

بررسی برشگیر در ستون های مرکب

مجتبی بابایی^۱. آرمان ختار^۲

۱- دانشجو کارشناسی مهندسی عمران

۲- استادیار

آدرس پست الکترونیک: mojtabababayee13766@gmail.com

چکیده:

امروزه اعضای مرکب فولادی- بتنی به صورت موفقیت آمیزی در پایه، تیر و عرشه پل ها و همچنین ستونها، تیرها و به دلیل شکل پذیری (CFST) دال های ساختمان های بلند مورد استفاده قرار می گیرند. اعضای مرکب فولادی پر شده با بتن و قابلیت جذب و اتلاف انرژی چشمگیر، در ساخت و سازها مورد توجه قرار گرفته اند. اعضای مرکب نه تنها مزایای بسیاری در ساخت دارند بلکه باعث بهبود قابل توجهی در خواص مکانیکی اعضای ساز های در مقایسه با اعضای بتن مسلح و فولادی می شوند. از جمله این مزایا میتوان به سادگی و سرعت در نصب و اجرا، استفاده از اتصالات استاندارد، صرفه جویی اقتصادی در هزینه پروژه، عملکرد مناسب در مقابل نیروهای لرزه ای، مقاومت و شکل پذیری بالا (با حجم کمتر) اشاره نمود. در این مطالعه تأثیر نوع، تعداد و محل کاربرد دو نوع برشگیر در رفتار خمشی، کمانشی و میزان شکل پذیری ستونهای با مقاطع مرکب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از افزایش میزان شکل پذیری، جذب انرژی، مقاومت و بار بحرانی کمانش در ستونهای مرکب با برشگیر نسبت به نوع بدون برشگیر می باشد.

مقدمه:

استفاده از ستونهای فولادی پر شده با بتن از سال ۱۹۵۰ به تدریج رواج یافت و با توجه به مزایای زیاد این ستونها، استفاده از آنها در پلها و ساختمانهای بلند به صورت روزافزون شدت یافت. عملکرد این ستونها توسط تعدادی از محققان در سالهای اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است. تحقیقات اولیه انجام گرفته در سال های ۱۹۶۷ و ۱۹۷۰ روی ستون های CFST در معرض فشار محوری خالص انجام گرفته است که محققان در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که مقاومت فشاری بتن داخل پوسته فولادی افزایش مییابد و تنشهای حلقوی در پوسته فولادی توسعه یافته و سبب کاهش مقاومت تسلیم موثر فولاد ستونها مرکب میگردد. تحقیقات نشان میدهد که اول فولاد تسلیم میشود، سپس بتن به صورت برشی میشکند که بعد از این ظرفیت مقطع به طور قابل توجهی کاهش مییابد و کمانش موضعی نیز در جدار فولادی در محل شکست برشی بتن رخ میدهد. همچنین مطالعاتی در زمینه نمودارهای اندرکنش ستون که رابطه بین لنگر خمشی و نیروی محوری را در نسبتهای مختلف طول ستون به بعد ستون در ستونهای مرکب را نشان میدهد، نیز انجام شده است. در سالهای اخیر نیز مطالعات گستردهای بر روی رفتار و نحوه طراحی ستون های مرکب انجام شده است. در سالهای اخیر استفاده از ستونهای CFST در

پایه های پل به صورت گستردهای در کشورهای همچون ژاپن و چین مورد استفاده قرار میگیرد. در چین برای اولین بار این اعضا در ایستگاه مترو Beijing مورد استفاده قرار گرفت و بعد از آن استفاده از آنها در پلها و ساختمانها رشد قابل توجهی پیدا کرد. مطالعات و بررسیهای انجام شده نشان داده است که جدار فولادی سبب افزایش مقاومت و شکل پذیری بتن در اثر ایجاد محصوریت میشود و هسته بتنی نیز از کمانش به سمت داخل جداره فولادی ممانعت میکند که در این ستونها سبب به وجود آمدن یک سیستم سازههای مناسب شده اند، کاربرد برشگیرها نیز در جداره فولادی باعث جلوگیری و یا به تعویق انداختن کمانش جداره فولادی و همچنین سبب یکپارچگی و چسبندگی فولاد و بتن میشود. مقایسه اقتصادی این ستونها با ستونهای فولادی نشان میدهد که ستونهای مرکب حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد فولاد مصرفی کمتری داشته و از مقایسه ستونهای مرکب با ستونهای بتنی دیده میشود که در ستونهای مرکب حدود ۶۵ تا ۸۰ درصد بتن مصرفی کمتری داشته ولی مصرف فولاد حدود ۱۰ درصد بیشتر خواهد بود. با توجه به این که انجام آزمایشها در این زمینه بسیار وقتگیر و هزینه بر بوده، و از طرفی این آزمایشها نمیتوانند از توزیع تنشها در داخل ستون اطلاعات مناسبی را ارائه دهند بنابراین، از یک آنالیز سه بعدی غیرخطی در نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS، جهت بررسی رفتار خمشی، کمانشی و شکلپذیری ستونهای مرکب تقویت شده با دو نوع برشگیر متفاوت استفاده گردیده است.

۲- مدلسازی نمونه ها در نرم افزار ABAQUS

برای مشبندی نمونه ها از المان هشت گرهی Solid برای هسته بتنی، و از المان چهارگرهه shell برای پوسته فولادی و برشگیرها استفاده گردیده است.

۳- صحت سنجی مدل اجزاء محدود با نمونه آزمایشگاهی

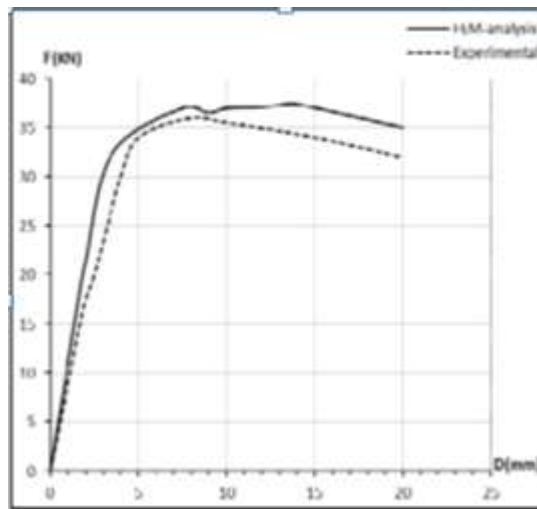
صحت مدل اجزاء محدود در مقابل یکی از چهار نمونه ستون مرکب آزمایشگاهی ساکینو و ایشیباشی، کنترل گردیده است. در شکل ۲ منحنی پوش نیرو- تغییر مکان که بر اساس مدل تحلیلی حاصل گشته است، با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردیده است. همان طور که مشاهده میشود تطابق مناسبی بین نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی وجود دارد. اختلاف جزئی به علت عدم دقت مدل رفتاری بتن و فولاد نسبت به واقعیت میباشد. نقاط اکسترمم محلی که در منحنی مشاهده میگردند در ارتباط با ترکخوردگی بتن و کمانشهای موضعی فولاد میباشد.

۴- نحوه اعمال بارگذاری نمونه ها در نرم افزار

نمونه ها تحت بار جانبی استاتیکی افزایش یابنده، از طریق اعمال تغییر مکان جانبی رفت و برگشتی به انتهای نمونه قرار گرفته اند، شکلهای ۳ و ۴ بارگذاری چرخه ها با اعمال جابه جایی در ۲۱ چرخه ابتدایی که هر چرخه تا ۳ بار در جهت رفت و ۳ بار در جهت برگشت تکرار شدهاند، و در چرخه های انتهایی به علت اعمال زیاد جابه جایی چرخه ها فقط یکبار تکرار گردیده اند.

۵- مشخصات مصالح

مصالح به کار رفته در مدلسازی شامل بتن با مقاومت $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ برای هسته بتنی و فولاد ST37 برای برشگیرها و جداره فولادی میباشد، و فرض بر این شده است که بتن در مقاومتی حدود ۰.۳ f_c ترک میخورد.



شکل ۲. مقایسه اجزا محدود و نمونه آزمایشگاهی

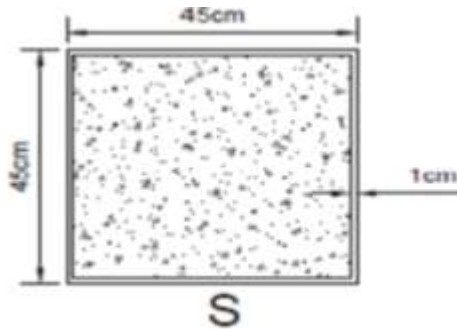


شکل ۳. نمونه CFST تحت بار جانبی افزایشده

۶- مشخصات هندسی نمونه ها

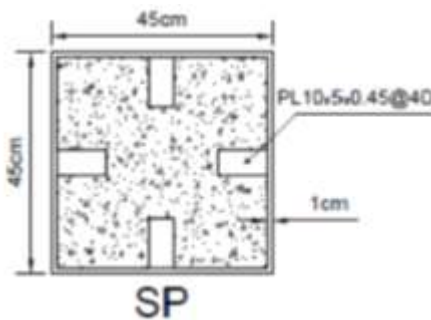
مدلسازی اعضا در سه گروه مورد بررسی قرار گرفته است که به شرح زیر میباشند:

الف- ستون مربعی به ابعاد 45×45 سانتیمتر و طول ۴ متر با شرایط مرزی یک طرف کاملاً گیردار و یک طرف گیردار غلطکی و با پوسته فولادی به ضخامت یک سانتیمتر و بدون برشگیر، شکل ۵.



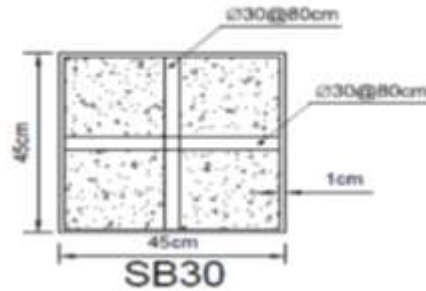
شکل ۵. بدون برشگیر (S)

ب- ستون مربعی به ابعاد ۴۵×۴۵ سانتیمتر و طول ۴ متر با شرایط مرزی یک طرف کاملاً گیردار و یک طرف گیردار غلطکی با پوسته فولادی به ضخامت یک سانتیمتر و با برشگیرهای صفحه‌ای به ضخامت ۰/۴۵ سانتیمتر و ابعاد ۱۰×۵ سانتیمتر، شکل ۶.



شکل ۶. نمونه با برشگیر صفحه ای (SP)

ج- ستون مربعی به ابعاد ۴۵×۴۵ سانتیمتر و طول ۴ متر با شرایط مرزی یک طرف کاملاً گیردار و یک طرف گیردار غلطکی با پوسته فولادی به ضخامت یک سانتیمتر و با برشگیرهای از نوع بولت به قطر ۳۰ میلیمتر، که بولتها نیز جهت تبدیل به المان پوسته در نرم افزار با صفحات به ابعاد (۴۵×۳×۲/۵) سانتیمتر مدلسازی شده اند، شکل ۷.



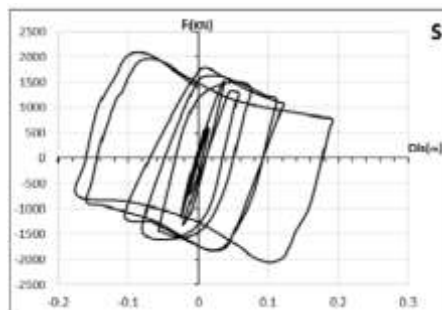
شکل ۷. نمونه با برشگیرهای بولت (SB30)

۷- فرضیات تحلیل

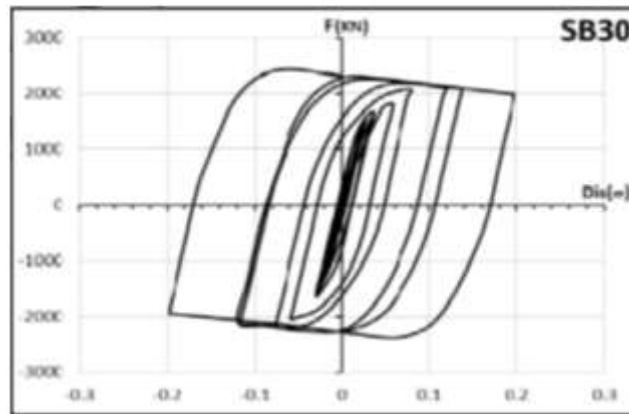
در مدلسازی نمونه ها فرض بر این شده است که لغزش بین پوسته فولادی و سطح بتن صورت بگیرد. ضریب اصطکاک 0.3 برای لغزش بین بتن و پوسته فولادی در نظر گرفته شده است، و برشگیرها در داخل بتن مدفون و کاملاً با بتن درگیر شده اند. برای مدلسازی رفتار فولاد بجای منحنی واقعی تنش-کرنش آن، از منحنی دو خطی با سخت شوندگی یک درصد و از معیار فون-مایسز جهت گسیختگی مصالح استفاده گردیده است. نمونه ها تحت آنالیز استاتیکی قرار گرفته و اثرات غیرخطی هندسی و مصالح هم در مدلسازیها اعمال گردید.

۸- مقایسه منحنیهای هیستریزس در نمونه ها

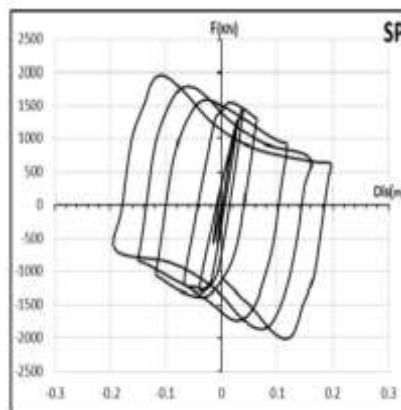
با مقایسه منحنی های چرخهای هیستریزس نمونه ها مشاهده میشود که نمونه (SB30) با برشگیرهای از نوع بولت نسبت به دو نمونه دیگر دارای سیکلهای منظمتر و بیشتر و سطح زیر منحنی بیشتری میباشد که نشانه شکلپذیرتر بودن آن میباشد. همچنین مقاومت نهایی آن حدود 2400 کیلونیوتن میباشد که نسبت به نمونههای S و SP که دارای مقاومت نهایی 2000 کیلونیوتن میباشد حدود 17 درصد بیشتر میباشد. منحنی های هیستریزس نمونه (SP) نمونه دارای برشگیرهای صفحه ای نسبت به نمونه (S) نمونه بدون برشگیر دارای چرخه های منظم تر و افت ناگهانی کمتر میباشد، که این نشانه شکلپذیرتر بودن این نمونه میباشد.



منحنی هیستریزس نمونه (S)



شکل ۱۰. منحنی هیستریزیس نمونه (SB30)



۱۱_منحنی هیستریزیس نمونه (S)

۹_ بررسی و مقایسه مقدار تنش فون- مایسز در پوسته فولادی و برشگیرها

با توجه به مقایسه مقدار تنش فون- مایسز در پوسته فولادی و برشگیرهای دو نمونه دیگر مشاهده گردید که ناحیه بحرانی تنش حدوداً در یک پنجم دو طرف ابتدا و انتهای ستون میباشد، پس با توجه به این که بتن و برشگیرهای خارج از این دو ناحیه دارای تنش بحرانی کمتری میباشد، بنابراین، پیشنهاد میشود که برشگیرها بیشتر در این دو ناحیه قرار گیرند. میتوان به جای قرار دادن برشگیرها در طول کل عضو، تعداد بیشتری از آنها را با فواصل کمتر در ابتدا و انتهای ستون قرار داد و از آنجایی که طول ناحیه بحرانی (LO) طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، در ستونهای بتنی در حوالی اتصالات تیر- ستون و اتصال ستون به فونداسیون ماکزیمم سه مقدار زیر میباشد، بنابراین، پیشنهاد میشود توزیع برشگیرها بیشتر در این نواحی و

با فاصله کمتری انجام پذیرد. $L_0 = \max[Ln/6, D, 450mm]$ ارتفاع خالص ستون Ln و D بعد بزرگتر مقطع ستون میباشد.

۱۰- مقایسه میزان جذب نیروی برشی در پوسته فولادی و برشگیرهای نمونه ها

با توجه به مقایسه میزان نیروی برشی در نمونه ها و برشگیرها مشاهده گردید که میزان نیروی برشی در پوسته فولادی نمونه بدون برشگیر (S) نسبت به دو نمونه دارای برشگیر حدود ۳۱ درصد بیشتر میباشد که این مقدار اختلاف میتواند ناشی از جذب برشی باشد که توسط برشگیرها در دو نمونه دارای برشگیر انجام میگردد. همچنین، نیروی برشی جذب شده توسط برشگیرهای نمونه SB30 حدود ۲۸ درصد بیشتر از نمونه SP میباشد.

۱۱- آنالیز مدال و تعیین بار بحرانی کمانش خطی و غیرخطی نمونه ها

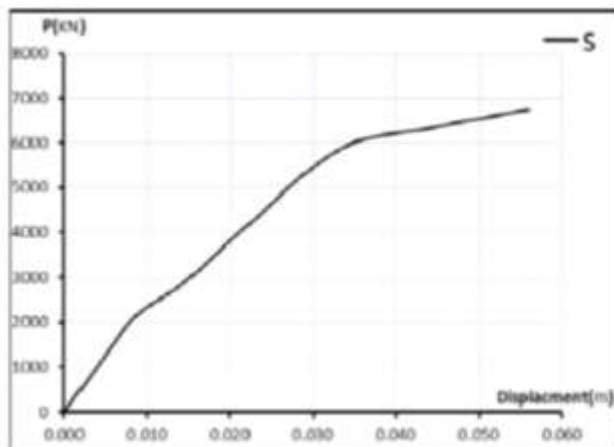
مقادیر بار بحرانی کمانش خطی نمونه ها در نمونه های SP_S.Tube و SB30 ترتیب با ۳۱۱۲۰، ۲۵۰۰، ۵۰۵۰ کیلونیوتن به دست آمده است، همانطور که مشاهده میشود مقدار بار بحرانی در نمونه های پر شده با بتن نسبت به نمونه قوطی شکل چندین برابر افزایش یافته که به دلیل به تعویق افتادن کمانش پوسته فولادی توسط هسته بتنی در نمونه های مرکب میباشد، و همچنین بار بحرانی در دو نمونه دارای برشگیر نسبت به نمونه بدون برشگیر (S) حدود ۲۰ درصد بیشتر شده که این به علت به تعویق افتادن کمانش کلی و موضعی پوسته فولادی توسط برشگیرها میباشد. با توجه به این که سه عامل زیر سبب به وجود آمدن پدیده کمانش در عضو میشوند از عامل سوم برای ایجاد کمانش در مدلها استفاده گردیده است تا مقدار بار بحرانی کمانش در حالت غیرخطی در نمونه ها تعیین شود.

۱- در ساختار قطعه وجود عیب و نقص هندسی

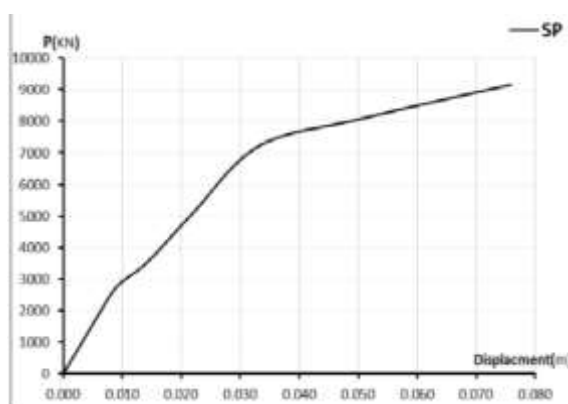
۲- خروج از مرکزیت بار اعمالی

۳- وجود بارهای جانبی کوچک

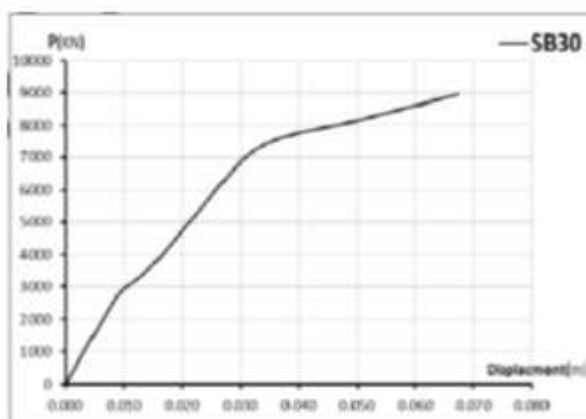
با اعمال بار محوری فشاری بزرگتر از بار بحرانی کمانش در حالت خطی، و اعمال بار جانبی ناچیز در حدود ۰/۰۱ این با محوری، بار بحرانی کمانش نمونهها در حالت غیرخطی تعیین گردیده است. با توجه به نمودارهای شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ مشاهده میشود که افتادگی نمودار در نمونههای SP,S و SB30 در بارهای محوری ۲۲۵۰، ۲۹۰۰ و ۲۸۵۰ کیلونیوتن شروع شده است، بنابراین، این مقادیر بیانگر بار بحرانی کمانش در حالت غیرخطی در نمونه ها میباشد. پس با توجه به مقادیر ب دست آمده مشاهده میشود که بار بحرانی کمانش در حالت غیرخطی در دو نمونه دارای برشگیر نسبت به نمونه بدون برشگیر به طور میانگین حدود ۲۲ درصد بیشتر میباشد.



شکل ۱۲. تعیین بار بحرانی کمانش غیر خطی در نمونه (S)



۱۳- تعیین بار بحرانی کمانش غیر خطی در نمونه (SP)



شکل ۱۴. تعیین بار بحرانی کمانش غیر خطی در نمونه (SB30)

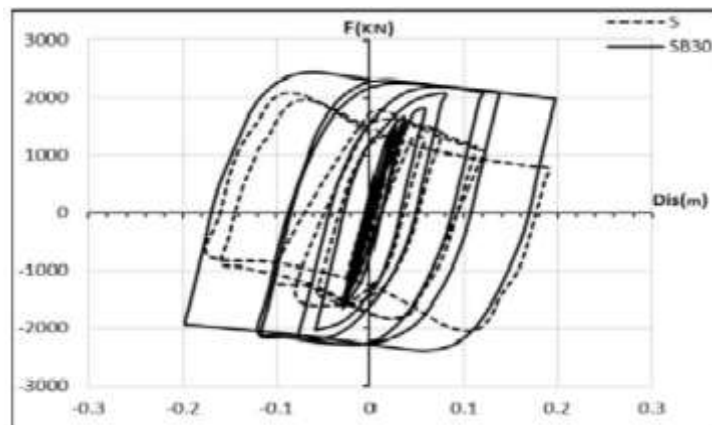
۱۲_ بحث و بررسی نتایج به دست آمده

براساس خروجی های به دست آمده از تحلیل اعضای مرکب میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

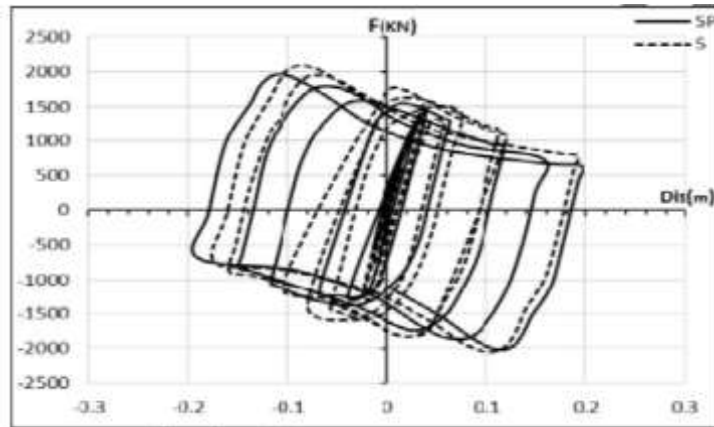
۱- پرکردن مقاطع قوطی شکل و توخالی با بتن، از کمناش موضعی به طرف داخل پوسته فولادی جلوگیری نموده و در نتیجه کمناش موضعی پوسته فولادی را به تعویق میاندازد.

۲- تعداد چرخه های بارگذاری جانبی متحمل شده توسط نمونه های مرکب به مراتب بیشتر از ستونهای بتنی معمولی است، که ناشی از محصوریت هسته بتن توسط پوسته فولادی است و باعث افزایش قابل توجه در شکلپذیری و جذب انرژی میگردد، که امروزه در سازه های مقاوم در برابر زلزله دارای اهمیت فراوانی است.

۳- با مقایسه منحنی های چرخه های هیستریسیس نمونه ها مشاهده میشود که نمونه (SB30) نمونه با برشگیرهای از نوع بولتنسبت به دو نمونه دیگر دارای سیکلهای چرخه های منظمتر و بیشتر، افت ناگهانی کمتر در مقاومت و سطح زیر منحنی بیشتری میباشد که نشانه شکلپذیرتر بودن آن نسبت به دو نمونه دیگر میباشد. پس توصیه میشود بیشتر از برشگیرهای نوع بولت (نمونه SB30) استفاده گردد، شکلهای ۱۵ و ۱۶ و ۱۷.

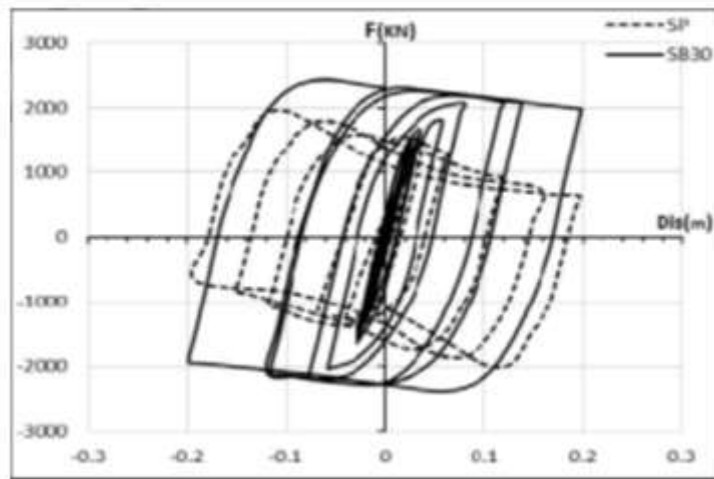


15-مقایسه منحنی های هیستریسیس نمونه (SB30) و (S)



16-مقایسه منحنی های هیستریزس نمونه (SP) و (S)

16-مقایسه منحنی های هیستریزس نمونه (SP) و (S)

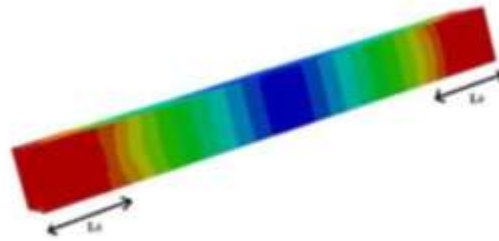


شکل ۱۷.مقایسه منحنی های هیستریزس نمونه (SP) و (SB30)

۴-مقاومت نهایی نمونه SB30 نسبت به نمونههای S و SP به طور میانگین حدود ۱۷ درصد بیشتر میباشد.

۵- منحنیهای چرخهای نمونه (SP) نمونه دارای برشگیرهای صفحه‌ای نسبت به نمونه (S) بدون برشگیر دارای چرخهای منظمتر و بیشتر، و افت ناگهانی کمتر در مقاومت میباشد، که نشانه‌ی شکلپذیرتر بودن این نمونه نسبت به نمونه بدون برشگیر (S) میباشد، شکل ۱۶.

۶- با بررسی کانتورهای تنش در هسته بتنی، پوسته فولادی و برشگیرها مشاهده شد که ناحیه بحرانی تنش حدوداً در محدوده یک پنجم دو طرف ابتدا و انتهای ستون میباشد، لذا پیشنهاد میشود که برشگیرها بیشتر در این دو ناحیه قرار گیرند. میتوان به جای قرار دادن برشگیرها در طول کل عضو، تعداد بیشتری از آنها را با فواصل کمتر در ناحیه بحرانی، قرار داد، شکل ۱۸.



شکل ۱۸. طول ناحیه بحرانی تنش ها در پوسته فولادی

۷- از بررسی و مقایسه نیروی برشی در پوسته فولادی و برشگیرها در سه نمونه مشاهده شد که میزان نیروی برشی پوسته فولادی در نمونه بدون برشگیر (S) نسبت به دو نمونه دارای برشگیر به طور میانگین حدود ۳۱ درصد بیشتر میباشد که این اختلاف می تواند ناشی از جذب برشی باشد که توسط برشگیرها در دو نمونه دارای برشگیر انجام گرفته است. همچنین نیروی برشی جذب شده توسط برشگیرهای نمونه SB30 حدود ۲۸ درصد بیشتر از برشگیرهای نمونه SP بوده است.

۸- بار بحرانی کمانش در نمونههای مرکب نسبت به نمونه قوطی شکل پنج برابر شده که این به دلیل به تعویق افتادن کمانش پوسته فولادی توسط هسته بتنی در نمونههای مرکب میباشد، همچنین بار بحرانی کمانش در دو حالت خطی و غیرخطی در دو نمونه دارای برشگیر نسبت به نمونه بدون برشگیر (S)، حدود ۲۲ درصد افزایش یافت.

منابع

- AISC (2010), "Specification for structural steel buildings, American Institute of Steel Construction", Chicago, IL. Abaqus Standard, Users manual, version 6.10.1. Karlsson and Sorensen.
- Bridge, RQ. (1976), "Concrete filled steel tubular columns", Report No. R283, School of Civil Engineering, University of Sydney, Sydney, Australia
- Cai, SH. (1987), "Ultimate strength of concrete filled tube columns", Composite Construction in Steel and Concrete, Proc. of an Engineering Foundation Conference, Dale Buckner, C. and Viest, I. M., Eds, Henniker, ASCE, New York, pp.702-727.
- Tomii, M. and Sakino, K. (1979) "Elasto-plastic behavior of concrete filled square steel tubular beam-columns", Transactions of the Architectural Institute of Japan, No. 280, pp. 111-120.
- Tao, Z. Uy, B. Liao, FY. Han, LH. (2011) "Nonlinear analysis of concrete-filled square stainless steel stub columns under axial compression", Journal of Constructional Steel research, Vol. 67, No.11, pp. 1719-1732.
- Wu, B. Zhao, XY. Zhang, JS. (2012) "Cyclic behavior of thin-walled square steel tubular columns filled with demolished concrete lumps and fresh concrete", Journal of Constructional Steel research, Vol. 77, pp.69-81.
- Yu, M. Zha, X. Ye, J. Li, Y. (2013) "A unified formulation for circle and polygon concrete filled steel tube columns under axial compression", Engineering Structures, Vol. 49, pp.1-10.
- Chung, K. Park, S. Choi, S. (2008) "Material effect for predicting the fire resistance of concrete-filled square steel tube column under constant axial load", Journal of Constructional Steel research, Vol. 64, No. 12, pp. 1505-1515.
- Galambos, TV. (1988), "Guide to stability design criteria for metal structure", John Wiley & Sons, Inc., New York, 789 PP.
- Gardner, NJ. and Jacobson, ER. (1967) "Structural behavior of concrete filled steel tubes", Journal of the American Concrete Institute, Vol. 64, No. 11, pp. 404-413.
- Knowles, RB. and Park, R. (1970) "Axial load design for concrete filled steel tubes", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 96, No. ST10, pp. 2125-2153.
- Kitada, T. (1998) "Ultimate strength and ductility of state-of-the-art concrete-filled steel bridge piers in Japan", Journal of Engineering Structures, Vol. 20, No. 4-6, pp. 347-354.
- Prion, HL. and Boehme, J. (1989) "Beam column behavior of steel tubes filled with high strength concrete", Proceedings of the Fourth International Colloquium, Structural Stability Research Council, New York, pp. 439-450.
- Sakino, k. Ishibashi, H (1985) "Experimental studies on concrete filled square steel tubular short columns subjected to cyclic shearing force and constant axial force", Translation of the Architectural Institute of Japan (Tokyo), No.353, pp. 81-89.