ستون‌های پرشده با بتن (CFST و CFDST) با در نظرگیری نوع فولاد مصرفی، مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور دو نوع فولاد معمولی و پر مقاومت با مشخصات مکانیکی موردنظر انتخاب شده است. بدین ترتیب بررسی این متغیر بر اساس سه مدل بنا شده که حاصل بکارگیری دو نوع فولاد در لایه خارجی و مقطع داخلی ستون می‌باشد. به بیان دیگر در مدل شماره یک، مقطع داخلی از فولاد معمولی و لایه خارجی ستون از فولاد پر مقاومت است. در مدل شماره دو هر دو مقطع داخلی و خارجی ستون از نوع فولاد معمولی و در مدل شماره سه هر دو مقطع داخلی و خارجی ستون از نوع فولاد پر مقاومت می‌باشد. سایر مشخصات مدل‌های حاضر ثابت و یکسان در نظر گرفته شده تا مقایسه عادلانه‌ای بین مدل‌ها صورت پذیرد. در فرآیند تحلیل مدل‌های حاضر، نیز ابتدا تحلیل حرارتی انجام و مقدار دمای حداکثر برای مدل موردنظر تعیین می‌شود. سپس با حفظ شرایط ناشی از بارگذاری حرارتی در حالت‌های دمای حداقل و حداکثر، تحلیل ستون تحت نیروی محوری تناوبی بر اساس تاریخچه موردنظر انجام خواهد شد. لازم به ذکر است که در فرآیند تحلیل خصوصیات فولاد مصرفی وابسته به دما در نظر گرفته شده است. نتایج دلالت بر تاثیر حرارت در رفتار انواع ستون‌های CFT دارد. همچنین افزایش مقاومت فولاد مصرفی تاثیر قابل توجهی در مقدار شکل‌پذیری مدل‌های حاضر دارد.

۲. مدلسازی، صحت‌سنجی و تحلیل ستون‌های پرشده با بتن

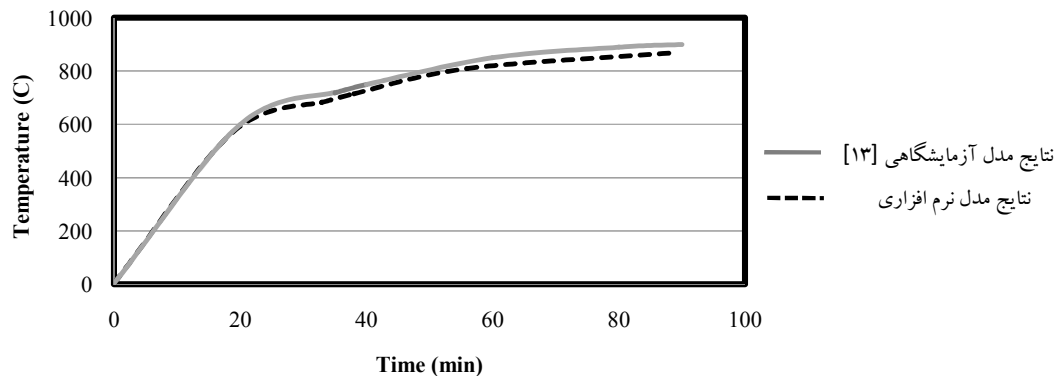
مدل تحلیل سه بعدی اجزای محدود غیرخطی در نرم‌افزار ABAQUS توسط محققین مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و با توجه به انطباق نتایج با واقعیت، عموماً برای شبیه‌سازی رفتار بار آتش در ستون‌های کامپوزیتی استفاده می‌شود [۱۱-۱۲]. بر این اساس در تحقیق حاضر، مدل‌های مذکور برای شبیه‌سازی حالات مختلف ستون‌های CFT بشرح شکل ۱ مورد استفاده قرار گرفته است.



الف - مقطع ستون CFT در حالت دو لایه (حالت A) -CFDST ب - مقطع ستون CFT در حالت تک لایه تقویت شده با آماتور CFST-(B) (حالت B)

شکل ۱ - مقطع عرضی ستون‌ها

در این راستا فرآیند صحت‌سنجی براساس نتایج آزمایشگاهی مرجع [۱۳] انجام شده است. بدین ترتیب نتایج مدل نرم‌افزاری با مدل آزمایشگاهی مرجع [۱۳] بشرح شکل ۲ مقایسه و انطباق نسبی بیانگر صحت مدل نرم‌افزاری می‌باشد. به بیان دیگر همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، نتایج مدل‌سازی در نرم‌افزار ABAQUS تطابق بسیار مناسبی با مدل آزمایشگاهی مرجع یاد شده دارد.



شکل ۲- صحت‌سنجی مدل نرم‌افزاری

پس از تایید مدل نرم‌افزاری و انطباق نتایج عددی با مدل آزمایشگاهی، حالات مختلف مبتنی بر نوع فولاد مصرفی (فولاد معمولی و پرمقاومت) برای ستون‌هایی با مقطع عرضی شکل ۱ دسته‌بندی می‌شوند. لازم به ذکر است که تقسیم‌بندی مدل‌های مختلف، در زیرگروه این حالت براساس نوع فولاد مصرفی بشرح جدول ۱ انجام شده است.

جدول ۱- مدل‌های قرارگیری فولاد مصرفی در حالات کلی

مدل	فولاد مصرفی داخلی و آرمانتورهای داخلی	فولاد مصرفی خارجی
شماره ۱	معمولی	پرمقاومت
شماره ۲	معمولی	معمولی
شماره ۳	پرمقاومت	پرمقاومت

در فرآیند مدل‌سازی در نرم‌افزار برای تمامی شش مدل مذکور (از هر مدل ستون سه نمونه نرم‌افزاری)، ارتفاع ستون برابر ۳۱۵۰ میلی‌متر و قطر غلاف خارجی برابر ۳۵۵/۶ میلی‌متر با ضخامت ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. این در حالی است که در سه مدل ستون حالت A (شکل ۱-الف) غلاف درونی با قطری برابر ۳۲۳/۹ میلی‌متر و ضخامت ۱۰ میلی‌متر و در سه مدل ستون حالت B (شکل ۱-ب) قطر میلگردهای داخلی برابر ۸ میلی‌متر لحاظ شده است. بتن مصرفی نیز با چگالی 2400 kg/m^3 و ضریب پواسون 0.2 تعریف شده و E و α برای بتن بترتیب برابر 2×10^{11} پاسکال و 0.05 در نظر گرفته می‌شود. از سوی دیگر مشخصات فولاد مصرفی نیز با توجه به ساده‌سازی منحنی تنش-کرنش فولاد، بصورت دوخطی (محدوده الاستیک و پلاستیک) مدل شده است. براین اساس ضریب پواسون برای فولاد برابر 0.3 لحاظ می‌شود. سایر مشخصات لازم برای فولاد در محدوده الاستیک مطابق جدول ۲ و مشخصات تکمیلی برای محدوده پلاستیک نیز مطابق جدول ۳ در نظر گرفته می‌شود [۱۴].

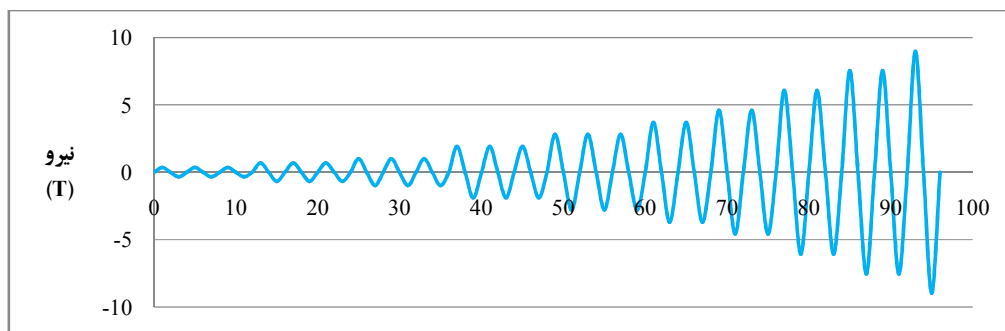
جدول ۲- مشخصات الاستیک فولاد مصرفی

مصلح	مدول الاستیسته (Pa)	تنش تسلیم (MPa)	تنش نهایی (MPa)
فولاد کم مقاومت	2×10^{11}	۵۴۶	۶۴۲
فولاد پر مقاومت	2×10^{11}	۸۲۲	۸۸۱

جدول ۳- مشخصات محدوده پلاستیک فولاد

مصلح	تنش تسلیم (MPa)	کرنش پلاستیک
فولاد کم مقاومت	۲۴۰۰ - ۳۷۰۰	۰ - ۰/۱۹۸۸
فولاد پر مقاومت	۳۶۰۰ - ۵۲۰۰	۰ - ۰/۰۹

لازم به ذکر است که در بارگذاری حرارتی، مدول الاستیسیته و تنش‌های تسلیم و نهایی فولاد متناسب با درجه حرارت تغییر می‌نماید. بطوریکه با افزایش حرارت، مقادیر مذکور کاهش می‌یابند. بر این اساس خصوصیات فولاد مصرفی در نرم‌افزار وابسته به درجه حرارت تعریف شده است. بدین ترتیب در بارگذاری حرارتی برای دمای معمولی (۳۲ درجه سانتیگراد) تنش برابر صفر و برای دمای ذوب فولاد، مقدار تنش برابر تنش تسلیم فولاد لحاظ شده است [۱۵]. از سوی دیگر همان‌طور که پیشتر بیان شد، ابتدا تحلیل حرارتی انجام و مقدار دمای حداکثر تحت بارگذاری مفروض تعیین می‌شود، سپس با حفظ شرایط ناشی از بارگذاری حرارتی تحلیل ستون تحت نیروی محوری تناوبی براساس تاریخچه شکل ۳ در بازه زمانی ۱۰۰ ثانیه صورت خواهد پذیرفت. برای این منظور در تحلیل تحت بارگذاری حرارتی از حالت Heat Transfer و برای تحلیل ستون تحت نیروی محوری از حالت Direct Cyclic استفاده شده است. لازم به ذکر است که در فرآیند تحلیل و مدلسازی، شرایط مرزی انتهایی تمامی مدل‌ها در چهار وجه به صورت گیردار و شرایط مرزی ابتدایی به صورت آزاد در نظر گرفته شده است.



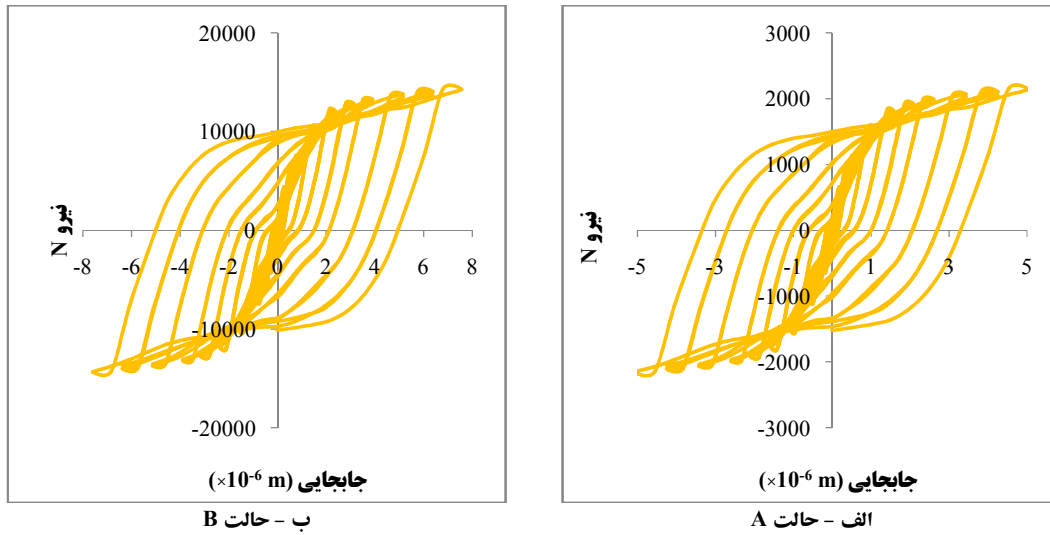
شکل ۳ - تاریخچه بارگذاری اعمال شده در مدلسازی بر حسب زمان - نیرو

۳. بررسی شکل‌پذیری مدل‌ها

با شبیه‌سازی مدل‌های فوق همراه با مشخصات مذکور، تحلیل ستون‌ها تحت بار حرارتی و نیروی محوری تناوبی قابل انجام می‌باشد. نتایج حاصل در هر مدل برای ستون‌های حالت A و B بشرح زیر می‌باشد.

۱.۳. مدل شماره یک

در دو نمونه مدل شماره یک، بار حرارتی به ابتدای ستون (قسمت آزاد ستون) اعمال شده که این شیوه سبب ایجاد تغییرات درجه حرارت از بیشترین مقدار در ابتدای ستون به کمترین مقدار در انتهای ستون (قسمت گیردار ستون) خواهد شد. براین اساس شار حرارتی از محل انتقال حرارت به سمت تکیه‌گاه افزایش یافته و بیشترین اثر را بر روی سطح خارجی خواهد داشت. نتیجه حاصل از تحلیل حرارتی مقطع نشان می‌دهد که بیشترین دما براساس معیار حد گسیختگی مقطع، در هر دو حالت برای مدل شماره یک برابر ۶۰۴ درجه سانتیگراد است. براین اساس با توجه به برابری حداکثر دما، می‌توان بیان نمود که فقط لایه خارجی در انتقال حرارت نقش اساسی دارد. در صورت با توجه به بیشترین مقدار دما براساس تحلیل حرارتی، دمای ۶۰۴ درجه برای مشخصات مصالح وابسته به دما، در نرم‌افزار اعمال می‌شود. سپس با اعمال نیروی محوری تناوبی، نمودار هیستریزس مدل حاضر مطابق اشکال ۴ برای دو حالت مدل شماره یک حاصل خواهد شد.

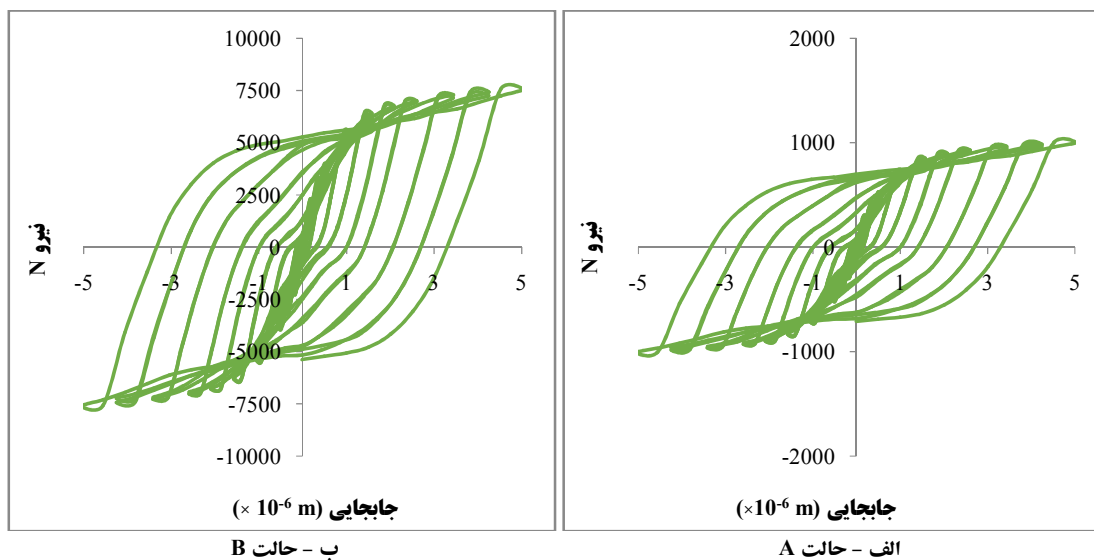


شکل ۴- منحنی‌های هیستریزس حالات مدل شماره یک

اشکال ۴ منحنی‌های هیستریزس مدل‌هایی است که لایه خارجی از فولاد معمولی و لایه داخلی از فولاد پرمقاومت می‌باشد. برای اساس اعمال بار تناوبی به ازای بار حرارتی منجر به منحنی هیستریزس این مدل شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه‌ها قبل از تکمیل فرآیند بارگذاری به واسطه وجود تنش حرارتی به نقطه تسلیم رسیده‌اند. همچنین حالت B یعنی ستون دارای بتن تقویت شده با آرماتور گسترده‌تری از نظر مقادیر نیرو و تغییر مکان دارد.

۲.۳. مدل شماره دو

در حالات مدل شماره دو نیز مشابه مدل پیشین، بار حرارتی به ابتدای ستون اعمال و بدین‌سان تغییر درجه حرارت از بیشترین مقدار در ابتدای ستون به کمترین مقدار در انتهای ستون خواهد بود.

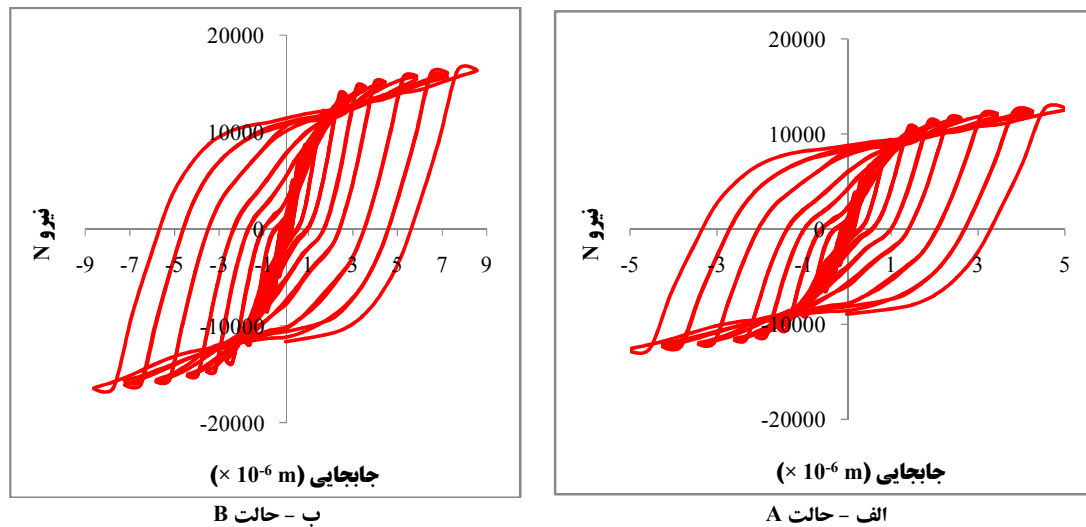


شکل ۵- منحنی‌های هیستریزس حالات مدل شماره دو

در هر دو نمونه این مدل، مقدار دمای حداکثر برابر مقدار ۶۷۳ درجه سانتیگراد نتیجه شده است. براین اساس می توان اذعان داشت که تغییرات درجه حرارت تنها وابسته به لایه خارجی ستون های پر شده با بتن است. همچنین می توان بیان نمود که کاهش مقاومت فولاد مصرفی سبب افزایش تغییرات درجه حرارت شده است. در ادامه مشابه مدل شماره یک، خصوصیات فولاد مصرفی در نرم افزار وابسته به درجه حرارت تعریف می شود. سپس با حفظ شرایط ناشی از بارگذاری حرارتی تحلیل ستون تحت نیروی تناوبی صورت خواهد پذیرفت. بدین ترتیب منحنی هیستریزس حالات A و B مدل شماره دو مطابق اشکال ۵ حاصل می گردد. اشکال ۵ منحنی های هیستریزس حالات مدلی است که لایه خارجی و فولاد داخلی از نوع فولاد معمولی است. براین اساس اعمال نیروی محوری تناوبی با در نظر گیری اثرات بار حرارتی منجر به منحنی هیستریزس این مدل شده است. در این حالت نیز نمونه ها قبل از تکمیل فرآیند بارگذاری به نقطه تسلیم رسیده اند. همان طور که مشاهده می شود، رفتار حالت B دارای مقادیر نیرویی بیشتری بوده و سطح زیرمنحنی هیستریزس بزرگتر از حالت A می باشد.

۳.۳. مدل شماره سه

در مدل شماره سه استفاده همزمان از فولادهای پرمقاومت در لایه خارجی و قسمت داخلی، نتیجه ای بشرح اشکال ۶ را ارائه می دهد. همان طور که در منحنی هیستریزس مدل حاضر مشاهده می شود، در این مدل نیز با توجه به مقادیر نیرو و جابجایی قبل از تسلیم شدن نمونه ها، حالت B رفتار مناسب تری نسبت به حالت A دارد.



شکل ۶- منحنی های هیستریزس حالات مدل شماره سه

در این مدل نیز بار حرارتی مشابه مدل های پیشین اعمال شده است. براین اساس مقدار دمای حداکثر برای هر دو حالت مدل شماره سه برابر ۶۶۶ درجه سانتیگراد نتیجه می شود. همان طور که مشاهده می شود، در این مدل نیز دمای حداکثر برای هر دو حالت A و B دارای مقادیر یکسانی است. این مهم به سبب تاثیر فراوان لایه خارجی در انتقال حرارت می باشد.

۴.۳. تحلیل نتایج

همان طور که در اشکال ۵ مشاهده می شود، عدم استفاده از فولاد پرمقاومت سبب کاهش مقادیر نیرو نسبت به سایر مدل ها شده و با توجه به مقادیر تغییر مکان، شکل پذیری مناسبی در این مدل ها نتیجه شده است. این در حالی است که جایگزینی لایه خارجی با فولاد پرمقاومت سبب افزایش مقادیر نیرو



مطابق اشکال ۴ می‌شود. همچنین استفاده از فولاد پرمقاومت در داخل بتن نیز مقادیر نیرو را بطور چشمگیری افزایش داده است (اشکال ۶). اما مسئله مهم در منحنی‌های هیستریزیس، استهلاک انرژی و نیز شکل‌پذیری می‌باشد. براین اساس در مدل‌های سری A استفاده از فولاد پرمقاومت سبب کاهش سطح زیر منحنی‌های هیستریزیس می‌شود. این مسئله با دقت در اشکال مدل‌های سری A بویژه در مدل شماره سه برای حالت A در شکل ۶-الف قابل مشاهده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، برای مدل شماره سه در حالت A نسبت به سایر مدل‌های سری A مقادیر تغییر مکان ثابت بوده و مقادیر نیرو افزایش یافته که این مسئله کاهش شکل‌پذیری را برای این مدل نتیجه می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در مدل‌های سری A استفاده از فولاد پرمقاومت سبب کاهش شکل‌پذیری ستون می‌شود. این رفتار در مدل‌های سری B با شدت کمتری مشاهده می‌شود. براین اساس استفاده از فولاد پرمقاومت در مدل‌های سری B نیز شکل‌پذیری را کاهش می‌دهد، اما این کاهش بسیار کمتر از مدل‌های سری A است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از آرماتورهای درونی به جای لایه داخلی فولاد، برای ستون‌های CFT عملکرد مناسب‌تری در شکل‌پذیری ستون دارد. از سوی دیگر بررسی مدل‌های سری B نشان می‌دهد که با افزایش مقاومت فولاد و افزایش مقادیر نیرو در منحنی‌های هیستریزیس، مقادیر تغییر مکان نیز افزایش می‌یابد. بنابراین استهلاک انرژی و شکل‌پذیری ستون نیز کاهش چشمگیری ندارد. بطوریکه در مدل شماره سه در مقایسه با مدل شماره دو برای حالت B مطابق اشکال ۶-ب و ۵-ب، عملکرد تقریباً مناسبی برای شکل‌پذیری مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان مدل شماره سه در حالت B را به عنوان مدلی قابل قبول برای طراحی ستون‌های CFT با شکل‌پذیری مناسب پیشنهاد نمود.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله شکل‌پذیری دو نوع از ستون‌های فلزی پرشده با بتن در دو حالت مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور شکل‌پذیری ستون‌ها با توجه به منحنی‌های هیستریزیس ارزیابی شده است. این منحنی‌ها براساس بار حرارتی و نیز بار محوری تناوبی حاصل می‌شود. در این بررسی نوع فولاد مصرفی در دو نوع معمولی و پرمقاومت نیز مورد توجه قرار گرفته است. بدین ترتیب حالت A و B از ستون‌های فلزی پرشده با بتن در سه مدل فولاد مصرفی بررسی شده است. در فرآیند تحلیل و نیز رسم نمودارهای هیستریزیس، ابتدا نمونه تحت بار حرارتی قرار گرفته و با تعیین مقدار دمای حداکثر و نیز وابسته شدن خصوصیات فولاد مصرفی به دما، بار محوری تناوبی نیز اعمال می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که تنها لایه خارجی در انتقال حرارت و نیز بار حرارتی نقش دارد. به بیان دیگر مقطع داخلی با توجه به بتن پیرامون نقش کمتری در انتقال حرارت داشته و لایه خارجی مهمترین عامل در بار حرارتی برای ستون‌های پرشده با بتن می‌باشد. از سوی دیگر بررسی شکل‌پذیری ستون‌های پرشده با بتن نیز نشان می‌دهد که با افزایش مقاومت فولاد، شکل‌پذیری کاهش و مقاومت (توجه به مقادیر نیرو) افزایش می‌یابد. این مهم در حالت A برای تمامی مدل‌ها، به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. اما در حالت کلی استفاده از آرماتور برای تقویت بتن داخلی (حالت B) راهکار مناسب‌تری از لحاظ شکل‌پذیری، استهلاک انرژی و نیز مقاومت می‌باشد. براین اساس ستون‌های حالت B در تمامی مدل‌ها رفتار مناسب‌تری را ارائه نموده‌اند. به بیان دیگر وجود آرماتور برای تقویت بتن داخلی نسبت به وجود لایه پیوسته داخلی رفتار مناسب‌تری را از نظر شکل‌پذیری، استهلاک انرژی و نیز مقاومت ارائه داده است. البته در این مدل‌ها نیز با افزایش مقاومت فولاد مصرفی، شکل‌پذیری کاهش می‌یابد. اما این کاهش با توجه به افزایش مقاومت و نیز سایر پارامترها قابل چشم‌پوشی می‌باشد. بدین ترتیب مدل شماره سه در حالت B بهترین رفتار را از نظر شکل‌پذیری و نیز استهلاک انرژی و حتی مقاومت ارائه داده است.

۵. مراجع

1. Purkiss, J.A. and Li, L.Y. (2014), "Fire Safety Engineering Design of Structures", CRC Press, Taylor & Francis Group, USA.
2. Eggemann, H. (2003), "Development of composite columns. Emperger's effort," Proc. of the First Int. Congress on Construction History, Madrid, 20th-24th January 2003, pp 787-797.
3. Eggemann, H. (2006), "Simplified Design of Composite Columns, Based on a Comparative Study of Building Regulations in Germany and the United States," Proceedings of the Second International Congress on Construction History. Queens' College, Cambridge University: Short Run Press, I, pp 1023-1042.



4. Moliner, V., Espinos, A., Romero, M.L. and Hospitaler, A. (2013), "Fire behavior of eccentrically loaded slender high strength concrete-filled tubular columns," *Journal of Constructional Steel Research*, **83**, pp 137-146.
5. Romero, M.L., Moliner, V., Espinos, A., Ibañez, C. and Hospitaler, A. (2011), "Fire behavior of axially loaded slender high strength concrete-filled tubular columns," *Journal of Constructional Steel Research*, **67**, pp 1953-1965.
6. Hu, Y., Zhao, P., Yang, B. and Dai, G. (2016), "Numerical study on temperature distribution of high-strength concrete-filled steel tubes subjected to a fire," *International Journal of Steel Structures*, **16** (4), pp 1057-1069.
7. Lu, H., Han, L.H. and Zhao, X.L. (2010), "Fire performance of self-consolidating concrete filled double skin steel tubular columns: Experiments," *Fire Safety Journal*, **45**, pp 106-115.
8. Lu, H., Zhao, X.L. and Han, L.H. (2010), "Testing of self-consolidating concrete-filled double skin tubular stub columns exposed to fire," *Journal of Constructional Steel Research*, **66**, pp 1069-1080.
9. Lu, H., Zhao, X.L. and Han, L.H. (2011), "FE modeling and fire resistance design of concrete filled double skin tubular columns," *Journal of Constructional Steel Research*, **67**, pp 1733-1748.
10. Romero, M.L., Espinos, A., Portolés, J.M., Hospitaler, A. and Ibañez, C. (2015), "Slender double-tube ultra-high strength concrete-filled tubular columns under ambient temperature and fire," *Engineering Structures*, **99**, pp 536-545.
11. Espinos, A., Romero, M.L. and Hospitaler, A. (2010), "Advanced model for predicting the fire response of concrete filled tubular columns," *Journal of constructional steel research*, **66**, pp 1030-1046.
12. Hibbitt, D., Karlsson, B. and Sorensen, P. (2005), "*ABAQUS User's Manual. Version 6.5*," ABAQUS. Inc., Providence, RI.
13. Espinos, A., Romero, M.L. and Lam, D. (2016), "Fire performance of innovative steel-concrete composite columns using high strength steels," *Thin-Walled Structures*, **106**, pp 113-128.
۱۴. طالب پور، م. ح. و صادقیان، الف. م. "بررسی رفتار ستون های فولادی پر شده با بتن مسلح (CFT) تحت بارگذاری حرارتی و محوری تناوبی"، سیزدهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ایران ۲۱-۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۱.
15. Qiang, X. (2013), "*Behaviour of High Strength Steel Endplate Connections in Fire and after Fire*," Master of Science in Structural Engineering, Tongji University, China, geboren te Qiqihar, China.