

تحلیل پارامتری رفتار لرزه ای ساختمان های نامتقارن میان مرتبه با سازه مقاوم دوگانه قاب های خمشی - مهاربندی شده تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک حاوی اثرات گسلسی پیشرو

میثم محبیان

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران
Meysam.mohebian@yahoo.com

پیمان همامی

استاد یار دانشکده فنی و مهندسی گروه عمران، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران
homami@khu.ac.ir

افشین مشکوه الدینی

استاد یار دانشکده فنی و مهندسی گروه عمران، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران
meshkat@khu.ac.ir

کلید واژه‌ها: سازه نامتقارن، زلزله حوزه نزدیک، رفتار پیچشی لرزه ای، سیستم سازه ای دوگانه

چکیده

تجربیات حاصل از زلزله های گذشته نشان می‌دهد که پیچش سازه به عنوان یکی از علل آسیب دیدگی ساختمان ها هنگام وقوع ارتعاشات شدید زمین شناخته شده است. تأثیر پیچش می‌تواند به وسیله نامنظمی در پلان، مرکز جرم، سختی یا توزیع مقاومت به وجود آید. سازه های نامتقارن در مقابل زلزله نسبت به سازه های متقارن، قابلیت آسیب پذیری شدیدتری دارند که این مسئله باید در طراحی عناصر مقاوم در نظر گرفته شود. همچنین از مهم ترین اثرات ناشی از زلزله در اینگونه پیکربندی ها می‌توان به عدم انطباق مراکز جرم و سختی در تمامی جهت های احتمالی برخورد امواج زلزله که منجر به ایجاد پیچش در سازه می‌گردد، اشاره نمود. صنایعی و رافضی (۱۳۹۱)

همبستگی بین پاسخ‌های دینامیکی پیچشی و انتقالی ساختمان‌های نامتقارن، باعث افزایش تقاضای تغییرمکان در لبه نرم و نیاز شکل پذیری در لبه سخت پلان خواهد شد. همچنین با توجه به تغییرات موقعیت‌های مراکز سختی و برش طبقات حین رفتار شدید غیرخطی ساختمان های نامتقارن تحت اثر زلزله‌های نیرومند حوزه نزدیک، پیش بینی چگونگی تغییرات پارامترهای پاسخ لرزه ای بطور قابل توجهی با معیارهای رفتار الاستیک تفاوت خواهد داشت.

پژوهش حاضر شامل نتایج مطالعه رفتار لرزه‌ای یک ساختمان فولادی ۱۵ طبقه با سیستم ترکیبی قاب‌های صلب و مهاربندی شده و دارای نامنظمی در پلان است. پارامترهای پاسخ لرزه ای سازه مطالعاتی بر اساس انجام یک مجموعه گسترده تحلیل‌های تاریخچه زمانی تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک، مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر پایه تحلیل رفتار واقعی سازه، رکوردها در حالت میدان آزاد اعمال گردیده‌اند. بدین لحاظ چگونگی تغییرات پارامترهای پاسخ سازه نامتقارن مطالعاتی از دیدگاه لرزه شناسی مهندسی و با لحاظ نمودن مشخصات دقیق فیزیکی رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک بررسی شده است. اثرات نامتقارنی در مدل مطالعاتی این پژوهش بر پایه تغییر موقعیت هندسی مرکز جرم طبقه بوده و موقعیت انتخابی مرکز جرم در پلان سازه نمایش داده شده است.

مقدمه

یکی از مشکلات به وجود آمده در زلزله برای سازه ها، خسارت بیش از حد سازه های نامنظم می‌باشد. سازه های نامنظم در عمل، در نتیجه‌ای اضطرارهای معماری، اقتصادی و کاری به وجود می‌آیند که به سه دسته کلی نامنظمی در جرم، نامنظمی در سختی و نامنظمی در مقاومت تقسیم می‌شوند که در اکثر مواقع به علت شرایط معماری و کاربری سازه، نامنظمی‌ها به طور همزمان در سازه ایجاد شده و باعث تشدید اثرات زلزله می‌شوند.



مطالعات اصولی در مورد علل وقوع زلزله، بررسی های آماری از آسیب پذیری ساختمان ها در هنگام وقوع زلزله های گذشته و پیش بینی شاخص خسارت در آینده می تواند ابعاد تخریب سازه ها و تلفات جانی آن را کاهش دهد. رضوی زاده و اعتمادی (۱۳۹۰) تحقیقی بر روی تأثیر شکل هندسی و معماری سازه های نامنظم L شکل انجام دادند. در این مطالعات که بروی چندین سازه ی نامنظم با ارتفاع های مختلف با استاندارد ۲۸۰۰ انجام دادند. هدف آنها بررسی مقادیر خروجی حاصل از تحلیل های استاتیکی معادل و دینامیکی بوده است که بعد از تحلیل نمونه ها و مقایسه و بررسی رفتار آن ها در برابر نیروی زلزله نتایج ذیل بدست آمد برخلاف ساختمان های منظم که مقادیر پیچش استاتیکی معادل (در امتداد بحرانی) و پیچش دینامیکی بیشینه، در کلیه نمونه های با تعداد طبقات متفاوت یکسان بود، در ساختمان های نامنظم اینگونه نیست.

سرو قد مقدم و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان بررسی اثر پیچش در ساختمان هایی نیمه بلند متقارن در پلان نسبت به دو محور تحت اثر تحریک لرزه ای، نشان دادند حرکات پیچشی باعث ایجاد تغییر مکان ها و نیروهای اضافی در برخی اعضای سازه ای در ساختمان های نامتقارن در مقایسه با ساختمان های متقارن متناظر میگردد که اثر پیچش یکی از مهمترین علل آسیب ساختمان ها تحت اثر نیروهای زلزله بوده است. کریشنان در سال ۲۰۰۷ (Krishnan, S; 2007) با طراحی ۶ قاب خمشی فولادی با پلان های منظم و نامنظم و همچنین آنالیز دینامیکی تاریخیچه زمانی مدل ها تحت رکوردهای حوزه نزدیک، پارامترهای لرزه ای سازه ها را مورد بررسی قرار داد و تأثیرگذاری مود پیچشی و تسلیم نامتقارن تحت این رکوردها را مشاهده نمود.

سنو و همکاران (Seo, et al., 2012) در سال ۲۰۱۲ با طراحی مجموعه ای از قاب های خمشی فولادی L شکل نامنظم در پلان، کاربرد سطح پاسخ مدل ها (RSMs) توسط شبیه ساز مونت کارلو (MCS) را مورد مطالعه قرار داده و تأثیر پارامترهای مختلف از جمله سال ساخت، خروج از مرکزیت، جهت اعمال زلزله و ارتفاع طبقه اول را بر روی منحنی های شکنندگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که پارامترهای ارتفاع طبقه و سال ساخت بیشترین تأثیر را بر آسیب پذیری مدل ها در سطوح عملکردی مختلف دارد و بیان نمودند که تنوع هندسی نامنظمی، جهت زلزله و سال ساخت باید در ارزیابی شکنندگی لرزه ای قاب های نامنظم مورد توجه قرار گیرد.

در تحقیق حاضر به بررسی پارامترهای عملکرد لرزه ای سیستم نامتقارن ترکیبی قاب های صلب خمشی و مهاربندی شده در ساختمان های میان مرتبه فولادی تحت اثر انتقال مرکز جرم سازه و اعمال رکورد های حوزه نزدیک و دور پرداخته شده است. بیشتر این رکوردها حاوی مشخصات جنبش نیرومند زمین از جمله پالس های پر انرژی و بلند مدت سرعت در تاریخیچه زمانی سرعت میباشند. سازه قاب محیطی بر طبق استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم طراحی شده و توسط نرم افزار PERFORM-3D ver.4.0.3 مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است.

ساختار موضوعی و طرح مسئله

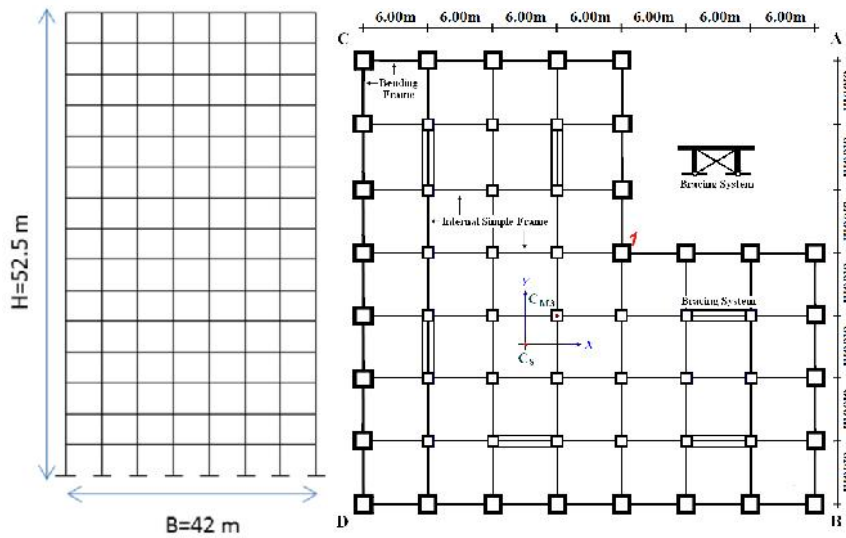
با توجه به پیشرفت صنعت ساختمان و مقتضیات محل اجرای پروژه و سبک معماری مدرن نیاز به پلان های نامتقارن بوجود آمد و همچنین تأثیر متفاوت نیروهای زلزله بر سازه هایی با پلان نامتقارن طراحان را وادار به بررسی اینگونه سازه ها نموده است، از این سو در این پژوهش لازم بر این مهم دانسته شده که به بررسی پارامترهای عملکرد لرزه ای سیستم نامتقارن ترکیبی قاب های صلب خمشی و مهاربندی شده در ساختمان های میان مرتبه فولادی پرداخته شود. با بررسی سازه های نامنظم در برابر زلزله ما این امکان به وجود خواهد آمد که بتوان بهترین و بهینه ترین طرح را انتخاب کرد. وجود نامنظمی در سازه در رفتار لرزه ای آن پیچیدگی های خاصی را اعمال میکند که تحلیل را دچار مشکل میسازد. به عنوان مثال اثرات مودهای بالاتر به خصوص مودهای پیچشی در رفتار لرزه ای سازه گاهی بیشتر از مودهای ابتدایی میباشد به همین دلیل ساختمان های نامنظم نیاز به شکل پذیری و مقاومت ویژه ای دارند و برای تحلیل آن ها نیاز به روش هایی است تا بتوان این نیازمندی ها و پیچیدگی ها را در نظر گرفت. در هر حال باید توجه داشت نوع و مقدار بی نظمی در به وجود آوردن میزان خسارت بسیار مؤثرند. از جمله این نامنظمی ها، نامنظمی در پلان هست که اگر از حدود مرز تعیین شده در آیین نامه بیشتر باشد میتواند موج خسارت های زیادی در سازه گردد. نامنظمی پیچشی نیز از این نوع نامنظمی هست که در آن مرکز جرم و مرکز سختی از هم فاصله دارند؛ بنابراین برای تحلیل و طراحی ساختمان های نامنظم در پلان بایستی به دنبال روشی بود که بتواند تصویر مناسبی از رفتار سازه و عملکرد واقعی تر آن در مقابل زلزله را نشان دهد.

طرح و مدل سازی سازه مطالعاتی

قاب ساختمان ۱۵ طبقه مورد مطالعه، قاب محیطی خمشی با نامنظمی در پلان است. این سازه بر طبق استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم و مباحث ششم و دهم مقررات ملی ساختمان با ضریب رفتار $(R=7)$ طرح شده است. در شکل (۱) نمای جانبی قاب و پلان سازه نشان داده شده است.

در سیستم قاب محیطی خمشی تیرهای بیرونی با اتصال صلب به هم متصل شده اند و تیرهای داخلی با اتصال مفصلی به تیرهای اطراف خود متصل هستند. در جداول ۱ تا ۴ مشخصات مقاطع به کار رفته در تیرها و ستون ها و بادبندها مشخص شده است. بار مرده تمامی طبقات برابر 500 kg/m^2 و نیز بار زنده طبقات اول تا ۱۴ برابر 200 kg/m^2 و طبقه پانزدهم برابر 150 kg/m^2 در نظر گرفته شده است. جدول ۵ حاوی اطلاعات پیروید متناظر با سه مود اول ارتعاش سازه به همراه ضرایب درصد مشارکت جرمی مربوطه و همچنین ضریب زلزله (C) می باشد.





شکل ۱: نمای جانبی و پلان، محل قرارگیری نقطه ۱ در سیستم دو گانه مطالعاتی

ستون های درونی	ستون های بیرونی	طبقات
BOX 42X2/5	BOX 50X2/5	۵-۱
BOX 38X2/5	BOX 45X2/5	۱۰-۶
BOX 35X2/5	BOX 40X2/5	۱۵-۱۱

جدول ۲: ابعاد تیرهای سیستم قاب های صلب خمشی و مهاربندی شده

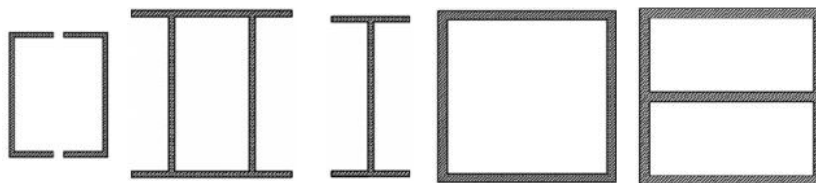
تیرهای درونی	تیرهای بیرونی	طبقات
WF-40X20X1/5	WF-2-40X2X30X2/5	۱۰-۱
WF-40X20X1/5	WF-2-40X1/5X30X2	۱۵-۱۱

جدول ۳: ابعاد ستون های کنار مهاربندها

ابعاد	طبقات
2UNP260	۳-۱
2UNP240	۹-۴
2UNP220	۱۲-۹
2UNP180	۱۵-۱۳

جدول ۴: ابعاد مهاربندها

ابعاد	طبقات
BOX 55X3PL2/5	۳-۱
BOX 50X2/5	۹-۴
BOX 45X2/5	۱۵-۱۰

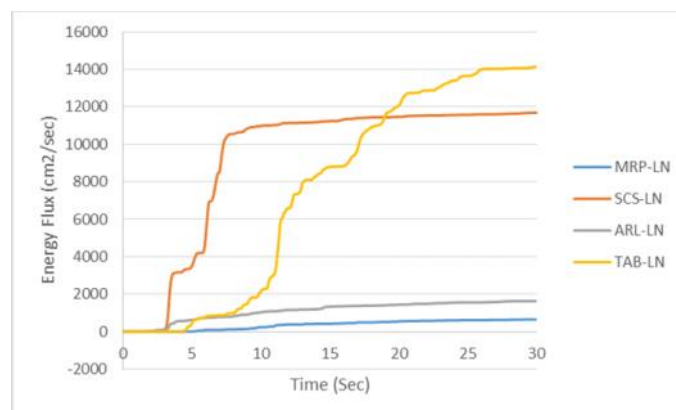


شکل ۲: مقطع ستون ها، تیر ها و مهاربندها

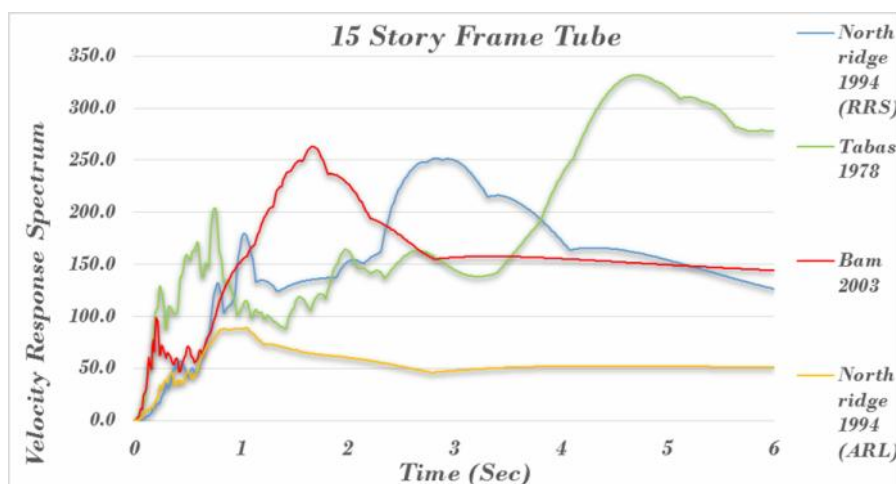
شتاب نکاشت های انتخابی برای تحلیل دینامیکی غیر خطی

فرآیند انتخاب رکوردهای زلزله با توجه به محل ساختگاه و نیز خصوصیات هندسی و شرایط طراحی سیستم سازه قاب خمشی محیطی و مهاربند داخلی دارای اهمیت زیادی است. در این تحقیق رکوردهای سه مولفه ای انتخابی که بر اساس طیف طراحی وضوابط استاندارد ۲۸۰۰ مقیاس شده اند، شامل هر دو گروه رکوردهای حوزه دور و نزدیک گسل می‌باشند. به دلیل نزدیکی محل تا گسل، تاریخچه زمانی سرعت زمین در بسیاری از حالات دارای شکل پالس مانند می‌باشد که یادآور تحریک به صورت ضربه است. دامنه و مدت زمان این پالس‌ها بستگی به جهت انتشار شکست دارد. هنگامی که ساختار شکست گسل به سمت سایت منتشر شده و سرعت شکست ساختار زمین نیز در حدود سرعت موج برشی زلزله باشد، بیشتر انرژی زلزله در یک پالس منفرد در ابتدای تاریخچه زمانی سرعت زمین آزاد می‌شود. این نوع شکست ساختار گسل، شکست با جهت گیری پیشرونده نامیده می‌شود. همچنین اگر شکست در جهت دور شدن از محل باشد، هیچ گونه ساختار موجی شکل را نشان نمی‌دهد. این فرایند شکست نیز با وضعیت جهت گیری پیشرونده می‌باشد. افزون بر موارد بالا در حالت جهت‌داری خنثی، اثر خاصی در تاریخچه زمانی زلزله وجود ندارد و دور یا نزدیک شدن انتشار گسلش، چندان قابل تشخیص نیست. (Stewart et al., 2001) (Elnashi, A.S. et al., 2006). نکته ویژه این پژوهش توجه به موضوع طراحی بر اساس عملکرد و اثرات آن در مطالعه رفتار لرزه ای سازه های نامتقارن است. مشخصه خاص دو رکورد نیرومند BAM و TAB وجود پالس پرنرژی و بلند مدت سرعت در تاریخچه زمانی سرعت زمین متناظر با مولفه عمود بر صفحه شکست گسل است. همچنین وجود یک پالس سرعت به نسبت پرنرژی در تاریخچه زمانی سرعت متناظر با مولفه موازی با صفحه شکست گسل از رکورد TAB نیز ملاحظه می‌شود. رکورد حوزه دور MPR تنها دارای چند اسپایک کم انرژی شتاب در تاریخچه زمانی خود بوده و هیچگونه ساختار فیزیکی پالس سرعت در تاریخچه زمانی آن مطابق شکل (۵) پدیدار نمی‌گردد.

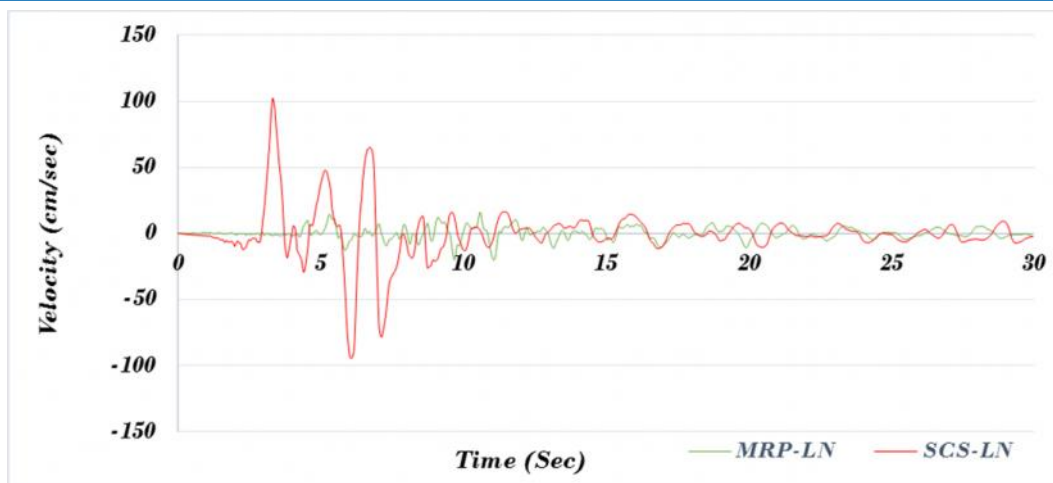
رکورد انتخابی MPR از نوع حوزه دور بوده و همچنین رکورد ALR حوزه نزدیک با جهت گیری خنثی می‌باشد، سایر رکوردها نیز دارای ویژگی های فیزیکی جنبش های نیرومند حوزه نزدیک گسل می‌باشند. روش اعمال رکوردها در سه جهت Y, X و Z تعریف شده برای مدل مطالعاتی بوده که به ترتیب متناظر با مولفه های موازی و عمود بر صفحه شکست گسل و نیز مولفه عمود بر سطح زمین در حوزه صفحه شکست گسل است. در شکل های (۳) تا (۵) به مقایسه طیف پاسخ سرعت و انرژی بین رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک و رکوردهای دارای جهت گیری خنثی و رکورد حوزه دور MPR توسط نرم افزار Seismosignal پرداخته شده است.



شکل ۳: مقایسه طیف پاسخ انرژی رکورد حوزه دور MPR و جهت گیری خنثی ALR و دو رکورد قوی حوزه نزدیک TAB و SCS



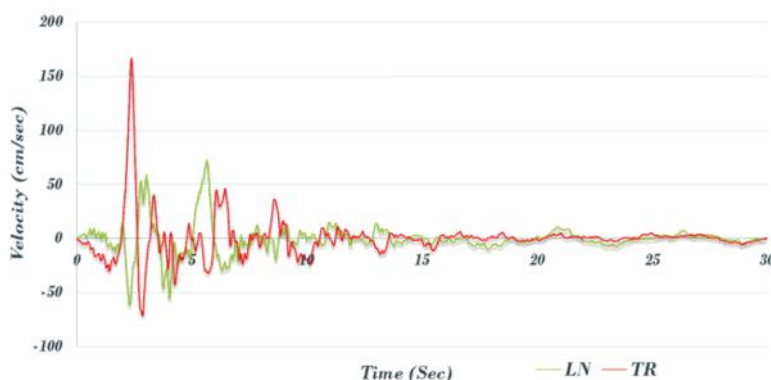
شکل ۴: مقایسه طیف پاسخ سرعت برخی از رکوردهای انتخابی



شکل ۵: مقایسه پاسخ سرعت رکورد نیرومند حوزه نزدیک SCS و حوزه دور MPR

تفاوت مولفه‌های موازی و عمود رکورد ها

به منظور نشان دادن تفاوت‌های موجود در مولفه موازی و عمود رکوردها، نگاشت شتاب، سرعت و انرژی رکورد حوزه نزدیک BAM را در دو جهت متناظر با مولفه‌های LN و TR رسم شد. که در شکل‌های ۱-۴ و ۲-۴ و ۳-۴ به ترتیب نگاشت شتاب و تاریخچه زمانی سرعت و جابه‌جایی و طیف انرژی این رکورد حوزه نزدیک دیده می‌شود.



شکل ۶: نگاشت سرعت مولفه‌های LN و TR برای رکورد BAM

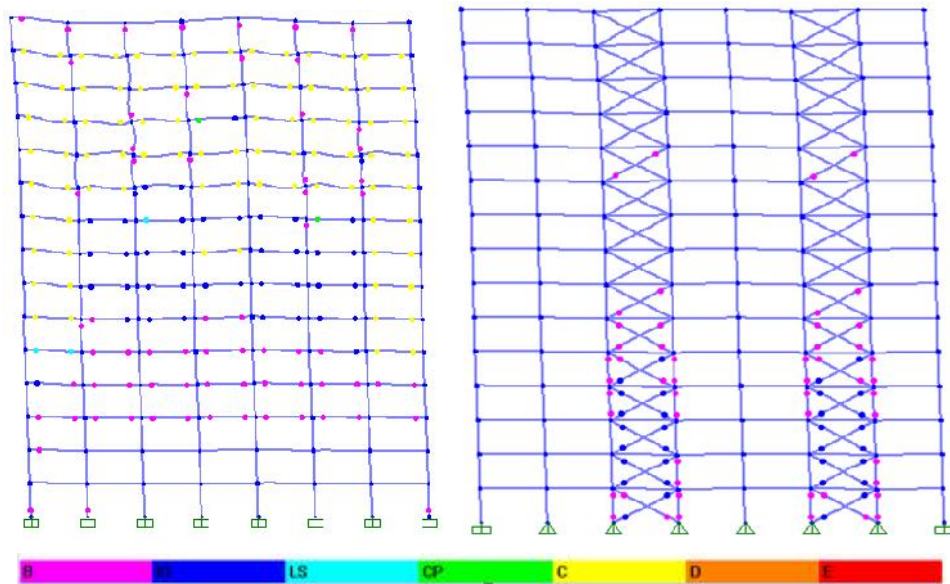
همانطور که دیده می‌شود مولفه (Fault Normal Component) TR رکورد که دارای PGA و PGV بیش‌تری نسبت به مولفه LN (Fault Parallel Component) می‌باشند، پالس‌های پر دامنه و بیش‌تری در مولفه TR رکورد BAM نشان می‌دهد

توزیع مفاصل پلاستیک در سازه

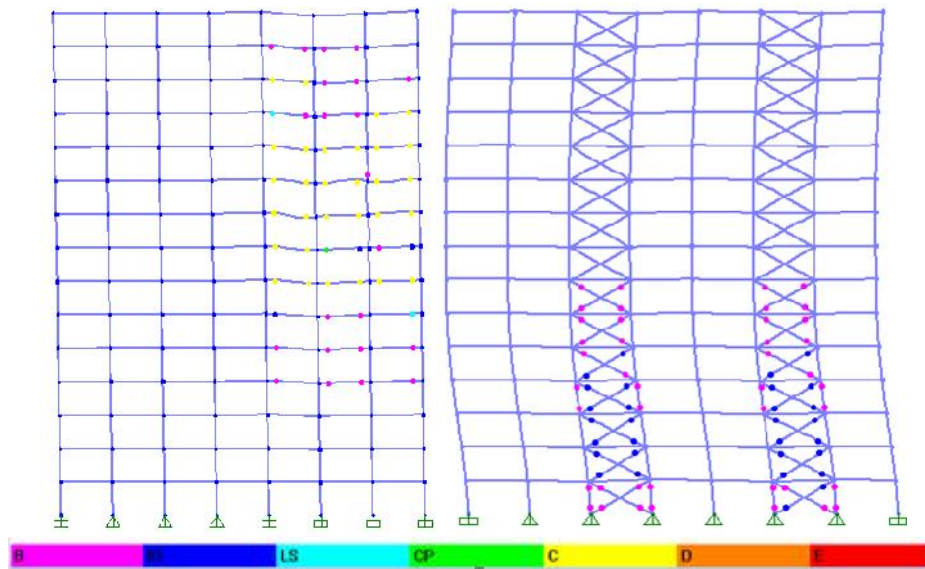
در رفتار غیر ارتجاعی بر خلاف حالت ارتجاعی با توجه به اینکه اعضای مقاوم وارد مرحله پلاستیک میشوند، سختی اعضا تغییر کرده و مرکز سختی طبقات سازه و پی‌یوها دچار تغییر می‌شوند، بنابراین علاوه بر پارامترهای مربوط به سیستم ارتجاعی، تعداد، موقعیت، جهت و مقاومت جاری شدن المان‌های مقاوم نیز در رفتار سازه تا ثیر گذارند.

تحت اثر زلزله شدید بعضی از اعضای سازه جاری می‌شوند و همین امر پاسخ سازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این اعضا باید دارای شکل‌پذیری کافی بوده تا در اثر تغییر شکل‌های اضافی ناشی از جاری شدن سازه منهدم نشوند. این امر در سازه‌های نامنظم همان‌گونه که در توزیع مفاصل پلاستیک در شکل‌های پایین رویت می‌شود برای اعضای مقاوم کناری از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا این عناصر واقع در قاب‌های کناری سازه نامتقارن تغییر شکل بیشتری نسبت به حالت متقارن دارند. معمولاً پارامتر شکل‌پذیری معیاری برای میزان تغییر شکل‌های غیر خطی می‌باشد و بعنوان پارامتر خسارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی معیار کافی برای تعیین میزان آسیب و خرابی نیست، زیرا کاهش سختی و مقاومت ناشی از ترک‌ها و تشکیل مفاصل پلاستیک در نظر گرفته نمی‌شود.





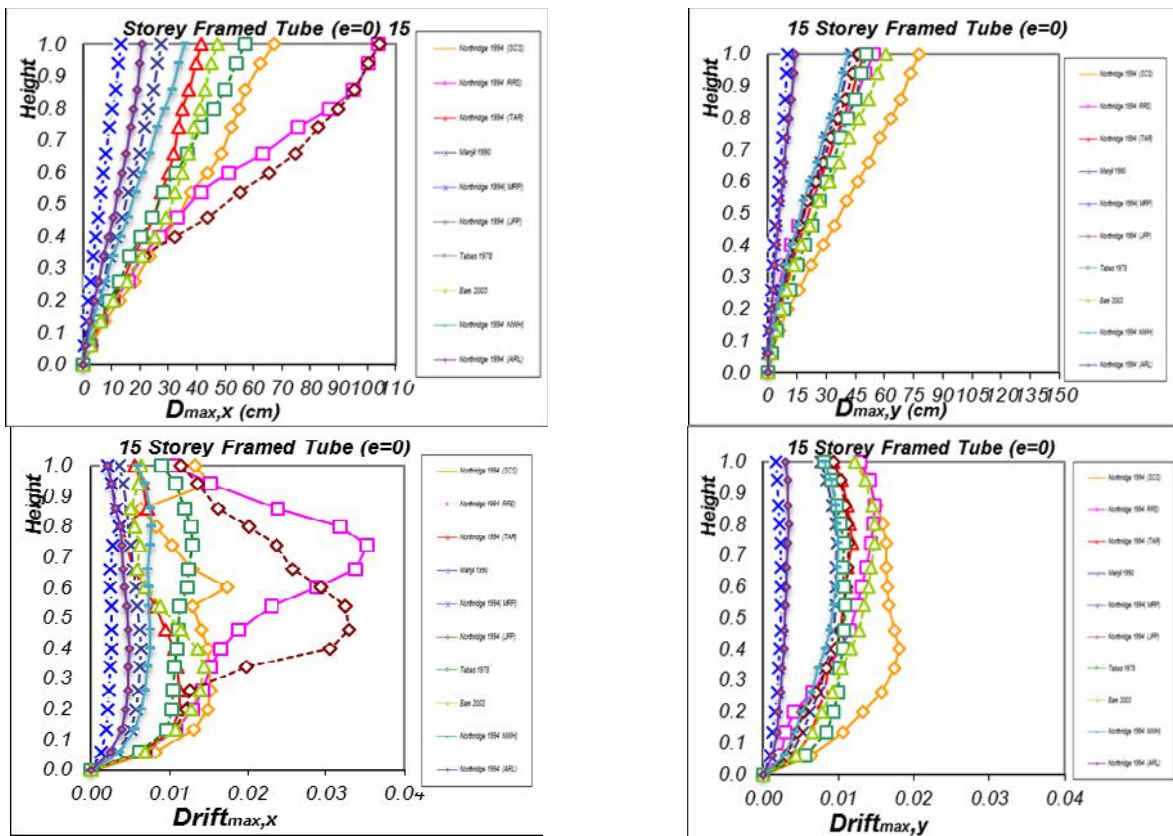
شکل ۷: تشکیل مفاصل پلاستیک نهایی سازه تحت رکورد JFP در ثانیه ۲۵م



شکل ۸: تشکیل مفاصل پلاستیک نهایی سازه تحت رکورد BAM در ثانیه ۲۵م

پاسخ دینامیکی غیر خطی سازه ها

در این بخش رفتار دینامیکی سازه های طراحی شده تحت مجموعه ای از رکوردهای انتخابی براساس مشخصه های این رکوردها بررسی شده است. پارامتر پاسخ شامل بیشینه تغییر مکان نسبی و دریفت طبقات در نقطه ۱ پلان بر اساس نتایج تحلیل های غیرخطی دینامیکی تعیین نمایش داده شده است. این نکته قابل ذکر است که برای مقایسه بهتر رفتار لرزه ای مدل، محور قائم تمام نمودارها ارتفاع نرمال شده سازه می باشد مطابق شکل (۶) کمترین پاسخهای تغییر مکان و دریفت در رکورد MPR که رکورد حوزه دور محسوب می شود رخ داده است. حداکثر پاسخ سازه در جهت X و Y متفاوت می باشد در جهت X مقدار ماکزیمم در رکوردهای JFP و RRS حاصل شده است، در حالی که در جهت Y در دو رکورد SCS و BAM بوده است. بررسی نمودارهای پاسخ نشان میدهد که علاوه بر اینکه پاسخها رکورد به رکورد متفاوت هستند، در سازه دارای نظم متفاوت نیز می باشند، همچنین در دو جهت X و Y نیز این تفاوت مشهود است. بزرگتر بودن پاسخهای تغییر مکان و دریفت در جهت X کاملاً مشهود است.



شکل ۹: نمودار جابه جایی و دریفیت ماکزیمم طبقات در لبه سخت سازه (نقطه ۱) و در جهت های X و Y مدل مطالعاتی

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر عملکرد لرزه‌ای سیستم سازه‌ای ترکیبی قاب‌های صلب و مهاربندی شده و دارای نامنظمی در پلان بر اساس تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی بررسی شد. تحلیل‌ها با استفاده از مجموعه از رکوردهای نیرومند ثبت شده در حوزه نزدیک گسل با اثرات جهت‌داری و رکورد حوزه دور انجام گردید. وجود سرعت‌های نموی بزرگ زمین که در پی بروز حرکات شدید با شتاب بسیار زیاد ایجاد می‌شود، تغییر مکان‌های نوسانی بزرگی را به وجود می‌آورد. پالس‌های بلند مدت سرعت و تغییر مکان مشاهده شده در تاریخیچه زمانی رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک، انرژی زیادی را در قالب حرکات ضربه‌ای به سازه‌ها القا می‌نمایند چگونگی تاثیرگذاری پالس‌های موجود در تاریخیچه زمانی رکوردهای حوزه نزدیک در نمودارهای نمایش دهنده پارامترهای پاسخ سازه‌های مطالعاتی این پژوهش بروشنی مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، رکوردهای حوزه نزدیک به دلیل تفاوت ساختاری موجود در مولفه‌های افقی حرکات زمین، در راستاهای X و Y دارای عملکردی متفاوت در این دو راستا می‌باشند.

در این پژوهش مولفه TR زلزله در جهت Y پلان به سازه اعمال شده است که ویژگی‌های یاد شده پاسخ‌های بیشتری را در جهت Y برای سازه به وجود می‌آورد و قابهایی که در این جهت وجود دارند بیشتر از قابهای جهت X وارد محدوده رفتار غیر خطی می‌شوند و مفاصل پلاستیک بیشتری در این جهت دیده می‌شود.

مراجع

رضوی زاده م و اعتمادی م (۱۳۹۰) تأثیر شکل هندسی و معماری سازه‌های نامنظم L -شکل روی رفتار آن در مقابل زلزله، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران؛ سمنان

سررود مقدم ع، پورشام و خوشنودیان ف (۱۳۹۰) بررسی اثر پیچش در ساختمانهایی نیمه بلند متقارن در پلان نسبت به دو محور تحت اثر تحریک لرزه‌ای، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران؛ سمنان

صنایعی ا و رافضی ب (۱۳۹۱) بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های نامنظم در پلان دارای پیش آمدگی، نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان



Elnashi AS et al (2006) Significance of sever Distance and Moderate Close Earthquake on Design and Behavior of tall building, *The Structural Design of Tall and Special Building* ,Vol. 15 391-416

Krishnan S(2007)Case studies of damage to 19-storey irregular steel moment-frame buildings under near-source ground motion, Earthquake Engineering Research aboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, U.S.A., pp.861-885

Seo JW, Duenas-Osorio L, Craig JI and Goodno BJ(2012)Metamodel-Based Regional Vulnerability Estimate of Irregular Steel Moment-Frame Structures Subjected to Earthquake Events, *Engineering Structures*, doi:10.1016/j.engstruct. 2012.07.003, Vol. 45, pp. 585–597.

Stewart JP and Chiou S, Bray JD, Somerville PG and Abrahamson NA(2001)Ground Motion Evaluation procedure for performance based designe, Report2001/09,PEER,Berkeley

