



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

زمان چاپ: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰

شماره مجوز مجله: ۸۰۴۰۰

مدلسازی و بررسی تاثیرات جنس و مقاومت فولاد بر شکل پذیری و رفتار سازه های فولادی در زمان زلزله

احمد امید^۱ مجتبی حسینی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشگاه غیر دولتی و غیر انتفاعی، مؤسسه آموزش عالی جویندگان علم

۲- دکتری مهندسی عمران- سازه، استادیار دانشگاه غیر دولتی و غیر انتفاعی، مؤسسه آموزش عالی جویندگان علم

چکیده

ایران جزء ده کشور بلاخیز و ششمین کشور زلزله خیز دنیاست که زلزله مسبب بیشترین تلفات انسانی در آن می باشد و کمربند زلزله ۹۰ درصد از خاک کشور ما را در بر گرفته است. بنابراین با در نظر گرفتن آسیب های وارده به ساختمان های مختلف، با مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای سازه ها، از وقوع تلفات جانی در مقیاس وسیع می توان جلوگیری نمود. با گسترش تکنولوژی و شهرنشینی، ساختمان های با طرح های متنوع معماری طراحی و اجرا می شوند. فولاد از مهم ترین مصالح ساختمانی است. مشخصات مهم فولاد که آن را نسبت به سایر مصالح ساختمانی ممتاز ساخته است مقاومت زیاد، شکل پذیری و یکسان بودن مقاومت آن در فشار و کشش می باشد. یکی از این روشها استفاده از المان های قطری (مهاربند) به عنوان اعضای سازه ای الحاقی جهت افزایش سختی، استهلاک انرژی و کنترل تغییر شکل نسبی طبقات هست. در این پژوهش به مدلسازی و بررسی تاثیرات جنس و مقاومت فولاد بر شکل پذیری و رفتار سازه های فولادی در زمان زلزله پرداخته شده است. در این پژوهش آسیب پذیری لرزه ای یکی از تیپ های ساختمانی رایج در کشور، یعنی سازه های فولادی دارای سیستم قاب خمشی ویژه مورد بررسی قرار گرفته است و با استفاده از نرم افزار آباکوس به شبیه سازی پژوهش پرداخته می شود. کلمات کلیدی: مقاومت فولاد، شکل پذیری، رفتار سازه های فولادی، زمان زلزله.

۱- مقدمه

با توجه به واقع شدن ایران بر روی یکی از دو کمربند زلزله خیز جهان و وجود گسل های فراوان، وقوع زلزله در فلات ایران امری طبیعی است. ایران جزء ده کشور بلاخیز و ششمین کشور زلزله خیز دنیاست که زلزله مسبب بیشترین تلفات انسانی در آن می باشد و کمربند زلزله ۹۰ درصد از خاک کشور ما را در بر گرفته است. بنابراین با در نظر گرفتن آسیب های وارده به ساختمان های مختلف، با مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای سازه ها، از وقوع تلفات جانی در مقیاس وسیع می توان جلوگیری نمود [۱]. با گسترش تکنولوژی و شهرنشینی، ساختمان های با طرح های متنوع معماری طراحی و اجرا می شوند. بعضی از این ساختمان ها بدلیل پیچیدگی معماری آن دارای نا منظمی بوده و از لحاظ ژئوتکنیکی بر روی بستر خاک نرم اجرا می شوند [۶]. در طراحی سازه ها از اثر اندرکنش خاک و سازه صرف نظر می شود. در این حالت پاسخ سازه متاثر از خواص دینامیکی خود سازه است و خصوصیات لایه های خاک زیر سازه، تاثیر بر پاسخ سازه ندارد. در هنگام وقوع زلزله در نظر گرفتن، اثرات متقابل خاک-سازه حائز اهمیت می باشد و رفتار سازه را به مقدار قابل توجهی تحت تاثیر قرار می دهد [۲]. فولاد از مهم ترین مصالح ساختمانی است. مشخصات مهم فولاد که آن را نسبت به سایر مصالح ساختمانی ممتاز ساخته است مقاومت زیاد، شکل پذیری و یکسان بودن مقاومت آن در فشار و کشش می باشد [۵]. مهم ترین مشخصه مکانیکی فولاد نمودار تنش - کرنش



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

آن می‌باشد که از روی آن تنش تسلیم و یا تنش جاری شدن به دست می‌آید. سازه‌های فولادی مشتمل بر تعدادی تیر و ستون به شکل قاب و نیز شامل تعدادی تقویت‌کننده، به‌منظور ایستایی بیشتر می‌باشد. بدیهی است انتقال بارهای افقی و قائم از طریق این اجزاء صورت می‌گیرد [۳]. کشور ما جز کشورهایی است که در اثر زلزله خسارت‌های مالی و جانی بسیاری دیده است به همین دلیل توجه به سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. در ساختمان‌های فولادی سیستم قاب خمشی به دلیل شکل‌پذیری مناسب و امکان اتلاف زیاد انرژی زلزله سیستم مطلوب و مناسب به شمار می‌رود. مشکل اصلی این سیستم در تغییر مکان جانبی و به عبارتی عدم سختی کافی در مقابل نیروهای جانبی می‌باشد که برای رفع این مشکل از ترکیب سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی و مهاربند همگرا استفاده می‌شود [۴]. برخی از ساختمان‌های فولادی موجود در کشور به دلایلی همچون عدم رعایت ضوابط طراحی و یا ضعف‌های اجرایی در مقابل زلزله بسیار آسیب‌پذیر بوده و نیاز به بهسازی لرزه‌ای دارند. همچنین در گذشته مبانی آییننامه‌های طراحی براساس روش نیرو و قوی ساختن اعضا به منظور تحمل نیرو بوده است؛ اما مبانی بسیاری از آییننامه‌های طراحی جدید بر اساس عملکرد و تاکید بر کاهش نیروی وارده به سازه در هنگام وقوع زلزله می‌باشد. در این پژوهش به مدلسازی و بررسی تاثیرات جنس و مقاومت فولاد بر شکل‌پذیری و رفتار سازه‌های فولادی در زمان زلزله پرداخته می‌شود.

۲- تحقیقات گذشته

فلاحی و همکاران در سال ۱۳۹۹، بررسی تاثیر میراگرهای خمشی-برشی بر شکل‌پذیری سازه‌های فولادی با استفاده از روش المان محدود پرداخته‌اند، در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که یکی از شیوه‌های نوین کنترل ارتعاشات لرزه‌ای در سازه‌ها، بکارگیری ابزارهای مستهلک‌کننده انرژی به ویژه میراگرهای فلزی می‌باشد. آنها به بررسی تاثیر یکی از این ابزار به نام میراگر خمشی-برشی بر میزان شکل‌پذیری قاب‌های فولادی پرداخته‌اند. کلیه تحلیل‌ها با استفاده از روش اجزاء محدود و نرم افزار آباکوس انجام گرفته و نوع تحلیل نیز استاتیکی غیرخطی بوده است. نتایج تحلیل مدل‌ها نشان داد با استفاده از میراگرهای خمشی-برشی می‌توان شکل‌پذیری قاب‌های فولادی را افزایش داد. بر اساس نتایج بدست آمده، بهترین محل قرارگیری میراگر، قسمت‌های ابتدایی و انتهایی تیر بوده و با افزایش طول دهانه و طول میراگر، مقادیر شکل‌پذیری افزایش می‌یابند [۷].

شیرزاد و ایمانی در سال ۱۳۹۷، به بررسی پژوهشی با عنوان ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های فولادی نامنظم به واسطه تغییر شکل صفحه سیستم باربر جانبی پرداختند. به منظور ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های فولادی نامنظم به واسطه تغییر صفحه در سیستم باربر جانبی ابتدا با توجه به ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ و مبحث دهم از مقررات ملی سازه‌های مورد نظر مدل شده و تحلیل و طراحی می‌گردند. سازه‌های بدون تغییر صفحه سیستم باربر جانبی که به منظور مقایسه با سازه‌های با تغییر در صفحه سیستم باربر جانبی مدل خواهند شد، به صورت استاتیکی معادل تحلیل شده و سازه‌های نامنظم نیز به روش دینامیکی طیفی در مقابل بارهای جانبی تحلیل می‌شوند. پس از اتمام طراحی اولیه سازه‌ها با روند فوق، ارزیابی عملکرد سازه‌ها با توجه به اصول طراحی بر اساس عملکرد و دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود و با تحلیل‌های غیرخطی استاتیکی در نرم افزار SAP2000 انجام می‌گیرد. در نهایت سطح عملکرد سازه‌های نامنظم با سطح عملکرد سازه‌های منظم مشابه و نیز سطح عملکردی آیین‌نامه ۲۸۰۰ مقایسه شد. با توجه به نتایج بدست آمده، در تمامی سازه‌های طراحی شده بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ اعم از منظم و نامنظم، تغییر مکان نسبی جانبی طبقات در نقطه عملکرد سازه‌ها کمتر از حد مجاز تعیین شده برای سطح عملکرد ایمنی جانی در دستورالعمل بهسازی قرار دارد. می‌توان نتیجه گرفت مدل‌های مورد بررسی دارای سختی جانبی کافی برای تامین سطح عملکرد ایمنی جانی می‌باشند. در نهایت به عنوان نتیجه کلی، سازه‌های فولادی نامنظم به واسطه تغییر صفحه در سیستم باربر جانبی در صورتی که بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی تحلیل و طراحی شوند، به نحوی که تمامی تقاضای لرزه‌ای ناشی از نامنظمی شناسایی شده و در طراحی



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

اعضا موثر باشند، دسترسی به سطح عملکرد مورد انتظار استاندارد ۲۸۰۰ که ایمنی جانی در سطح خطر زلزله طرح است، مقدور خواهد بود [۱۰].

مازا در سال ۲۰۱۹، به بررسی پژوهشی با عنوان طراحی لرزه ای بر اساس جابجایی برای موقعیت سازه ها با نامنظمی پرداختند. روش طراحی بر اساس جابجایی در سازه های نامنظم روش بسیار کارآمد و مفید می باشد. روش تحلیل پوش آور روشی مناسب برای تحلیل و آنالیز برای اینگونه از سازه ها می باشد. در این پژوهش به مطالعه یک سازه دو طبقه با پلان L شکل در کشور ایتالیا پرداخته شده است. در این سازه از بادبند به عنوان سیستم باربر جانبی استفاده شده است. برای قابلیت اعتماد در سازه از روش های تحلیل دینامیکی استاتیکی غیر خطی استفاده می شود. با انجام تحلیل های مختلف شاخص آسیب پذیری های مختلف نیز مشخص می گردد [۹].

همای^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۹، در تحقیقی در این مقاله، عملکرد لرزه ای احتمالاتی ساختمان های فولادی نامناسب، با توجه به اثرات متقابل ساختار خاک، ارزیابی می شود. توزیع های نامنظم مختلفی از خواص ساختاری، از جمله جرم، سختی و مقاومت در امتداد جبهه سه بعدی مقاوم در برابر فولاد در نظر گرفته شده است. مدل عنصر محدودی از خاک خاک با عناصر جامد زیر ساختار ایجاد شده است. رفتار مواد غیرخطی خاک نیز در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل پویای غیر خطی افزایشی برای ارزیابی عملکرد ساختاری انعطاف پذیر پایه در چارچوب مهندسی زلزله مبتنی بر عملکرد احتمالی انجام شد. با توجه به منحنی متوسط تقاضای شدت ساختارها، نتیجه گیری می شود که توزیع ارتفاع غیرمستقیم خواص مقاومتی جانبی سازه های فولادی، تقاضای جابجایی و ظرفیت لرزه ای فریم های نامنظم را با ساختار منظم مقایسه می کند. تغییرات ظرفیت بیشتر فریم های نامنظم در مرحله غیرخطی رفتار ساختاری بیشتر مشهود است. با توجه به انعطاف پذیری بنیاد، میزان آسیب در کف پایین افزایش می یابد و بی نظمی باعث افزایش لرزه های مورد نیاز طبقه های پایین تر سیستم می شود. در میان تمام قاب های نامنظم فولادی، افزایش میانگین تقاضای جابجایی و کاهش ظرفیت لرزه ای به ترتیب به حداکثر قدرت و تنوع همزمان سختی و مدل های بی نظمی است. علاوه بر این، بی نظمی جرم اثرات جزئی را در تقاضای لرزه و تغییرات ظرفیت فریم های فولادی نشان می دهد. تاثیر غالب سختی و بی نظمی های قدرت (داستان نرم و ضعیف) در کاهش ضریب ساختاری ساختاری و میانگین سالانه بیش از حد محدودیت ها مشاهده می شود [۸].

۳- روش تحقیق

در این پژوهش آسیب پذیری لرزه ای یکی از تیپ های ساختمانی رایج در کشور، یعنی سازه های فولادی دارای سیستم قاب خمشی ویژه با تعداد طبقات ۴، ۷ و ۱۰ و دارای ارتفاع ۳ متر و هر قاب دارای ۳ دهانه ۵ متری مورد بررسی قرار می گیرد. مدل ها تحت اثر ۱۰ زلزله و تحت تحلیل دینامیکی قرار می گیرند.

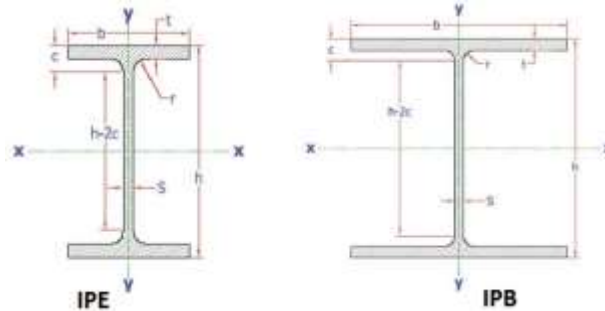
روش های مختلفی برای تحلیل لرزه ای وجود دارد. تفاوت این روش ها در فرض رفتار خطی برای المان های سازه ای و نحوه اعمال نیروی زلزله می باشد. در مدل های خطی فرض بر آن است که المان های سازه ای در طول تحلیل دارای مقاومت نامحدود و سختی ثابت می باشند، در صورتی که در مدل های غیرخطی کاهش مقاومت و سختی سازه در طول تحلیل لحاظ می شود. همچنین در تحلیل های استاتیکی نیروی زلزله توسط یک الگوی بارگذاری استاتیکی به سازه اعمال می شود، در صورتی که در تحلیل های دینامیکی بارگذاری زلزله به صورت دینامیکی و بر اساس رکوردهای معین صورت می گیرد.

پس از جمع آوری اطلاعات، گام بعدی تجزیه و تحلیل داده ها می باشد. در تحقیق حاضر تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آباکوس به شبیه سازی پژوهش پرداخته می شود.

¹ Homaei

۴- معرفی مدل‌ها

در این تحقیق برای اینکه بتوان تا حد مطلوبی رفتار موردنظر مورد مطالعه قرار گیرد تعداد طبقات ۴، ۷ و ۱۰ و دارای ارتفاع ۳ متر و هر قاب دارای ۳ دهانه ۵ متری مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌ها تحت اثر ۱۰ زلزله و تحت تحلیل دینامیکی قرار می‌گیرند. برای ستون‌ها از مقاطع IPB400 و مقاطع تیرها IPE160 استفاده گردیده است.



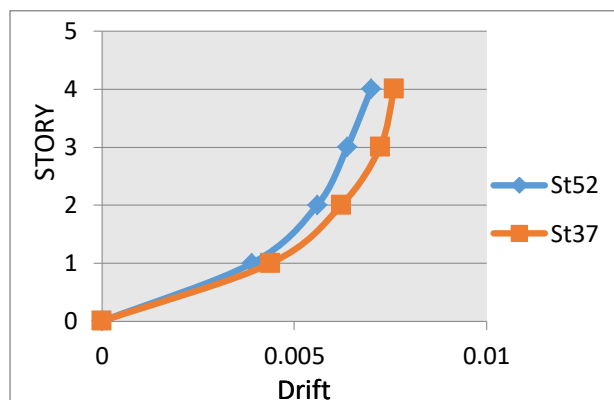
شکل (۱): مقاطع تیرها و ستون‌ها

جدول (۱): مشخصات تیرها و ستون‌ها

r (mm)	t (mm)	s (mm)	b (mm)	h (mm)	
27	24	13.5	300	400	IPB400
9	7.4	5	82	160	IPE160

۴-۱ نمودارهای مقایسه تغییر مکان سازه ۴ طبقه

۴-۱-۱ زلزله بم



شکل (۲): نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۴ طبقه با St37 و St52

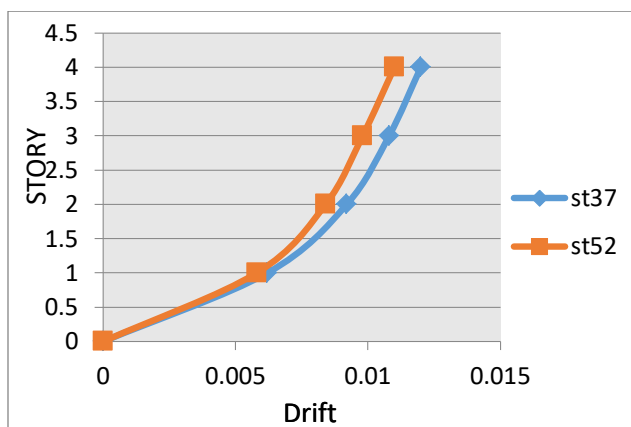
با توجه به شکل (۲) نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۴ طبقه با St37 و St52 پس از اعمال زلزله بم تغییر مکان جانبی طبقات یا DRIFT (تغییر مکان یک طبقه نسبت به طبقه پایینش) و به این نتیجه رسیدیم که در فولاد مقاومت بالا St52 تغییر مکان جانبی طبقات نسبت به طراحی فولاد معمولی St37 کمتر شده است؛ و سختی سازه بیشتر شده است و عملکرد بهتری دارد.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



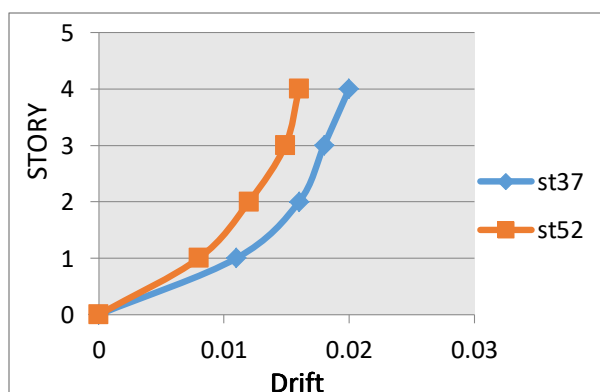
۲-۱-۴ زلزله طبس



شکل (۳): نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۴ طبقه با St37 و St52

با توجه به شکل ۳ نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۴ طبقه با St37 و St52 پس از اعمال زلزله طبس تغییر مکان جانبی طبقات یا DRIFT (تغییر مکان یک طبقه نسبت به طبقه پایینش) و به این نتیجه رسیدیم که در فولاد مقاومت بالا St52 تغییر مکان جانبی طبقات نسبت به طراحی فولاد معمولی St37 کمتر شده است؛ و سختی سازه بیشتر شده است و عملکرد بهتری دارد.

۲-۱-۴ زلزله منجیل - رودبار



شکل (۴): نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۴ طبقه با St37 و St52

با توجه به شکل ۴ نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۴ طبقه با St37 و St52 پس از اعمال زلزله منجیل تغییر مکان جانبی طبقات یا DRIFT (تغییر مکان یک طبقه نسبت به طبقه پایینش) و به این نتیجه رسیدیم که در فولاد مقاومت بالا St52 تغییر مکان جانبی طبقات نسبت به طراحی فولاد معمولی St37 کمتر شده است؛ و سختی سازه بیشتر شده است و عملکرد بهتری دارد.

۲-۴ نمودارهای ظرفیت باربری سازه‌های فولادی سازه‌ها

۲-۴-۱ زلزله بم

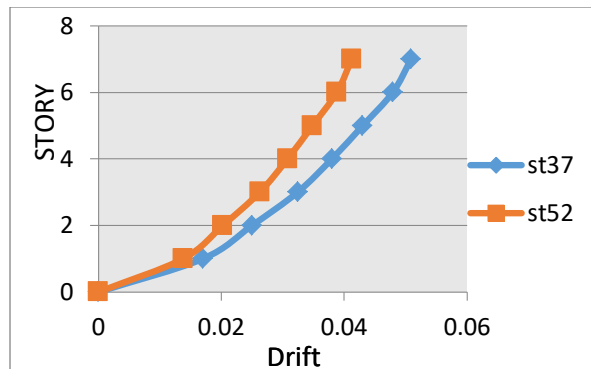


ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

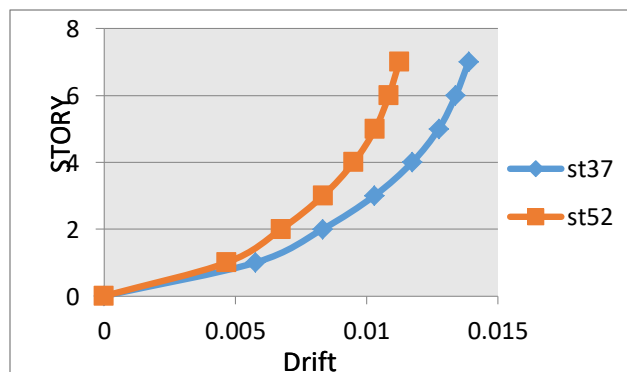


در شکل (۷) نمودار منحنی‌ها ظرفیت باربری سازه فولادی ۴ طبقه با فولاد معمولی St37 و فولاد مقاومت بالا St52 را نشان می‌دهد با توجه به شکل سازه فولادی St37، ۳۵۰ و سازه فولادی St52، ۳۸۰ می‌باشد. افزایش در ظرفیت باربری سازه فولادی با فولاد مقاومت بالا St52 حاصل شده است.

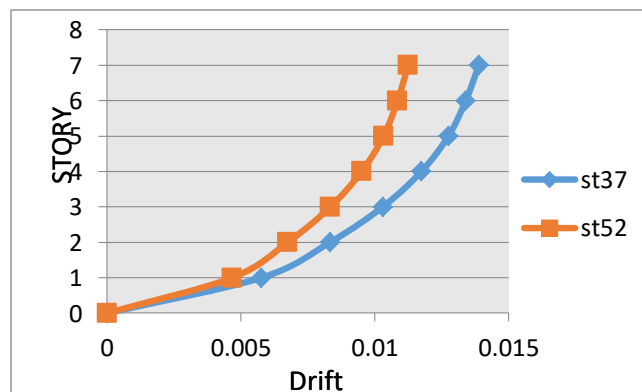
۳-۴ نمودارهای مقایسه تغییر مکان و نمودارهای ظرفیت باربری سازه‌های ۷ طبقه



شکل (۸): نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۷ طبقه با St37 و St52 زلزله ۰٫۲g



شکل (۹): نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۷ طبقه با St37 و St52 زلزله ۰٫۴g



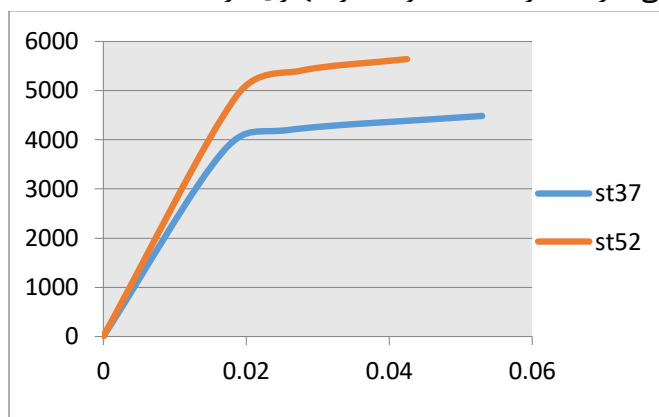
شکل (۱۰): نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۷ طبقه با St37 و St52 زلزله ۰٫۶g



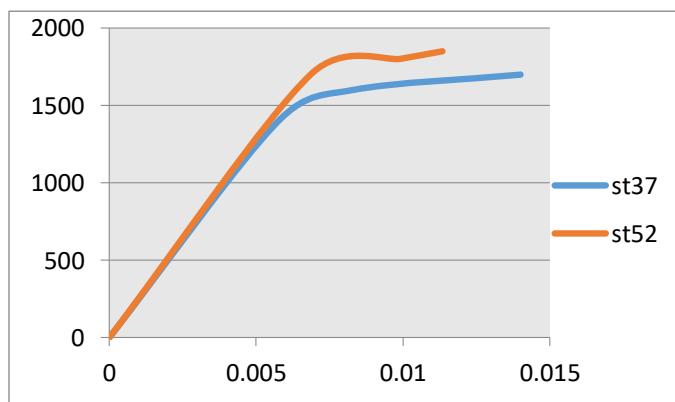
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



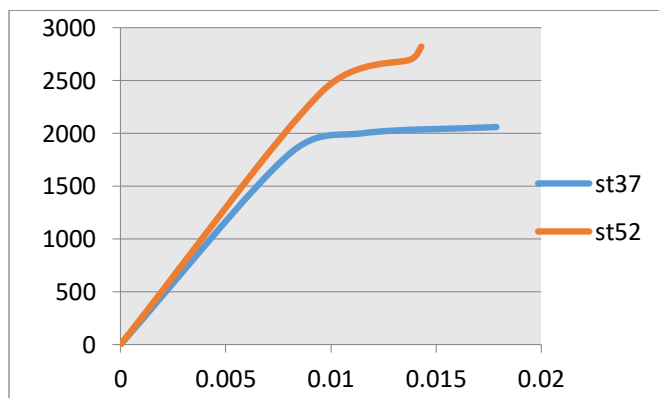
با توجه به شکل‌های (۸، ۹ و ۱۰) پس از اعمال زلزله تغییر مکان جانبی طبقات یا DRIFT (تغییر مکان یک طبقه نسبت به طبقه پایینش) و به این نتیجه رسیدیم که در فولاد st52 تغییر مکان جانبی طبقات نسبت به طراحی سازه فولادی با فولاد st37 کمتر شده است؛ و سختی سازه بیشتر شده است و عملکرد بهتری دارد.



شکل (۱۱): نمودار منحنی ظرفیت باربری سازه فولادی ۷ طبقه با ST37 و St52 زلزله بم



شکل (۱۲): منحنی ظرفیت باربری سازه فولادی ۷ طبقه با ST37 و St52 زلزله طیس



شکل (۱۳): نمودار منحنی ظرفیت باربری سازه فولادی ۷ طبقه با ST37 و St52 زلزله منجیل

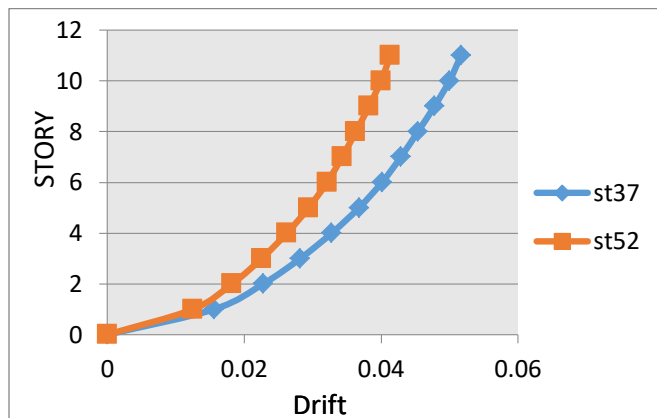


ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

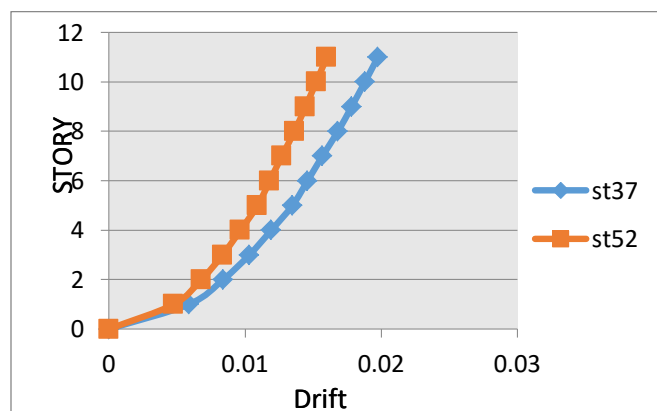


در شکل‌های (۱۱، ۱۲ و ۱۳) نمودارهای منحنی‌ها ظرفیت باربری سازه فولادی ۷ طبقه با فولاد St37 و بتن فولاد St52 را نشان می‌دهند با توجه به شکل سازه فولادی St37، افزایش در ظرفیت باربری سازه فولادی با اضافه کردن فولاد St52 حاصل شده است.

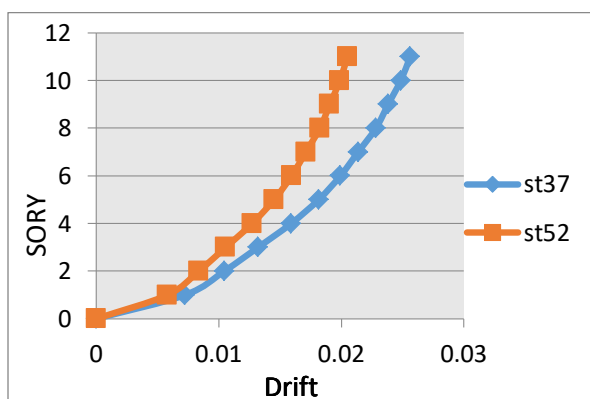
۴-۴ نمودارهای مقایسه تغییر مکان و نمودارهای ظرفیت باربری سازه‌های ۱۰ طبقه



شکل (۱۴): نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۱۰ طبقه با St52 و ST37 زلزله بم



شکل (۱۵): نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۱۰ طبقه با St52 و ST37 زلزله طیس



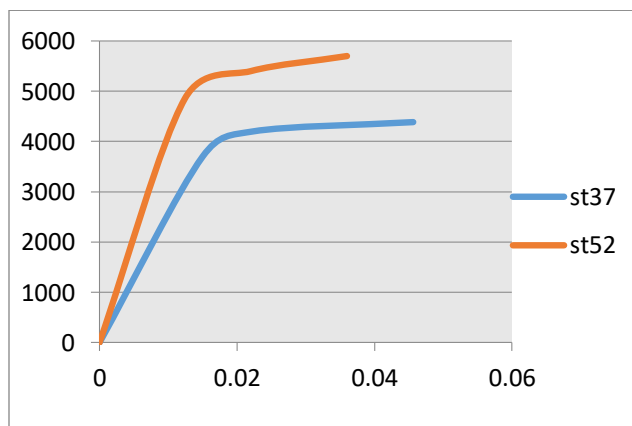
شکل (۱۶): نمودار مقایسه تغییر مکان سازه فولادی ۱۰ طبقه با St52 و ST37 زلزله طیس



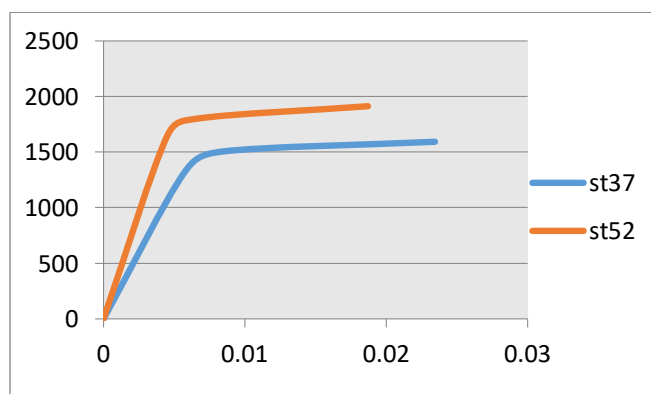
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



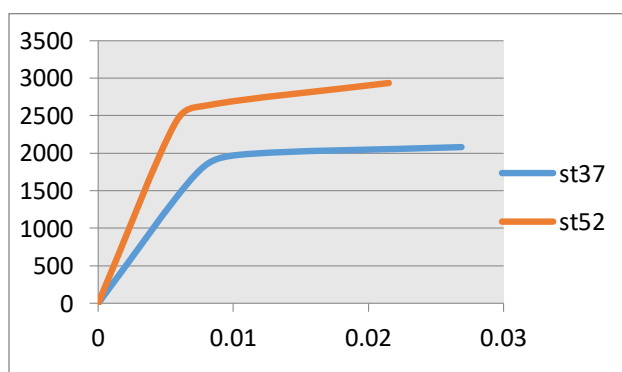
با توجه به شکل‌های (۱۴، ۱۵ و ۱۶) پس از اعمال زلزله تغییر مکان جانبی طبقات یا DRIFT (تغییر مکان یک طبقه نسبت به طبقه پایینش) و به این نتیجه رسیدیم که فولاد st37 بتن فولاد st52 تغییر مکان جانبی طبقات نسبت به طراحی سازه فولادی با فولاد st37 کمتر شده است؛ و سختی سازه بیشتر شده است و عملکرد بهتری دارد.



شکل (۱۷): نمودار منحنی ظرفیت باربری سازه فولادی ۱۰ طبقه با ST37 و St52 زلزله بم



شکل (۱۸): نمودار منحنی ظرفیت باربری سازه فولادی ۱۰ طبقه با ST37 و St52 زلزله طیس



شکل (۱۹): نمودار منحنی ظرفیت باربری سازه فولادی ۱۰ طبقه با ST37 و St52 زلزله منجیل



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

در شکل‌های (۱۷، ۱۸ و ۱۹) نمودارهای منحنی‌ها ظرفیت باربری سازه فولادی ۱۰ طبقه با فولاد st37 و بتن فولاد st52 را نشان می‌دهند با توجه به شکل سازه فولادی st37، افزایش در ظرفیت باربری سازه فولادی با اضافه کردن بتن فولاد st52 حاصل شده است.

۴-۵ عوامل مؤثر بر ضریب رفتار

در سازه‌ها، ظرفیت تغییر شکل غیر ارتجاعی آن‌ها به کمک ضریب شکل‌پذیری (μ) بیان می‌گردد، بدین ترتیب ضریب رفتار سازه مستقیماً به ضریب شکل‌پذیری آن بستگی پیدا می‌کند. هر چه ضریب شکل‌پذیری سازه μ بیشتر باشد، میزان جذب انرژی بالاتر بوده و در نتیجه مقدار ضریب رفتار بزرگ‌تر خواهد بود. از آنجاکه یکی از معیارهای سنجش میزان استهلاک انرژی ناشی از زلزله، ضریب شکل‌پذیری نسبت تغییر مکان حداکثر (Δ_{max}) به تغییر مکان تسلیم (Δ_y) می‌شود، بنابراین مقادیر برای هر یک از نمونه‌ها محاسبه شده است. مطابق روش نیومارک:

$$R_{\mu} = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (1) \quad R_{\mu} = \sqrt{2\mu - 1} \quad (2)$$

ضریب کاهش شکل‌پذیری R_{μ}

ضریب مقاومت افزون (Ω)، تسلیم کلی سازه V_y به نیروی متناظر با تشکیل اولین لولای خمیری در سازه: V_s

$$\Omega = \frac{V_y}{V_s} \quad (3)$$

ضریب تنش مجاز، بر اساس نحوه برخورد آیین‌نامه‌ها با تنش‌های طراحی (بار مجاز یا بار نهایی) تعیین می‌شود؛ و مقدار آن عبارت است از نسبت نیرو در حد تشکیل اولین لولای خمیری (V_s) به نیرو در تنش‌های مجاز: (V_w)

$$Y = \frac{V_s}{V_w} \quad (4)$$

ضریب رفتار سازه‌ها با توجه به عوامل مؤثر بر آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

روش نیومارک ضریب رفتار سازه به روش تنش مجاز به صورت زیر محاسبه می‌شود [۴].

$$R = R_{\mu} \times \Omega \times Y \quad (5)$$

و ضریب رفتار سازه به روش ضریب بار و ضریب مقاومت (LRFD) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = R_{\mu} \times \Omega \quad (6)$$

در این تحقیق ضریب رفتار از روش ضریب بار و ضریب مقاومت (LRFD) محاسبه خواهد شد.

۴-۶ جدول محاسبات پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۴ طبقه

۴-۶-۱ زلزله بم

جدول (۲): محاسبات پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۴ طبقه تحت زمین‌لرزه بم

$\Delta_{y(ST37)}=0.0062$	$\Delta_{y(ST52)}=0.0050$
$\Delta_{max(ST37)}=0.0072$	$\Delta_{max(ST52)}=0.0063$
$\mu_{ST37}=1.16$	$\mu_{ST52}=1.26$
$R_{\mu(ST37)}=1.14$	$R_{\mu(ST52)}=1.23$
$V_{y(ST37)}=125$	$V_{y(ST52)}=180$
$V_{s(ST37)}=115$	$V_{s(ST52)}=160$
$V_{w(ST37)}=110$	$V_{w(ST52)}=151$
$Y_{ST37}=1.04$	$Y_{ST52}=1.05$
$\Omega_{ST37}=1.08$	$\Omega_{ST52}=1.125$
$R_{ST37}=1.28$	$R_{ST52}=1.44$



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



۴-۶-۲ زلزله طبس

جدول (۳): محاسبات پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۴ طبقه تحت زمین‌لرزه طبس

$\Delta_{v(st37)}=0.0092$	$\Delta_{v(ST52)}=0.008$
$\Delta_{max(st37)}=0.0108$	$\Delta_{max(ST52)}=0.0098$
$\mu_{st37}=1.17$	$\mu_{ST52}=1.22$
$R_{\mu(st37)}=1.15$	$R_{\mu(ST52)}=1.20$
$V_{y(st37)}=208$	$V_{y(ST52)}=224$
$V_{s(st37)}=190$	$V_{s(ST52)}=200$
$V_{w(st37)}=181$	$V_{w(ST52)}=190$
$Y_{st37}=1.04$	$Y_{ST52}=1.05$
$\Omega_{st37}=1.09$	$\Omega_{ST52}=1.12$
$R_{st37}=1.30$	$R_{ST52}=1.42$

۴-۶-۳ زلزله منجیل

جدول (۴): محاسبات پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۴ طبقه تحت زمین‌لرزه منجیل

$\Delta_{v(st37)}=0.016$	$\Delta_{v(ST52)}=0.012$
$\Delta_{max(st37)}=0.018$	$\Delta_{max(ST52)}=0.0149$
$\mu_{st37}=1.12$	$\mu_{ST52}=1.24$
$R_{\mu(st37)}=1.11$	$R_{\mu(ST52)}=1.21$
$V_{y(st37)}=347$	$V_{y(ST52)}=365$
$V_{s(st37)}=310$	$V_{s(ST52)}=312$
$V_{w(st37)}=301$	$V_{w(ST52)}=300$
$Y_{st37}=1.03$	$Y_{ST52}=1.04$
$\Omega_{st37}=1.11$	$\Omega_{ST52}=1.17$
$R_{st37}=1.27$	$R_{ST52}=1.47$

۴-۷-۷ نتایج پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌های ۷ طبقه با st37 و st52

۴-۷-۱ زلزله بم

جدول (۵): محاسبات پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۷ طبقه تحت زمین‌لرزه بم

$\Delta_{v(st52)}=0.026$	$\Delta_{v(st37)}=0.027$
$\Delta_{max(st52)}=0.053$	$\Delta_{max(st37)}=0.042$
$\mu_{st52}=2$	$\mu_{st37}=1.55$
$R_{\mu(st52)}=2$	$R_{\mu(st37)}=1.55$
$V_{y(st52)}=4200$	$V_{y(st37)}=5400$
$V_{s(st52)}=3800$	$V_{s(st37)}=4900$
$\Omega_{st52}=1.1$	$\Omega_{st37}=1.1$
$R_{st52}=2.2$	$R_{st37}=1.7$

۴-۷-۲ زلزله طبس

جدول (۶): محاسبات پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۷ طبقه تحت زمین‌لرزه طبس

$\Delta_{v(st52)}=0.008$	$\Delta_{v(st37)}=0.099$
$\Delta_{max(st52)}=0.014$	$\Delta_{max(st37)}=0.011$
$\mu_{st52}=1.75$	$\mu_{st37}=1.11$
$R_{\mu(st52)}=1.75$	$R_{\mu(st37)}=1.11$
$V_{y(st52)}=1600$	$V_{y(st37)}=1800$
$V_{s(st52)}=1400$	$V_{s(st37)}=1700$
$\Omega_{st52}=1.14$	$\Omega_{st37}=1.05$
$R_{st52}=1.99$	$R_{st37}=1.16$



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۴-۷-۳ زلزله منجیل

جدول (۷): محاسبات پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۷ طبقه تحت زمین‌لرزه منجیل

$\Delta_{y(ST52)}=0.0115$	$\Delta_{y(ST37)}=0.013$
$\Delta_{max}(ST52)=0.017$	$\Delta_{max}(ST37)=0.014$
$\mu_{ST52}=1.47$	$\mu_{ST37}=1.11$
$R_{\mu}(ST52)=1.47$	$R_{\mu}(ST37)=1.11$
$V_{y}(ST52)=2000$	$V_{y}(ST37)=2712$
$V_{s}(ST52)=1710$	$V_{s}(ST37)=2510$
$\Omega_{ST52}=1.16$	$\Omega_{ST37}=1.08$
$R_{ST52}=1.7$	$R_{ST37}=1.19$

۴-۸-۸ نتایج پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌های ۱۰ طبقه با فولاد $st37$ و فولاد $st52$

۴-۸-۱ زلزله بم

جدول (۸): محاسبات پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۱۰ طبقه تحت زمین‌لرزه بم

$\Delta_{y}(ST52)=0.022$	$\Delta_{y}(ST37)=0.023$
$\Delta_{max}(ST52)=0.052$	$\Delta_{max}(ST37)=0.04$
$\mu_{ST52}=2.36$	$\mu_{ST37}=1.73$
$R_{\mu}(ST52)=2.36$	$R_{\mu}(ST37)=1.73$
$V_{y}(ST52)=4200$	$V_{y}(ST37)=5400$
$V_{s}(ST52)=3800$	$V_{s}(ST37)=4900$
$\Omega_{ST52}=1.1$	$\Omega_{ST37}=1.1$
$R_{ST52}=2.59$	$R_{ST37}=1.9$

۴-۸-۲ زلزله طیس

جدول (۹): محاسبات پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۱۰ طبقه تحت زمین‌لرزه طیس

$\Delta_{y}(ST52)=0.008$	$\Delta_{y}(ST37)=0.008$
$\Delta_{max}(ST52)=0.020$	$\Delta_{max}(ST37)=0.16$
$\mu_{ST52}=2.5$	$\mu_{ST37}=1.73$
$R_{\mu}(ST52)=2.5$	$R_{\mu}(ST37)=1.73$
$V_{y}(ST52)=1543$	$V_{y}(ST37)=1800$
$V_{s}(ST52)=1400$	$V_{s}(ST37)=1700$
$\Omega_{ST52}=1.1$	$\Omega_{ST37}=1.05$
$R_{ST52}=2.75$	$R_{ST37}=1.81$

۴-۸-۳ زلزله منجیل

جدول (۱۰): محاسبات پارامترهای رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۱۰ طبقه تحت زمین‌لرزه منجیل

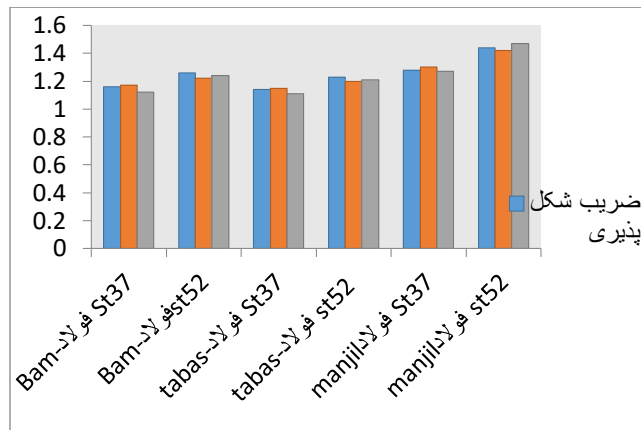
$\Delta_{y}(ST52)=0.010$	$\Delta_{y}(ST37)=0.009$
$\Delta_{max}(ST52)=0.026$	$\Delta_{max}(ST37)=0.02$
$\mu_{ST52}=2.6$	$\mu_{ST37}=2.2$
$R_{\mu}(ST52)=2.6$	$R_{\mu}(ST37)=2.2$
$V_{y}(ST52)=2000$	$V_{y}(ST37)=2700$
$V_{s}(ST52)=1800$	$V_{s}(ST37)=2500$
$V_{w}(ST52)=1700$	$V_{w}(ST37)=2400$
$\Omega_{ST52}=1.11$	$\Omega_{ST37}=1.08$
$R_{ST52}=2.8$	$R_{ST37}=2.3$



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۵- نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهد استفاده از فولاد معمولی St37 و فولاد مقاومت بالا St52 در سازه‌های فولادی در مقیاس‌های ۴ طبقه، در کنترل حداکثر شکل‌ها کاملاً موفق عمل کرده‌اند.



شکل (۲۰): نمودار رفتار لرزه‌ای سازه‌ها تحت زمین‌لرزه‌ها ۴ طبقه

جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد استفاده از فولاد St52 و فولاد St37 در سازه‌های فولادی در مقیاس‌های ۴ و ۷ و ۱۰ طبقه، در کنترل حداکثر شکل‌ها کاملاً موفق عمل کرده‌اند.



شکل (۲۱): نمودار رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۷ طبقه (فولاد St37 و فولاد St52) تحت زمین‌لرزه‌ها (بم، طبس و منجیل)

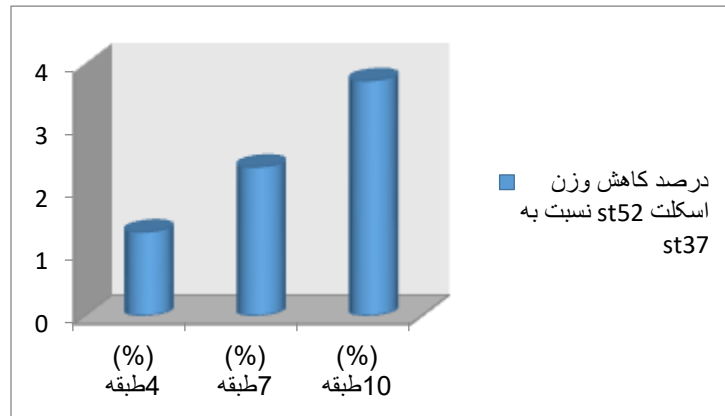


شکل (۲۲): نمودار رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ۱۰ طبقه (فولاد St37 و فولاد St52) تحت زمین‌لرزه‌ها (بم، طبس و منجیل)



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

و فولاد ST52 به عنوان یک مستهلک کننده انرژی، شکل پذیری خوب و سختی جانب مناسبی را با هم ترکیب می نماید و با کاهش میزان تغییر مکان جانبی نسبی در صورت بروز زمین لرزه از تخریب اجزای مهم و عمده سازه جلوگیری به عمل نماید و با توجه به محاسبات و نمودارهای استخراج شده نتیجه می شود فولاد معمولی شکل پذیرتر از فولاد مقاومت بالا St52 می باشد و فولاد مقاومت بالا St52 باعث جابجایی سازه می شود با مقایسه تاریخچه شتاب ایجاد شده در طبقه بام سازه فولادی ۴ و ۷ و ۱۰ طبقه با فولاد معمولی و ST52 نتیجه می گیریم فولاد مقاومت بالا St52 باعث افزایش شتاب میرایی سازه می شود و سرعت سازه را کاهش می دهد.



شکل (۲۳): درصد کاهش وزن اسکلت های St52

مطابق شکل ۲۳، وزن اسکلت فلزی در سازه با فولاد St ۳۷ به مقدار قابل توجهی بیشتر از سازه با فولاد مقاومت بالا St52 می باشد. وزن اسکلت فلزی در سازه ۴ طبقه ST52 برابر ۱/۳۳٪ وزن اسکلت فلزی با فولاد St ۳۷ و وزن اسکلت فلزی در سازه ۴ طبقه ST52 برابر ۲/۳۶٪ وزن اسکلت فلزی با فولاد St ۳۷ و وزن اسکلت فلزی در سازه ۴ طبقه ST52 برابر ۳/۷۳٪ وزن اسکلت فلزی با فولاد St ۳۷ است. ضریب شکل پذیری (μ) ظرفیت تغییر شکل غیر ارتجاعی در سازه ها تحت آزمایش را بیان می گردد، ضریب شکل پذیری سازه فولادی ST52 در تمامی زلزله ها از ضریب شکل پذیری سازه فولاد معمولی بیشتر می باشد، در نتیجه میزان جذب انرژی بالاتر بوده و در نتیجه آنچه نهایتاً مشهود می باشد مقدار ضریب رفتار سازه های ساخته شده با فولاد مقاومت بالا St52 بزرگ تر است. به طور کلی مطابق نتایج به دست آمده از تحلیل سازه های پژوهش حاضر، استفاده از سیستم فولادی ST52 صرفه جویی قابل توجهی در وزن قطعات فولادی را باعث می شود. علاوه بر آن با توجه به وزن در برش پایه بسیار کمتر در سیستم ST52 حجم فولاد نیز به مقدار قابل توجهی کاسته خواهد شد که تأثیر مضاعفی بر کاهش قیمت تمام شده ساختمان خواهد داشت.



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



منابع

- [۱]. آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات مسکن، ۱۳۹۹.
- [۲]. حسینی، رحمان، باقری، بابک، حسینی، امید، ۱۳۹۵، مقایسه شکل پذیری سازه های فولادی طراحی شده با روش های متداول و روش طراحی بر اساس عملکرد، اولین کنفرانس ملی علوم مهندسی، ایده های نو، موسسه آموزش عالی آیندگان، ۲۱ اردیبهشت ۹۵.
- [۳]. خزایی راد، پارسا، مرتضوی، سید علی، مشکوه الدینی، افشین، ۱۳۹۷، ارزیابی رفتار لرزه‌های سازه فولادی با سیستم دوگانه قاب صلب - مهاربند واگرای زیپ دار در حوزه نزدیک گسل، اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران (مهندسی سازه و مدیریت ساخت).
- [۴]. شیرزاده گرمی، میثم، شرفی، ابراهیم، ایمانی کله سر، هوشیار، ۱۳۹۷، ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه های فولادی نامنظم به واسطه تغییر شکل صفحه سیستم باربر جانبی، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران.
- [۵]. سایت اینترنتی <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.htm>
- [۶]. میرقادری، سید رسول و ازهری، مجتبی، ۱۳۹۸، طراحی سازه های فولادی به روش حالات حدی و مقاومت مجاز، چاپ ششم.
- [۷]. نعیم فلاحی، علیرضا لهراسبی، علیرضا لوابی. ۱۳۹۹. بررسی تاثیر میراگرهای خمشی-برشی بر شکل پذیری سازه های فولادی با استفاده از روش المان محدود. چهارمین کنفرانس ملی دستاوردهای اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی
- [8]. Hashemi, S. H. (2015, October). Ductility and ultimate strength of eccentric braced frame. In International Conference on Advanced Materials Engineering, IPCSIT (Vol. 15).
- [9]. Mazza, F., Pedace, E., & Del Favero, F. (2019). Effectiveness of damped braces to mitigate seismic torsional response of unsymmetric-plan buildings. Mechanical Systems and Signal Processing, 85, 610-624.
- [10]. Lee, C. H., Ryu, J., Kim, D. H., & Ju, Y. K. (2019). Improving seismic performance of non-ductile reinforced concrete frames through the combined behavior of friction and metallic dampers. Engineering Structures, 172, 304-320.