

دیوار برشی فولادی با ستون مرکب تحت اثر بارهای تناوبی دینامیکی

هاشم شریعتمدار^۱، مجید عباس زادگان^۲

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد،

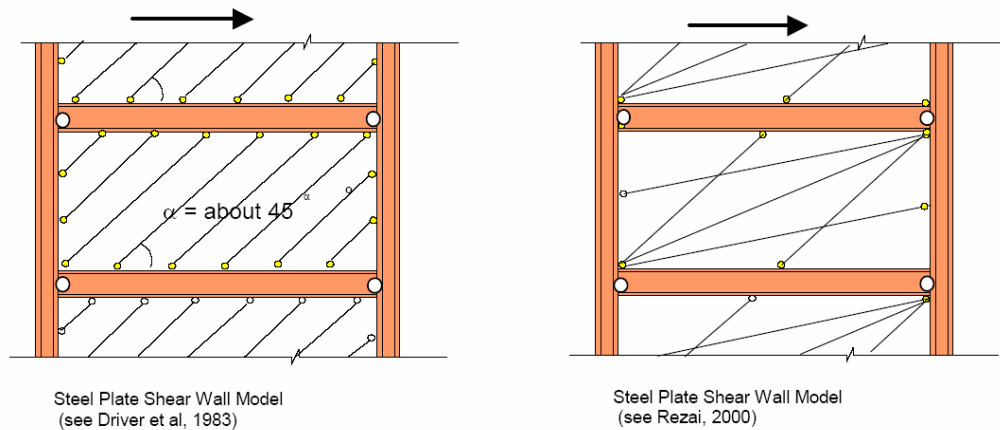
خلاصه

در این مقاله مدل های متفاوت دیوار برشی فولادی کامپوزیت با تغییر در پارامترهای مؤثر در رفتار این نوع سیستم ها، تحت بارهای دینامیکی چرخه ای آنالیز غیر خطی گردید. نتایج نشان می دهد که افزایش در پارامترهای: f_c' ، ضخامت ورق ستون کامپوزیت، ضخامت بال تیرها و ستون های I شکل و ضخامت دیوار برشی، شکل پذیری را کاهش داده که حداکثر آن مربوط به افزایش مقاومت بتن می باشد. افزایش پارامترهای فوق منجر به افزایش مقاومت دینامیکی و استهلاک انرژی می گردد، که بیشترین آن برای افزایش ضخامت ورق دیوار برشی می باشد.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی کامپوزیت، ستون کامپوزیت، منحنی هیستریزس، استهلاک انرژی، ضریب شکل پذیری

۱. مقدمه

دیوارهای برشی فولادی، شامل یک ورق فولادی، دو ستون مرزی و تیرهای افقی طبقات می باشد. این مجموعه همانند شاهتیرهای تیر ورق عمودی که به صورت گیردار به زمین متصل هستند، رفتار می کنند. ستونها همچون بالهای این شاهتیر عمودی و ورق دیوار فولادی همچون جان شاهتیر عمل می کند، عملکرد تیرهای افقی طبقات همچون سخت کننده ها در شاهتیرها است [۱ و ۲]. دیوارهای برشی فولادی بسیار ساده اجرا می شوند و در کارگاههای ساختمانی به راحتی قابل ساخت می باشند، به هیچ نوع فن آوری جدیدی احتیاج ندارد. اساس ایده دیوارهای برشی فولادی، استفاده از میدان کشش قطری است که پس از کماتش ورق فولادی، ایجاد می گردد. این ایده در ۱۵ سال اخیر بطور جدی مورد توجه قرار گرفته است [۱]. برای طراحی دیوارهای برشی فولادی می توان ورقهای فولادی را با یک سری المانهای خرپایی مدل نمود. دو نوع از مدلهای پیشنهاد شده در دانشگاه های کانادا در شکل ۱ نشان داده شده است [۲].



شکل ۱ - مدل سازی دیوار برشی فولادی با المان خرپایی [۲]



آزمایشهای زیادی توسط محققین در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است که همگی توانائی لرزه ای - دینامیکی بالای این سیستم را نشان می دهد، از جمله این آزمایش ها می توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱- آزمایشات دیوار برشی فولادی در کانادا [۳]

۲- آزمایشات در ژاپن [۴]

۳- آزمایشات در انگلستان [۵]

۴- آزمایشات در آمریکا [۶]

۵- آزمایشات در دانشگاه برکلی بر روی دیوارهای برشی فولادی و مرکب [۷]

نتایج این آزمایشات نشان می دهد که این سیستم می تواند به عنوان یک سیستم کاملاً شکل پذیر و مقاوم در برابر بارهای جانبی عمل کند. در آئین نامه کانادا دیوارهای برشی فولادی، به سه نوع با انعطاف پذیری زیاد، با انعطاف پذیری متوسط و معمولی تقسیم بندی شده اند [۲]. جدول ۱ خصوصیات اصلی این سه سیستم و **R** های مربوط به آنها را نشان می دهد. لازم به ذکر است، که ضریب **R** در آئین نامه کانادا، حدود نصف ضریب **R** آئین نامه های آمریکایی می باشد، که این به سبب تعاریف مختلف پارامترها و تفاوت ناچیز در مقادیر متغیرها می باشد. به همین دلیل در جدول ۱ ضریب **R** آئین نامه کانادا با **RCAN** و ضریب **R** آئین نام آمریکا با **RUS** نشان داده شده است.

جدول ۱- سیستم دیوار برشی فولادی در آئین نامه کانادا و فاکتور **R** آن [۲]

Type of Steel Plate Shear Wall	Requirement	R _{CAN} (Canadian)	R _{US} (US Equivalent)
Ductile	The frame containing the wall should be ductile moment frame	4.0	8.0
Nominally Ductile	The frame containing the wall should be nominally ductile moment frame (Intermediate in the U.S. definition).....	3.0	6.0
Ordinary	No specific requirement for frame. It can be a frame with pin connections.	2.0	4.0

کلیات طراحی دیوارهای برشی فولادی در دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود ایران در زیر ارائه شده است [۸]. یک دیوار برشی فولادی سوراخ دار یا بدون سوراخ باید در چهار طرف خود دارای عناصر لبه ای (تیرها و ستون ها) بوده و به آن ها جوش شده باشد. دیوارهای برشی فولادی باید طوری طراحی شوند که بارهای لرزه ای را به تنهایی یا به همراه سایر اعضای سیستم مقاوم جانبی تحمل نمایند. عناصر لبه ای باید همانند تیرها و ستون ها مورد ارزیابی قرار گیرند. در این آئین نامه دستورالعمل محاسبه سختی به روش استاتیکی و دینامیکی خطی، روش استاتیکی غیر خطی و روش دینامیکی غیر خطی ارائه گردیده است و همچنین دستورالعمل محاسبه مقاومت روش استاتیکی و دینامیکی خطی، روش استاتیکی و دینامیکی غیر خطی ارائه گردیده است. معیارهای پذیرش در این آئین نامه روش استاتیکی و دینامیکی خطی، روش استاتیکی و دینامیکی خطی می باشد.

یکی از معایب دیوارهای برشی فولادی با سخت کننده روی ورق فولادی هزینه زیاد و کارگاهی قابل توجه می باشد. جهت بهبود رفتار دیوارهای برشی فولادی بدون سخت کننده و ایجاد میدان کشش بعد از تسلیم جهت استهلاک انرژی ایده هایی مطرح شده است. یکی از مهمترین روشها کاهش نیروهای محوری در ستونهای اطراف ورق فولادی در یک سیستم دیوار برشی فولادی می باشد. در روش فوق ستونهای مرکب یک مقطع فولادی جعبه ای یا لوله ای که از بتن پر شده است و ستونهای فولادی شکل که دیوار برشی فولادی به آنها متصل می شود، سیستم فوق را تشکیل می دهند. بارهای ثقلی عموماً توسط ستونهای مرکب به اعضاء افقی (تیرهای بالا و پایین) و تیر رابط که قابلیت استهلاک انرژی بالائی نیز دارد منتقل می شود و بدون اینکه باعث کاهش شکل پذیری صفحه فولادی شوند. کرنش های تولید شده را به پی منتقل می کنند.

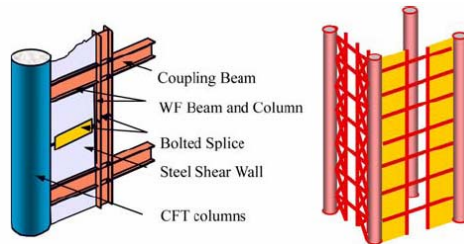
این مقاله مربوط به رفتار دیوار برشی فولادی با ستونهای مرکب بتنی، تحت بارهای تناوبی لرزه ای می باشد. در سال ۲۰۰۷ میلادی، آزمایش هایی بر روی دیوار برشی فولادی با ستونهای مرکب بتنی توسط آستانه صورت گرفت [۹]. جهت بررسی صحت عمل مدلسازی و کالیبره کردن مدل‌های المانهای محدود در این مقاله از نتایج آزمایشهای فوق استفاده شده است. هدف از پژوهش بررسی پارامترهای مؤثر اجزاء تشکیل دهنده بر رفتار دیوارهای فولادی برشی کامپوزیت تحت اثر بارهای دینامیکی تناوبی و تأثیر هر یک از پارامترها روی ظرفیت شکل پذیری سازه و مقاومت نهایی سیستم می باشد. در این پژوهش، پس از بررسی و تأیید صحت مدلسازی، با تغییر پارامترهای اصلی مشتمل بر ضخامت دیوار برشی فولادی، ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت، ضخامت بال تیر و ستون **I** شکل و مقاومت مشخصه بتن " f'_c " ستون کامپوزیت به بررسی رفتار مدل‌های فوق و مقایسه



آنها با یکدیگر پرداخته شده است. منحنی های هیسترسیز با توجه به متغیرهای فوق برای حالت های مختلف بدست آمده است، مبتنی بر نتایج منحنی های هیسترسیز پاسخ تناوبی- لرزه ای بدست آمده برای هر یک از مدل های فوق شکل پذیری سازه و مقاومت نهایی سیستم محاسبه، برآورد و ارزیابی گردیده است. تمامی مدل های سازه ای فوق تحت اثر بارهای تناوبی دینامیکی، آنالیز تاریخچه زمانی غیر خطی شده اند.

۲. آزمایش بر روی دیوارهای برشی فولادی مرکب

در سال ۲۰۰۷ میلادی آزمایشی بر روی دیوار برشی فولادی مرکب توسط پروفیسور آستانه [۹] انجام گرفت. این سازه شامل یک ورق فولادی لوله ای می باشد که داخل آن از بتن پر شده است همچنین ستونها و تیرهای I شکل که داخل این ستونها دیوار برشی فولادی چسبانده شده است. مدل آزمایش مانند شکل ۲ می باشد. مشخصات مدل در جدول ۲ می آید.

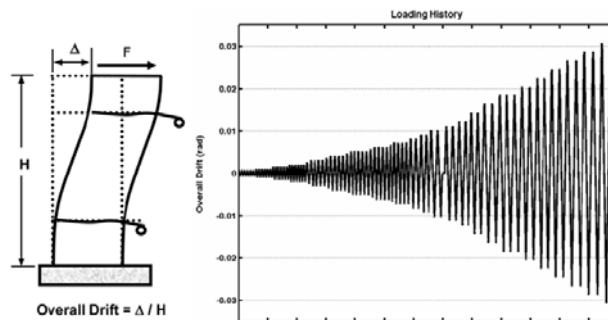


شکل ۲- آزمایش دیوار مرکب برشی فولادی در سال ۲۰۰۷ توسط آستانه [۹]

جدول ۲- مشخصات دیوار برشی فولادی مرکب [۹]

مقطع تیر و ستون I شکل	قطر ستون لوله ای	ضخامت ورق در ستون لوله ای	ضخامت دیوار برشی
۷۱۸×۵۶	۶۱۰ ^{mm}	۸ ^{mm}	۶ ^{mm}

این سازه تحت بار تاریخچه زمانی شکل ۳ قرار گرفته است که به بالای سازه وارد می گردد.



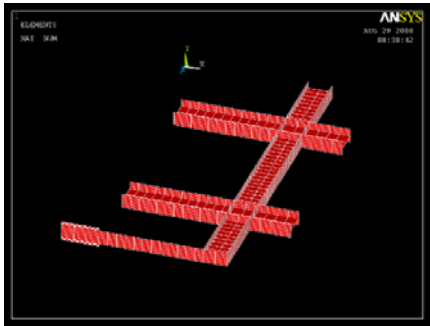
شکل ۳- تاریخچه بارگذاری سیستم دیوار برشی فولادی مرکب [۹]

۳. نحوه مدل سازی

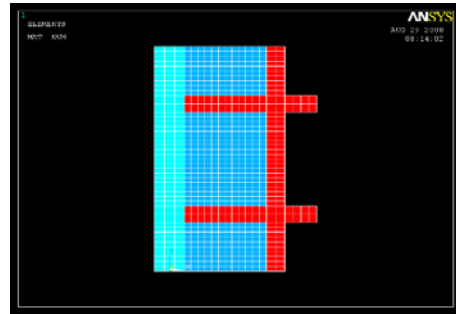
مدلسازی توسط برنامه ANSYS که دارای توانایی تحلیل دینامیکی غیر خطی (مصالح و هندسی) تاریخچه زمانی می باشد، انجام گرفته است. انتخاب کار پژوهشی آزمایشگاهی جهت بررسی صحت مدلسازی آزمایش دیوارهای برشی فولادی کامپوزیت که در سال ۲۰۰۷ میلادی توسط آستانه [۹] در دانشگاه برکلی آمریکا انجام گرفت مبنای صحت مدلسازی قرار گرفت این آزمایش در قسمت قبل توضیح داده شده است.



مدلسازی دقیقاً مانند مدل آزمایشگاهی ساخته شده است. ترکیب اجزاء (تیر، ستون، صفحه فولادی، ستون مرکب) و ابعاد این مدل در شکل ۲ و جدول ۱ نشان داده شده است. بار روی مدل کامپیوتری بصورت اعمال تغییر مکان شکل ۳ می باشد. در این مدل دو المان Solid45 و Shell181 استفاده شده است. برای مدل سازی تیر و ستونهای فلزی I شکل، دیوار برشی فولادی و ورق فلزی دور ستون کامپوزیت از Shell 181 و برای بتن ستون کامپوزیت از المان Solid45 استفاده شده است. مقاومت مشخصه بتن، f'_c ، در قسمت بررسی صحت مدل اجزای محدود دیوار برشی فولادی مرکب ۲۱ MPa در نظر گرفته شده است. در مراحل بعد با تغییر f'_c از ۱۵MPa تا ۴۰MPa تاثیر مقاومت بتن بر رفتار سازه مورد بررسی قرار گرفت. در مورد المانهای فولادی در تمامی اجزاء سیستم فوق از خواص غیر خطی دینامیکی استفاده شده است. خواص مصالح دیوار برشی فولادی منطبق بر خواص مصالح بکار رفته در تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده توسط آستانه می باشد [۹]. شکلهای ۴ و ۵ نشان دهنده مش بندی مدل می باشد.

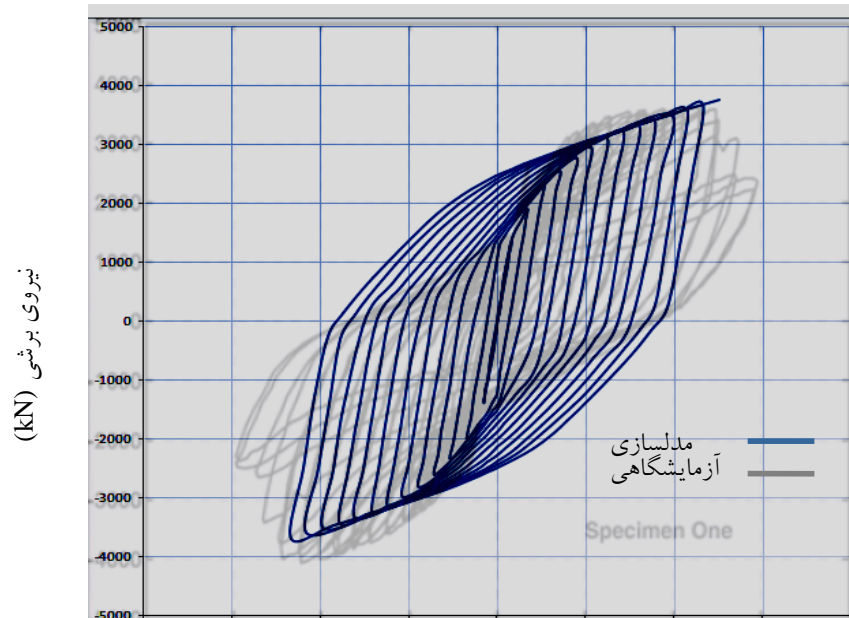


شکل ۵- مش بندی تیر و ستون فلزی



شکل ۴- مش بندی کلی دیوار برشی فولادی مرکب

از مقایسه منحنی هیسترسز بدست آمده از مدل ANSYS با منحنی هیسترسز آزمایش دیوار برشی فولادی مرکب به دست آمده از مدل ANSYS و درک رفتاری از این مدل و مقایسه آن با رفتار واقعی نمونه آزمایشگاهی که توسط آستانه [۹] انجام گردیده است مورد ارزیابی و اثبات شده است. شکل ۶ مقایسه منحنی هیسترسز نمونه آزمایشگاهی و مدلسازی شده را نمایش می دهد.



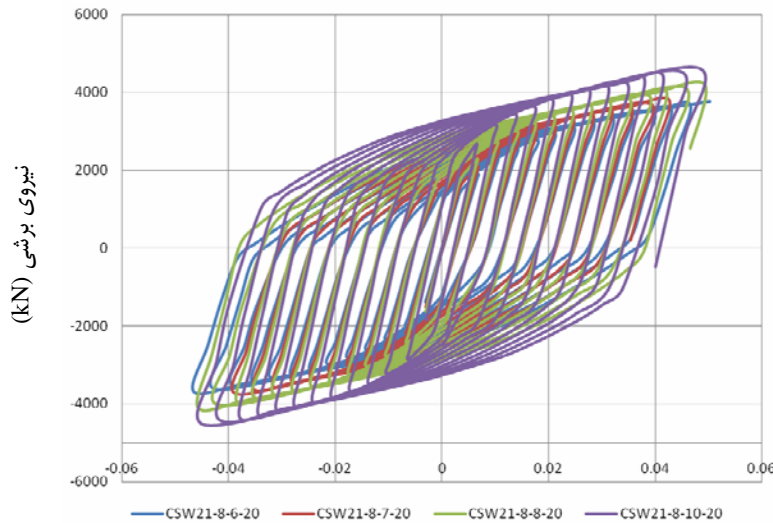
تغییر مکان نسبی طبقه دوم

شکل ۶ - مقایسه منحنی هیسترسز نمونه آزمایشگاهی و مدلسازی شده

۴. آنالیز مدلها و تحلیل نتایج

مدلهای کامپیوتری به صورت $CSWM - T_C - T_W - T_{bc}$ نامگذاری شده اند که CSW بیانگر دیوار برشی مرکب، M بیانگر مقاومت بتن استفاده شده در مدل است (۱۵ معرف بتن با مقاومت مشخصه 21 MPa ، ۲۱ معرف بتن با مقاومت مشخصه 21 MPa و بهمین ترتیب برای ۳۵، ۴۰) حرف T_C ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت که برابر ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ میلیمتر می باشد را بیان می کند. T_W ضخامت ورق فولادی دیوار برشی که مقادیر ۶، ۷، ۸ و ۱۰ میلیمتر را دارا می باشد و T_{bc} ضخامت بال تیر و ستونهای I شکل می باشد که مقادیر 15 mm ، 20 mm ، 25 mm و 30 mm میلیمتر انتخاب گردیده است.

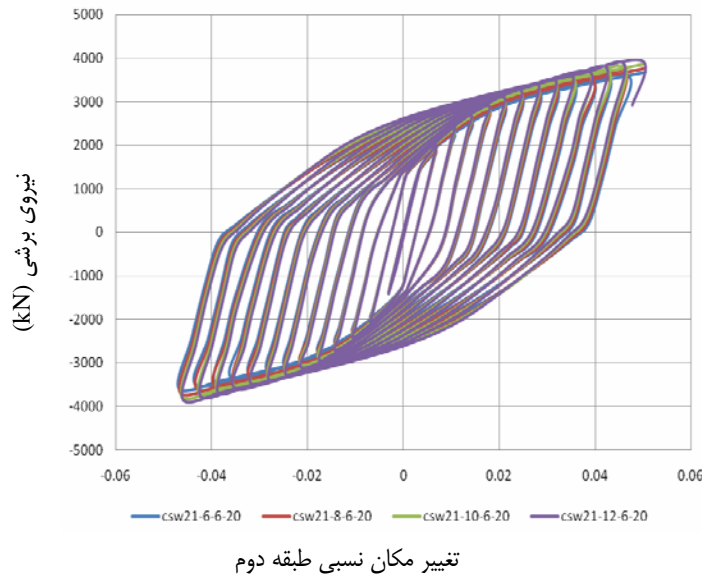
منحنی های پاسخ هیسترسیز مدل های با ضخامت دیوار برشی فولادی برای ضخامت های 6 mm ، 7 mm ، 8 mm و 10 mm در شکل ۷ نمایش داده شده است. شکل عمومی حلقه های منحنی های هیسترسیز دوکی شکل اند که نشان دهنده قابلیت استهلاک انرژی سیستم فوق می باشد. مشابه بودن شکل عمومی پاسخ هیسترسیز برای تمامی ضخامت های دیوار برشی نشان می دهد که مکانیزم رفتاری سیستم فوق با تغییر در ضخامت ورق فولادی دیوار تغییر نمی کند. لذا مکانیزم های استهلاک انرژی بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی قابل تعمیم برای ضخامت های دیگر نیز می باشد. با توجه به شکل می توان دریافت با افزایش ضخامت دیوار برشی فولادی سطح زیر منحنی هیسترسیز افزایش می یابد. در تمامی سیکل های پاسخ با افزایش ضخامت دیوار برشی فولادی مقاومت نهایی افزایش می یابد.



تغییر مکان نسبی طبقه دوم

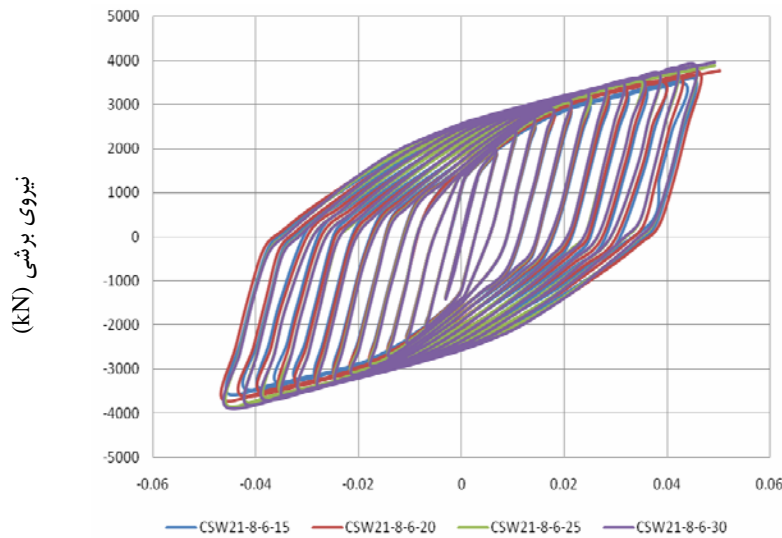
شکل ۷- مقایسه منحنی های پاسخ هیسترسیز مدل های با ضخامت مختلف دیوار برشی فولادی

منحنی های پاسخ هیسترسیز مدل های با ضخامت های 6 mm ، 7 mm ، 8 mm ، 10 mm و 12 mm ورق دور ستون کامپوزیت در شکل ۸ با هم مقایسه شده اند. مشابه بودن منحنی های هیسترسیز و افزایش جذب و استهلاک انرژی با افزایش ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت برای این سیستم مشهود است. حد الاستیک تقریباً ثابت بوده و افزایش ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت تاثیری بر آن ندارد. همچنین تغییر مکان نسبی نهایی سازه در اثر افزایش ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت تغییر چندانی نمی کند. با افزایش ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت سختی اتصال تیر طبقات به ستون زیاد شده و لذا استهلاک انرژی در نقاط دیگر شکل خواهد گرفت. با افزایش ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت مقدار کل انرژی مستهلک شده افزایش می یابد.



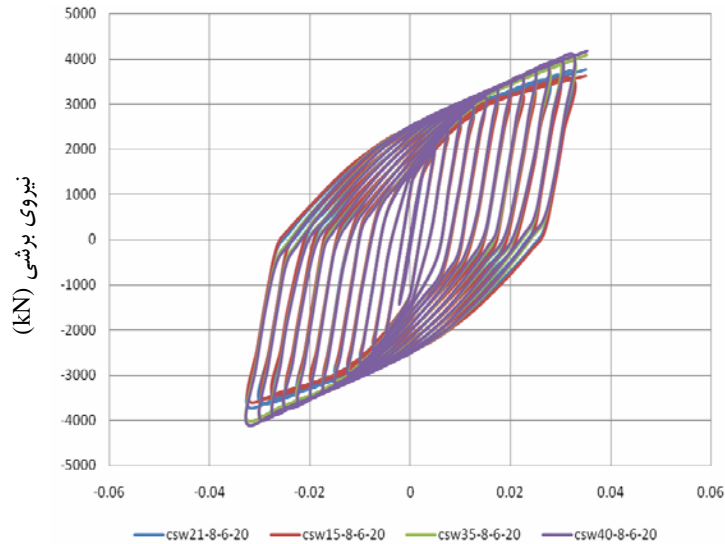
شکل ۸ - منحنی های پاسخ هیسترسیز مدل های با ضخامت های مختلف ورق دور ستون کامپوزیت

منحنی های پاسخ هیسترسیز مدل های با ضخامت های 15mm تا 30mm برای بال تیر و ستون I شکل در شکل ۹ دیده می شود. در تمامی منحنی های هیسترسیز می توان موارد زیر را مشاهده کرد. شکل عمومی حلقه های منحنی های هیسترسیز دوکی شکل اند که نشان دهنده قابلیت استهلاک انرژی سیستم فوق می باشد. مشابه بودن شکل عمومی پاسخ هیسترسیز برای تمامی ضخامت های دیوار برشی نشان می دهد که مکانیزم رفتاری سیستم فوق با تغییر در ضخامت ورق فولادی دیوار تغییر نمی کند. لذا مکانیزم های استهلاک انرژی بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی قابل تعمیم برای ضخامت های دیگر نیز می باشد. با افزایش ضخامت دیوار برشی فولادی سطح زیر منحنی هیسترسیز و مقاومت نهایی افزایش می یابد. در تمامی منحنی ها درسیکلهای اول رفتار الاستیک دیده می شود.



شکل ۹ - مقایسه منحنی های پاسخ هیسترسیز مدل های با ضخامت های مختلف تیر و ستون

منحنی های پاسخ هیستریز مدل های با مقاومت مشخصه بتن های 15 MPa تا 40 MPa در شکل ۱۰ با هم مقایسه شده اند. جذب و استهلاک انرژی سیستم با افزایش مقاومت مشخصه بتن افزایش می یابد. با افزایش مقاومت مشخصه بتن از 15 MPa به 21 MPa حد تسلیم نمونه افزایش یافته ولی بعد از آن ثابت باقی می ماند. افزایش مقاومت مشخصه بتن تاثیری چندانی بر تغییر مکان نسبی نهایی سازه ندارد. زیرا تغییر مکانهای نهایی، بیشتر وابسته به گسترش نواحی تسلیم در اعضاء فولادی سیستم فوق می باشد که در سیکل های آخر مستقل از بتن ستون مرکب عمل می کند



تغییر مکان نسبی طبقه دوم

شکل ۱۰ - مقایسه منحنی های پاسخ هیستریز مدل های با مقاومت مشخصه بتن متفاوت

۵. خلاصه ی بررسی و تحلیل نتایج

با توجه به تغییر پارامترهای اصلی به بررسی و مقایسه رفتار مدلها با یکدیگر و همچنین تحلیل نتایج پرداخته شده است. منحنی های هیستریز و توانمندی در استهلاک انرژی در مورد هر یک از پارامترهای اصلی با هم مقایسه شد

به علت آنکه بخشی از شکل پذیری در ناحیه اتصال تیر به ستون کامپوزیت که اجازه تغییر شکل ستون کامپوزیت را دارد فراهم می شود بطوریکه با افزایش مقاومت بتن سهم شکل پذیری ناشی از دوران اتصال تیر به ستون کامپوزیت کاهش داده می شود، باعث کاهش شکل پذیری کل سیستم می گردد. به دلیل آنکه سهم شکل پذیری سازه بیشتر متأثر از تسلیم ورق فولادی دیوار برشی و تسلیم تیر رابط می باشد، بنابراین همین طور که انتظار می رود تغییرات در ضخامت بال تیر و ستون I شکل و ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت تاثیر زیادی بر شکل پذیری سازه ندارد. به دلیل افزایش ضخامت دیوار برشی فولادی سختی سازه بیشتر شده و این مساله باعث کاهش نواحی تسلیم و همچنین کاهش گسترش ناحیه پلاستیک شده که نتیجه تغییر شکلهای سازه که بیشترین تاثیر را از کرنشهای پلاستیک صفحه فولادی می گیرند کاهش داده می شود و نتیجتاً ضریب شکل پذیری سازه کاهش می یابد. با توجه به اینکه بیشتر مکانیزم استهلاک انرژی در ورق فولادی دیوار برشی به علت شکل گرفتن مکانیزم میدان کشش و همچنین گسترش مفصل پلاستیک در تیرهای رابط رخ می دهد. افزایش مقاومت بتن تنها در ایجاد مفصل و گسترش آن در اتصال تیر به ستون مرکب نقش عمده ای دارد که این مقدار انرژی مستهلک شده به طور کلی در مقایسه با مکانیزمهای ذکر شده خیلی قابل توجه نیست. نتیجه اینکه افزایش مقاومت بتن جهت بهبود رفتار لرزه ای تاثیر مثبت چندانی نداشته است و فقط چنانچه نیاز مقاومتی جهت بارهای ثقلی باشد توصیه می شود.

۶. نتیجه گیری



با توجه به آنالیزهای دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی و منحنی های پاسخ و با اهمیت به ظرفیت شکل پذیری سیستم فوق نتایج زیر به همراه روشهای بهبود در طراحی ارائه شده است.

۱- سیستم لرزه ای فوق با تمامی جزئیات مدلسازی گردید، تطابق نتایج مدل کامپیوتری با نمونه آزمایشگاهی نشان می دهد که مدلسازی از صحت و دقت بالایی برخوردار می باشد.

۲- در تمامی منحنی های هیسترسیز پاسخ با افزایش تعداد سیکلها سختی سازه کاهش می یابد که مبین گسترش حیطه تسلیم در دیوار برشی فولادی و تیرهای رابط است. منحنی ها از نوع پاسخ برشی با شیب باربرداری نسبت قائم بوده که توانمندی نمونه را در پاسخ به بارهای لرزه ای و استهلاک انرژی نشان می دهد. نمونه دارای خاصیت جذب و استهلاک بالا می باشد که سطح بالای زیر منحنی گویای ادعای فوق می باشد.

۳- اثر مقاومت مشخصه بتن داخل ستون کامپوزیت در مقاومت دینامیکی نمونه ها با مقاومت بتن بالاتر کم می باشد. بنابراین بنظر می رسد که افزایش مقاومت بتن به مقادیر بیشتر از مقاومت مشخصه 35 MPa تاثیری قابل توجهی در افزایش مقاومت لرزه ای نهائی نمونه ندارد.

۴- مقاومت نهائی نمونه با ضخامت حداقل ورق دور ستون کامپوزیت (6 mm) تفاوت زیادی با مقاومت نهائی نمونه با ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت 12 mm ندارد. بنابراین اثر ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت در مقاومت دینامیکی نهائی سیستم قابل توجه نمی باشد.

۵- افزایش ضخامت ورق دور ستون کامپوزیت (از 6 mm به 12 mm) افزایش 17 قابل توجهی در انرژی مستهلک شده توسط سیستم دیوار برشی مرکب دارد. بنابراین افزایش ضخامت ورق ستون فوق منجر به بهبود رفتار لرزه ای می گردد.

۶- مقاومت نهائی نمونه با افزایش ضخامت بال تیرها و ستونهای I شکل تا 20 mm افزایش می یابد. درحالیکه برای مقادیر بیش از 30 mm قابل توجه نیست، بنابراین، افزایش ضخامت بال تیرها و ستونهای I شکل به مقادیر بیشتر از 25 mm تاثیری قابل توجهی در افزایش مقاومت نهائی نمونه ندارد. همچنین افزایش ضخامت فوق تا 25 mm ، افزایش زیادی در استهلاک انرژی داشته و با افزایش بیش از 25 mm مقدار استهلاک انرژی ثابت می ماند بنابراین افزایش ضخامت فوق به بیش از 25 mm بهبودی در رفتار نداشته و توصیه نمی گردد.

۷- افزایش ضخامت دیوار برشی منجر به افزایش خیلی زیاد استهلاک انرژی و همچنین بیشترین افزایش در مقاومت نهائی نمونه در مقایسه با پارامترهای دیگر داشته بنابراین بهترین تاثیر در بهبود پاسخ لرزه ای با افزایش ضخامت ورق فولادی حاصل می گردد.

۵. مراجع

۱. صبوری قمی، سعید. "سیستم های مقاوم در برابر بارهای جانبی، مقدمه ای بر دیوارهای برشی فولادی" انتشارات انگیزه، سال ۱۳۸۰
2. Astaneh-Asl. A (2001). "Seismic Behavior and Design of Steel Shear Walls". Steel TIP~ Report. Structural Steel Educational Council, Moraga. California July.
3. Tinier, P. A. and Kulac, G.!, (1983) "Experimental Study of Steel Plate Shear Walls", Structural Engineering Report No. 114, University of Alberta, Canada,
4. Takanashi, Y., Takemoto, T., and Tagaki, M. (1973), "Experimental Study on Thin Steel Shear Walls and Particular Bracing under Alternative Horizontal Load" Preliminary Report, IABSE, Symp. On Resistance and Ultimate Deformability of structures Acted on by Well-defined Repeated Loads, Lisbon. Portugal.
5. Sabouri-Ghomi. S. and Roberts. T.M. (1992). "Nonlinear Dynamic Analysis of Steel Plate Shear Walls Including Shear and Bending Deformations", Engineering Structures, 14, no. 5. PP. 309-317.
6. Elgaaly, M. and Caccese, V., (1993) "Post-buckling Behavior of Steel-Plate Shear Walls under Cyclic Loads", 1. of Str. Engrg. ASCE. 119, n. 2. PP. 588-605.
7. Caccese. V. and Elgaaly. M., (1993) "Experimental Study of Thin Steel-Plate Shear Walls Under Cyclic Load", 1. of Sir. Engrg., ASCE. 119. N. 2. PP. 573-587
۸. دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود ایران، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، ۱۳۸۵
9. Qihong zhao and Abolhassan Astaneh-ASL. (2007) " seismic Behavior of steel shear wall systems and Application of smart structures Technology" steel structures 7 (2007)61-67