



تأثیر همزمان مولفه افقی و قائم زلزله بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌های فولادی مهاربندی شده با نامنظمی پیچشی

حبیب جیریونسی^۱، مهدی مشهدیان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد رامسر، دانشگاه آزاد اسلامی، رامسر، ایران

۲- گروه مهندسی عمران، واحد رامسر، دانشگاه آزاد اسلامی، رامسر، ایران

mashhadiyan.m@iauramsar.ac.ir

چکیده

مشاهدات میدانی نشان می‌دهند که بسیاری از تخریب‌های به وجود آمده در فواصل نزدیک از گسل، خصوصاً در اعضای قائم و شاه‌تیرهای طویل پل‌ها و ساختمان‌ها، مرتبط با ارتعاشات شدید مولفه قائم زلزله می‌باشند. تحقیق حاضر تأثیر مؤلفه قائم را بر سازه‌های فولادی با سیستم دوگانه به صورت منظم و نامنظم طراحی شده با آیین‌نامه‌های ایران مورد بررسی قرار داده و نشان می‌دهد در نواحی نزدیک گسل تحت تأثیر بسیار شدید مؤلفه ی قائم زلزله قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد که نامنظمی پیچشی در سازه باعث توزیع نامتقارن نیروها در اعضای سازه‌ای (نیروی محوری ستون و لنگر خمشی تیر) می‌شود. مولفه قائم زلزله نیروی محوری ستون را در سازه‌های منظم و نامنظم به ترتیب ۱۰۴ و ۹۸ درصد افزایش می‌دهد. همچنین تأثیر مولفه قائم زلزله بر افزایش لنگر خمشی تیرها ۱/۳۵ درصد می‌باشد.

کلمات کلیدی: مولفه قائم زلزله، سیستم دوگانه، نامنظمی پیچشی، پاسخ لرزه‌ای.

۱- مقدمه

تمامی ساختمان‌ها در طول یک زلزله، تحت اثر تحریک مولفه‌های لرزه‌ای آن قرار می‌گیرند که این تحریکات شامل دو مولفه‌ی افقی و یک مولفه‌ی قائم است. در اکثر قریب به اتفاق آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای، تنها اثر مولفه‌های افقی در نظر گرفته می‌شود. آیین‌نامه‌ها بر این فرض استوار هستند که خرابی ساختمان‌ها تنها بر اثر وارد شدن دو مولفه‌ی افقی اتفاق می‌افتد و مولفه‌ی قائم حرکت زمین تأثیری بیش از تأثیر دو مولفه‌ی افقی، بر پاسخ‌های سازه ندارد. بعد از زمین‌لرزه‌هایی هم‌چون نورتریج، مشخص شد که اثرات مولفه‌ی قائم زلزله در نزدیک گسل بسیار بزرگ‌تر از مقادیر در نظر گرفته شده در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای بود. به این ترتیب لزوم توجه بیش‌تر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای به مولفه قائم نیروی زلزله بیش از پیش مشخص شد. در مدت زمان ارتعاش زمین ناشی از زلزله، سازه‌ها علاوه بر نوسان‌های افقی ایجاد شده تکان‌های پیچشی را نیز تجربه می‌کنند. یکی از منابع مهم پاسخ‌های پیچشی سازه‌ها، توزیع نامتقارن جرم یا اعضای مقاوم در برابر بارهای افقی در پلان سازه می‌باشد که عموماً به خروج از مرکزیت سختی و یا جرم وابسته است. انواع مختلف پاسخ‌های پیچشی می‌تواند در سازه‌های متقارن به دلیل حرکت غیر یکنواخت زمین در زیر فنداسیون سازه و یا رفتار غیر خطی اعضای مقاوم و از دست دادن مقاومت آنها ایجاد شود. در طول چهار دهه اخیر تحقیقات انجام شده بر روی رفتار سازه‌های نامنظم پیچشی صورت گرفته است. ونگ و تسو، پاسخ لرزه‌ای غیر الاستیک برای سیستم سازه‌ای نامنظم پیچشی با مقاومت توزیع شده را با استفاده از تحلیل طیف پاسخ ارتجاعی،



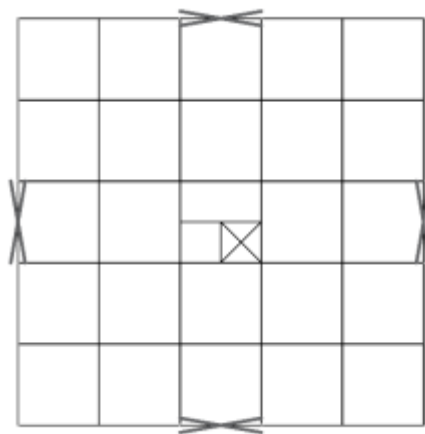
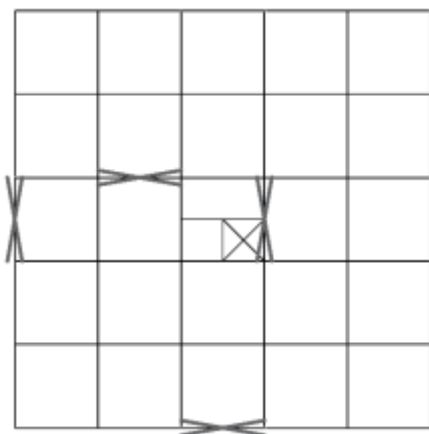
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



تخمین زدند. پیچش تصادفی نیز با اعمال گشتاور استاتیکی طبقه یا جابجایی محل مرکز جرم در این مدل گنجانده شد (ونگ و تسو، ۱۹۹۴). باسکر و منون در مطالعه‌ای بررسی شاخص تنومندی نامنظمی پیچشی برای سازه با اثرات نامنظمی پیچشی تحت سطوح مختلف زمین‌لرزه را انجام دادند. در نهایت آن‌ها یک مدل برای تقاضای بیشترین دررفت طبقات، حساس به نامنظمی پیچشی تعریف کردند (باسکر و منون، ۲۰۲۰). اخوان و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی سازه‌های ۱۰، ۳۰ و ۵۰ طبقه دارای نامنظمی پیچشی در دو حالت با سیستم قاب خمشی و دیوار برشی و سیستم قاب خمشی با دیوار انتهایی پرداختند (اخوان و همکاران، ۲۰۲۰). در تحقیقی که توسط کیکوچی و همکاران بر روی قاب مقاوم خمشی بتن‌آرمه پنج طبقه انجام شد، آن‌ها دریافتند که ستون‌هایی که تنها تحت زمین‌لرزه قائم قرار گرفته‌اند، تسلیم نشدند اما با اعمال حرکت افقی همراه با آن با PGA کمتری به تسلیم می‌رسند (کی‌کوچی و همکاران، ۲۰۰۰). در تحقیقی که توسط چو بر روی یک قاب فلزی ۳ طبقه انجام شد، او دریافت که همزمانی دامنه حداکثر مؤلفه قائم و افقی تأثیر بسیار بزرگی بر روی پاسخ سازه دارد. زوزتیز و همکاران با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی رفتار قاب خمشی فولادی سه طبقه را تحت مولفه قائم زلزله را مورد ارزیابی قرار دادند (تزارتسیس و همکاران، ۲۰۱۸). خسروبیگی و خدابنده‌لو تأثیر مولفه قائم زلزله بر دال بتنی با بازشو بررسی کردند (خسروبیگی و خدابندلو، ۲۰۲۰). تیان و همکاران تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی بر روی یک صفحه تخت برای بررسی اثرات خرابی شتاب قائم زمین‌لرزه در شکست برشی پانچ اتصالات دال به ستون انجام دادند (تیان و همکاران، ۲۰۲۰). هدف اصلی در این مطالعه بررسی تأثیر پیچش بر پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی دوگانه با در نظر گرفتن مولفه‌های افقی و قائم زلزله می‌باشد.

۲- جزئیات مدل‌سازی

مدل‌های مورد تحقیق دارای کاربری مسکونی به صورت شامل تعداد طبقات ۴، ۸ و ۱۲ می‌باشند که مطابق با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲) و استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم، ۱۳۹۳) زلزله تحت بارگذاری ثقلی و جانبی قرار گرفته و در آن‌ها ابعاد مقاطع تیر و ستون به دست آمده است. محل احداث سازه‌ها در خاک نوع ۳ در نظر گرفته شده است. تمامی مدل‌ها به صورت سه بعدی با استفاده از نرم‌افزار ETABS طراحی شدند. ساختمان‌ها در هر دو جهت به صورت سیستم قاب فولادی با مهاربند همگرای ویژه در نظر گرفته شده است. سقف‌ها به صورت تیرچه بلوک و کاملاً صلب فرض شده‌اند یعنی هیچ‌گونه تغییر شکل خارج از صفحه ندارند. ارتفاع تمامی طبقات ۳/۲ متر می‌باشد. طول دهانه‌ها در دو راستا ۵ متر و تعداد دهانه‌ها ۵ عدد می‌باشد (شکل (۱)). مقاطع استفاده شده در طراحی تیرها و ستون‌ها به ترتیب از نوع IPE و BOX می‌باشند. در مورد مقاطع باکسی ضابطه فشردگی لرزه‌ای طبق ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان کنترل شده است. همچنین در طراحی بادبندها از مقطع زوج ناودانی رخ به رخ استفاده شده است. مقاطع سازه در حالت بهینه طراحی و انتخاب شدند.



نامنظم

منظم

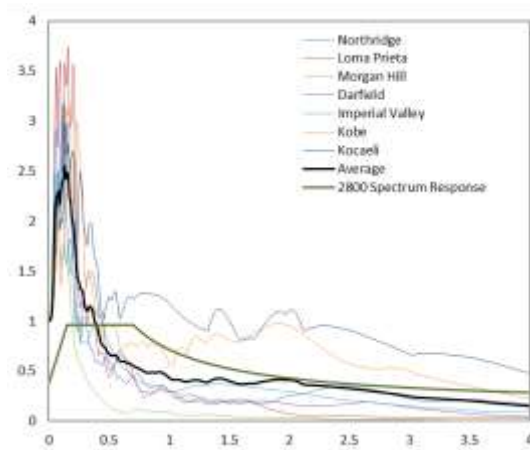
شکل (۱): پلان سازه

۳- تحلیل دینامیکی غیرخطی و مشخصات شتابنگاشت‌ها

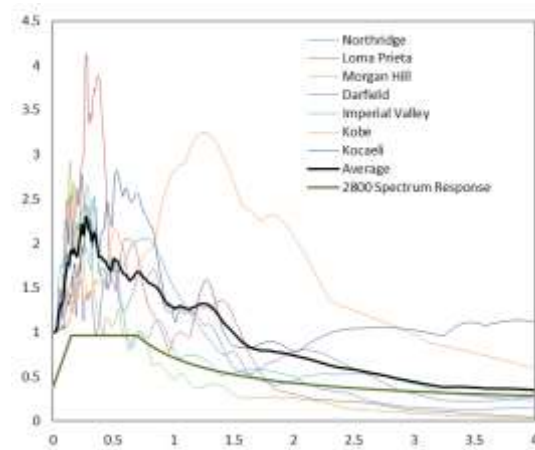
تحلیل دینامیکی غیرخطی با استفاده از روش تاریخچه زمانی غیرخطی انتگرالگیری مستقیم در نرم‌افزار SAP2000 که عموماً به‌خوبی همگرا شده و نتایج خوبی می‌دهد، انجام می‌شود. برای انجام تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی از هفت شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک با نسبت V/H قابل توجه استفاده شده است، که هر هفت مورد در خاک نوع III ثبت شده‌اند. همچنین از نرم‌افزار SeismoSignal برای به‌دست آوردن خصوصیات شتاب‌نگاشت و رسم طیف آن استفاده شده است. در این بررسی، طیف پاسخ میانگین هفت شتاب‌نگاشت به همراه طیف استاندارد ۲۸۰۰ بدست آمده مقایسه و مقیاس شدند و در شکل (۲) ترسیم شده‌اند.

جدول (۱): شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در تحلیل

Earthquake	Station	Vs30(m/s)	DT	PGA(g) Horizontal	PGA(g) Vertical	V/H
Northridge	Arlita	297.71	0.02	0.345	0.552	1.6
Loma Prieta	Capitola	288.62	0.005	0.511	0.555	1.08
Morgan Hill	Gilroy Array	270.84	0.005	0.213	0.585	2.74
Darfield	GDLC	344.02	0.005	0.764	1.25	1.63
Imperial Valley	El Centro Array #5	205.63	0.005	0.53	0.594	1.12
Kobe	Port Island	198	0.01	0.348	0.567	1.62
Kocaeli	Yarimca	297	0.005	0.227	0.241	1.06



مولفه قائم

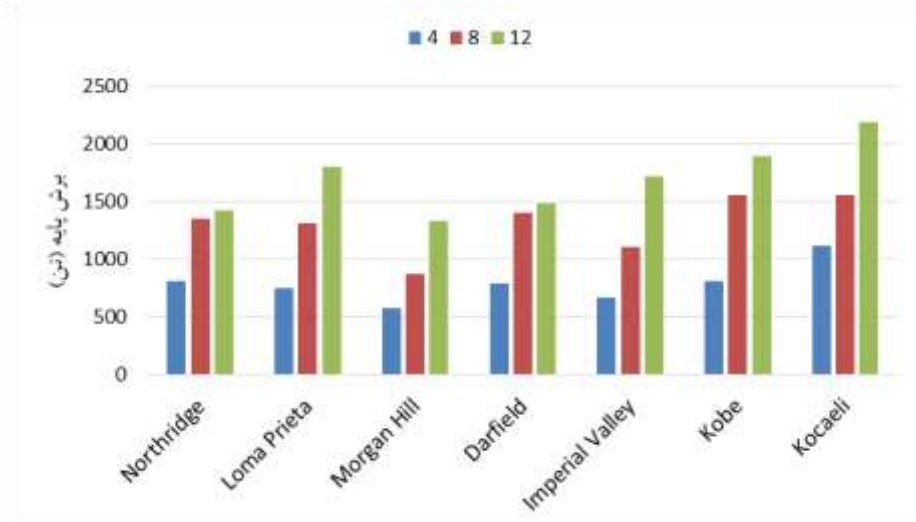


مولفه افقی

شکل (۲): طیف پاسخ شتاب‌نگاشت و طیف استاندارد

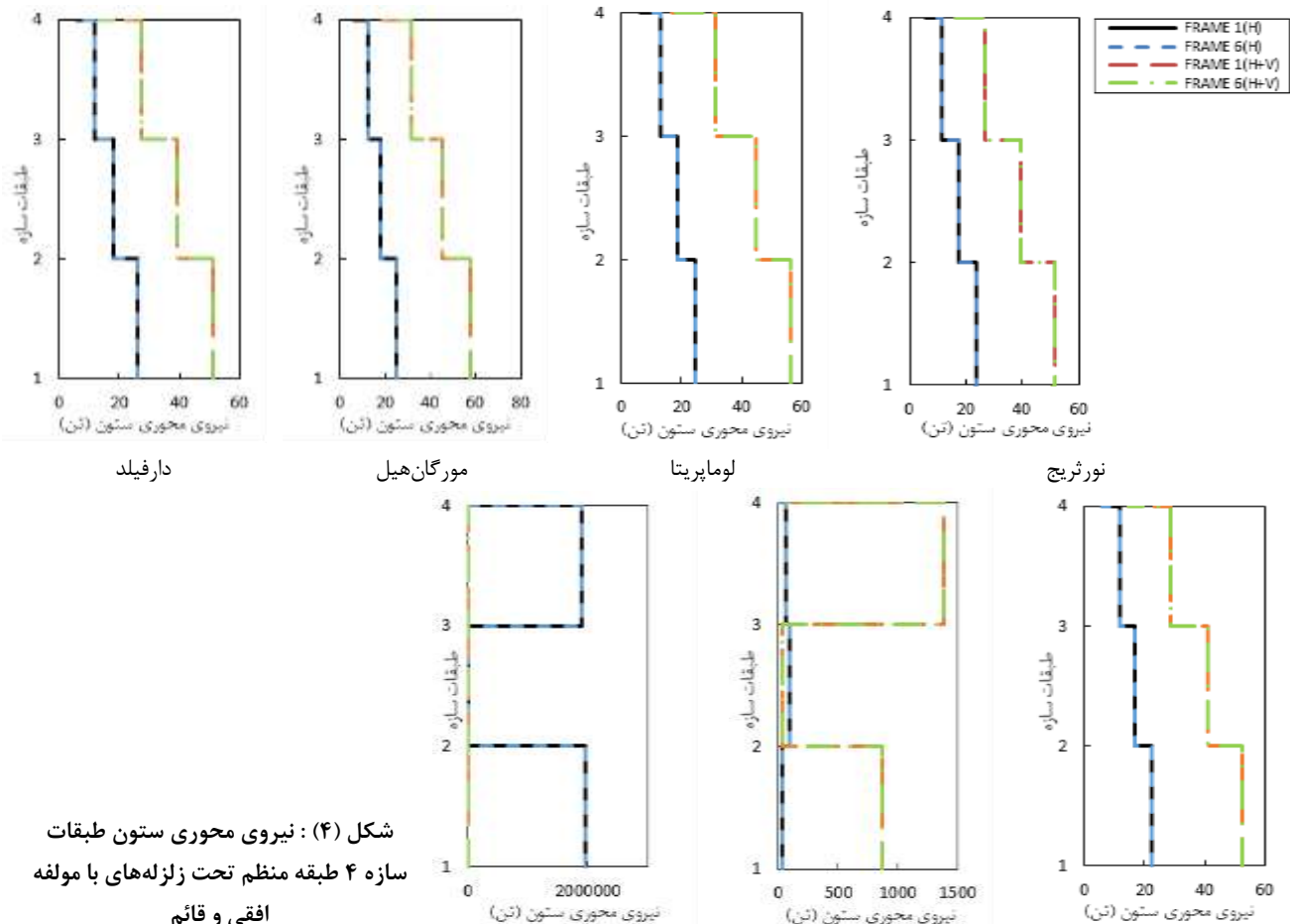
۴- بحث و تحلیل نتایج

پس از طراحی سازه‌ها و تعیین رکوردهای مورد استفاده نوبت به هدف اصلی این تحقیق یعنی بررسی تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر این سازه‌ها می‌رسد. برای این کار از روش تحلیل دینامیکی غیرخطی استفاده می‌شود. یکی از نرم‌افزارهای موجود برای انجام این تحلیل، نرم‌افزار SAP2000 است که در این زمینه بسیار پرکاربرد است. سه پارامتر در این بخش بررسی می‌شوند که عبارتند از برش پایه، تغییر نیروی محوری و لنگر خمشی تحت اثر همزمان هر سه مؤلفه ی حرکتی زمین. در ادامه به ترتیب به این موارد پرداخته می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی در مورد برش پایه برای هر دو حالت با لحاظ نمودن مؤلفه قائم و بدون در نظر گرفتن آن برای سازه منظم و نامنظم تحت طیف شتاب زلزله‌های نورث‌ریج، لوماپریتا، مورگان هیل، دارفیلد، امپریال‌والی، کوبه و کوکائلی در شکل (۳) آورده شده است.



شکل (۳): بیشترین برش پایه سازه‌ها تحت زلزله‌های مختلف

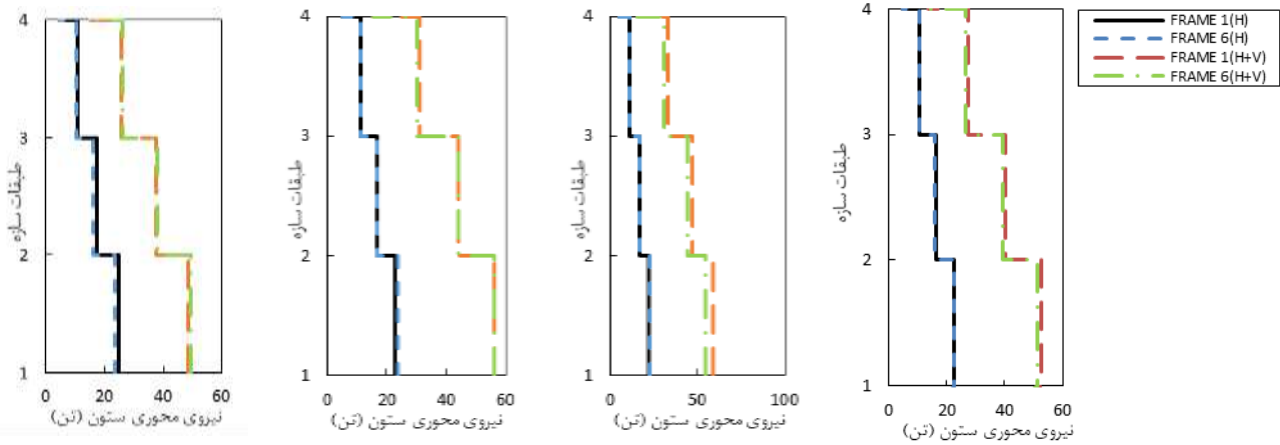
یکی از تأثیرات عمده ی مؤلفه ی قائم حرکت زمین بر ستون‌های سازه های ساختمانی می باشد، در ادامه به سهم مؤلفه قائم زلزله در افزایش نیروی محوری ستون‌های سازه‌های طراحی شده پرداخته می شود. شکل‌های (۴) تا (۹) نتایج خروجی از نرم‌افزار را نمایش می‌دهد.



امپریال والی

کوبه

کوکائلی



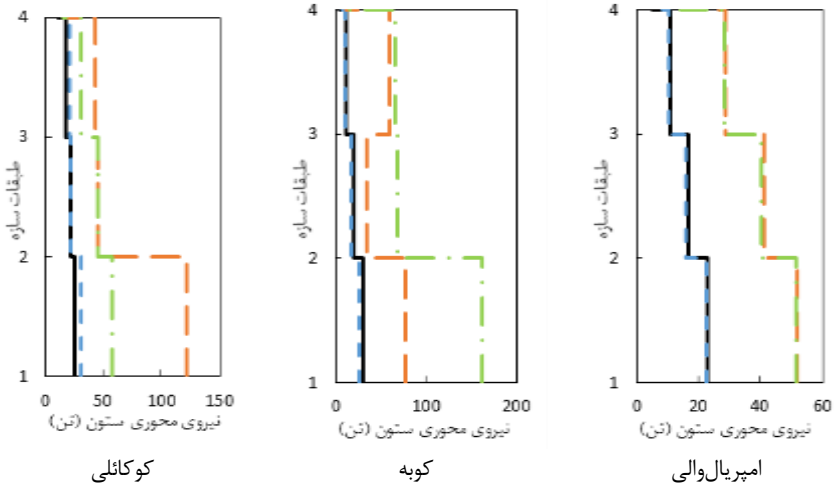
دارفیلد

مورگان هیل

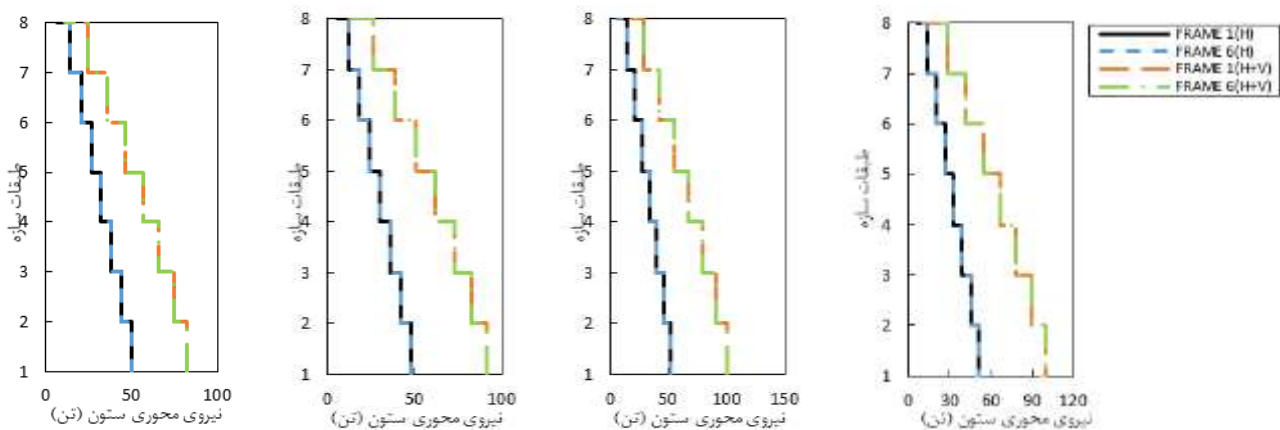
لوماپریتا

نورث ریج

شکل (۵): نیروی محوری ستون طبقات سازه ۴ طبقه منظم تحت زلزله‌های با مولفه افقی و قائم



همانطور که در شکل (۴) و (۵) مشخص هست، سازه ۴ طبقه تحت دو زلزله کوبه و کوکائلی به مرحله تخریب رسیده است. با بررسی ستون‌های گوشه قاب‌های ۱ و ۶ استنباط می‌شود که این افزایش نیروی محوری باعث فشار مضاعف در ستون‌های گوشه سازه‌های نامنظم و تاثیر بیشتر مولفه قائم زلزله بر این ستون‌ها می‌گردد.

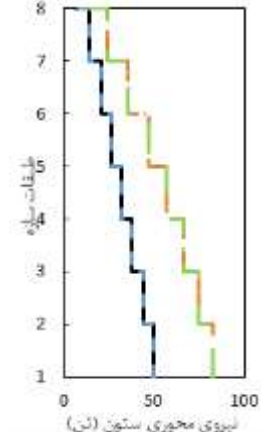
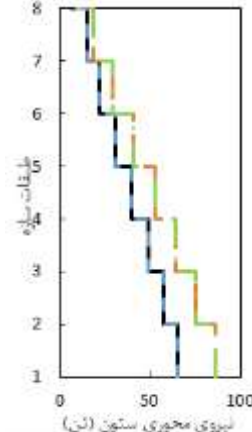
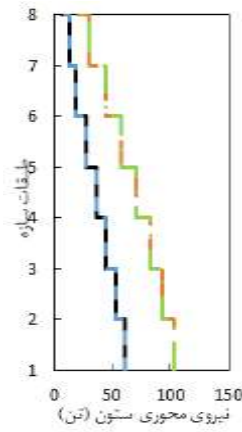


دارفیلد

مورگان هیل

لوماپریتا

نورث ریج



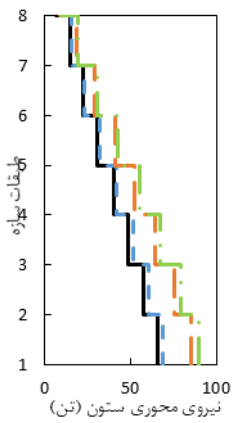
شکل (۶): نیروی محوری ستون طبقات سازه ۸ طبقه منظم تحت زلزله‌های با مولفه افقی و قائم

قائم

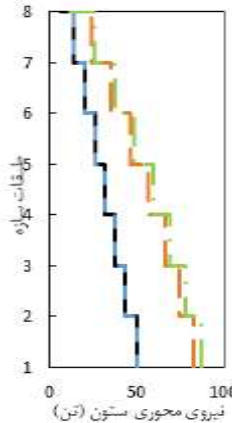
کوکالی

کوبه

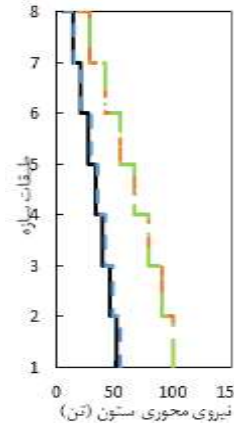
امپریال والی



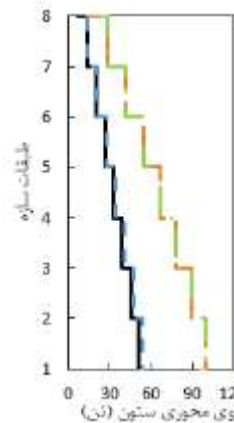
دارفیلد



مورگان هیل



لوماپریتا



نورث ریج

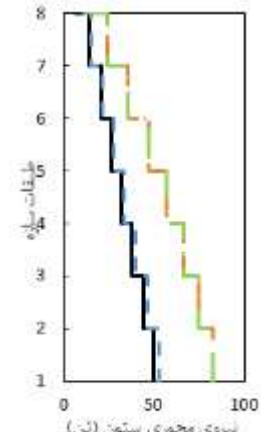
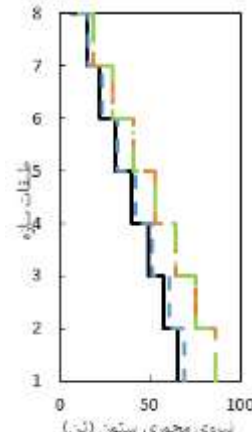
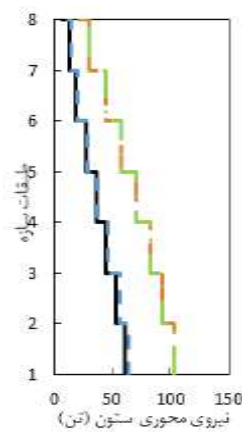
شکل (۷): نیروی محوری ستون طبقات سازه ۸ طبقه نامنظم تحت زلزله‌های با مولفه افقی و قائم

و قائم

کوکالی

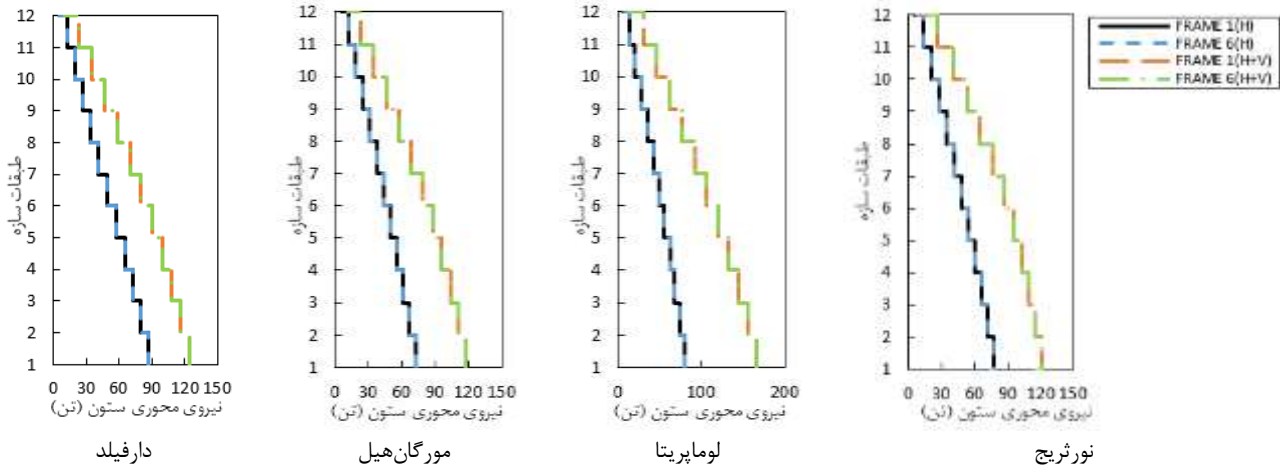
کوبه

امپریال والی

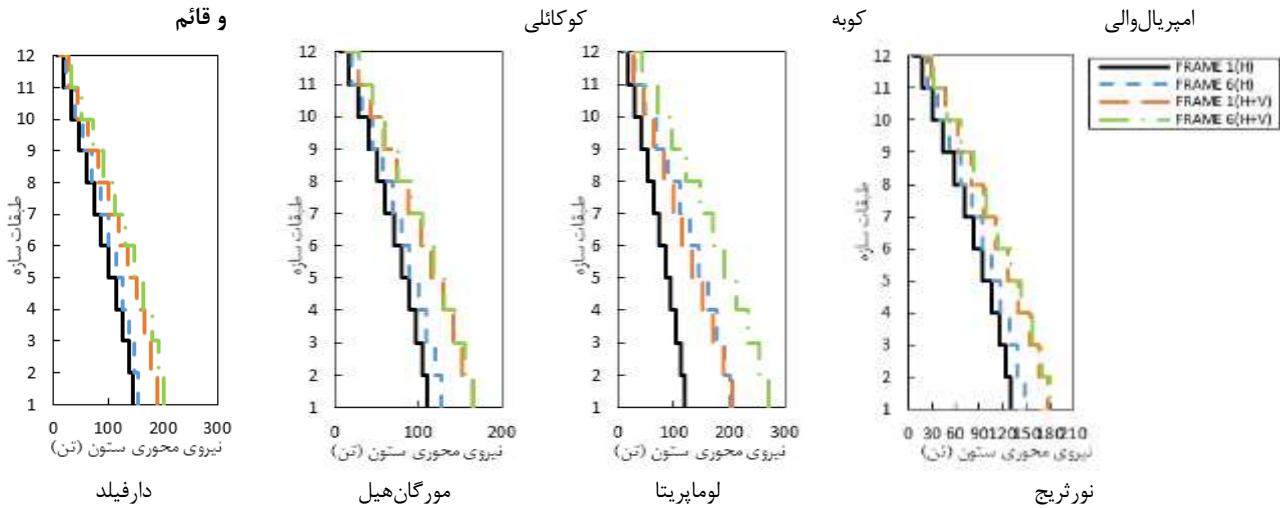
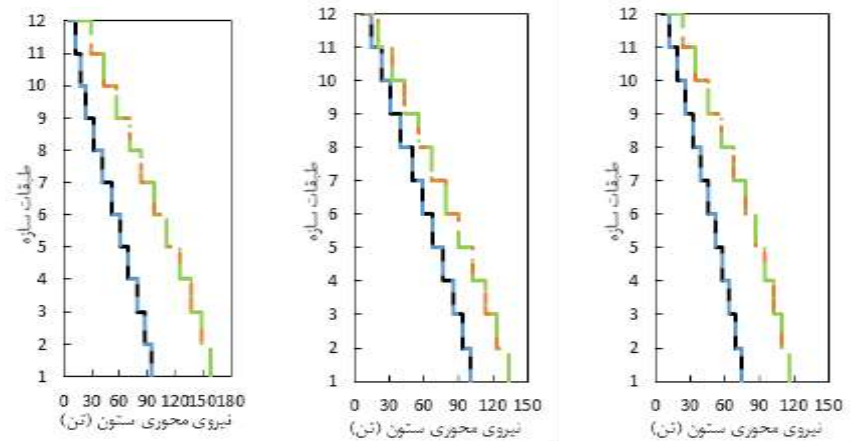


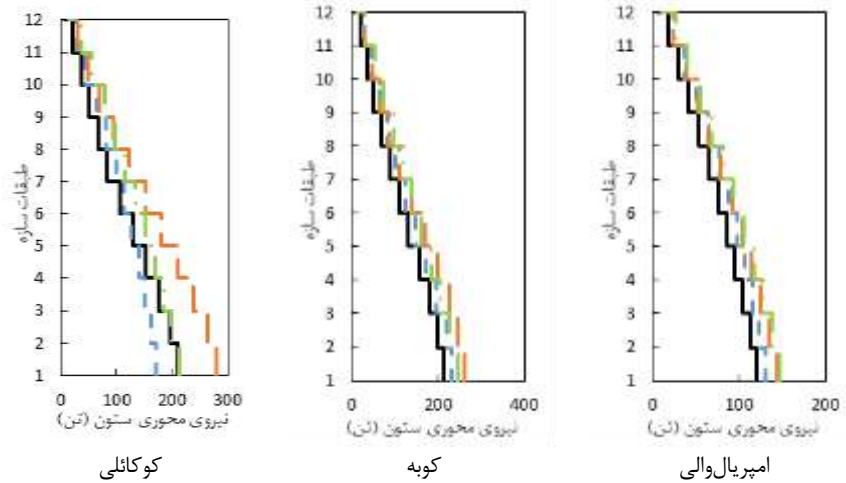


ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (۸): نیروی محوری ستون طبقات سازه ۱۲ طبقه منظم تحت زلزله‌های با مولفه افقی و قائم





شکل (۹): نیروی محوری ستون طبقات سازه ۱۲ طبقه نامنظم تحت زلزله‌های با مولفه افقی و قائم

با بررسی ستون‌های گوشه قاب‌های ۱ و ۶ در شکل‌های (۷) تا (۹) استنباط می‌شود که این افزایش نیروی محوری باعث فشار مضاعف در ستون‌های گوشه سازه و تاثیر بیشتر مولفه قائم زلزله بر این ستون‌ها می‌گردد ولی در سازه ۱۲ طبقه نامنظم با اینکه نیروهای محوری در ستون‌ها گوشه بیشتر از سازه منظم می‌باشد ولی درصد افزایش تحت زلزله قائم کمتر از سازه منظم اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر در ستون‌های گوشه‌ی سازه‌ها، نیروی محوری به طور عمده به واسطه دو مؤلفه ی افقی زلزله افزایش یا کاهش می‌یابد و نقش مؤلفه ی قائم کم‌رنگ تر می‌شود. اما این تأثیر در مواردی که پیک شتاب زمین در رکورد مربوط به مؤلفه های افقی و قائم از نظر زمان وقوع همزمانی بیشتری داشته باشند، بسیار بیشتر می‌شود. جدول (۲) درصد افزایش لنگر خمشی وسط تیرهای که در طبقات انتخاب شده‌اند، را نشان می‌دهند. به منظور تعیین تاثیر مؤلفه ی قائم رکوردهای مورد استفاده در تحلیل‌ها، مقدار متناظر با $H+V$ در هر خانه از جدول‌ها را بر مقدار متناظر با H تقسیم می‌کنیم و مقادیر درصد افزایش محاسبه می‌گردد.

جدول (۲): درصد تغییر لنگر خمشی وسط تیرهای سازه ۴ طبقه منظم و نامنظم تحت مولفه قائم زلزله

قاب ۶		قاب ۱		رکوردها
نامنظم	منظم	نامنظم	منظم	
4.99	0.22	4.12	0.22	نورثریج
-1.57	1.155	-0.35	1.155	لوماپریتا
0.00	0.0225	0.05	0.0225	مورگان‌هیل
-5.79	-6.445	-1.30	-6.445	دارفیلد
-0.04	0.0075	-0.05	0.0075	امپریال‌والی
-	-	-	-	کوبه
-	-	-	-	کوکالی

جدول (۳): درصد تغییر لنگر خمشی وسط تیرهای سازه ۸ طبقه منظم و نامنظم تحت مولفه قائم زلزله



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

قاب ۶		قاب ۱		رکوردها
نامنظم	منظم	نامنظم	منظم	
2.04	0.63	2.31	0.63	نورثریج
0.43	1.56	-0.66	1.56	لوماپریتا
0.00	0.89	0.01	0.89	مورگان هیل
1.50	0.70	0.38	0.70	دارفیلد
0.02	0.71	-0.03	0.71	امپریال والی
2.46	-1.69	5.36	-1.69	کوبه
4.59	8.96	13.28	8.96	کوکائلی

جدول (۴): درصد تغییر لنگر خمشی وسط تیرهای سازه ۱۲ طبقه منظم و نامنظم تحت مولفه قائم زلزله

قاب ۶		قاب ۱		رکوردها
نامنظم	منظم	نامنظم	منظم	
0.70	1.04	-0.03	0.93	نورثریج
0.83	3.81	1.80	3.81	لوماپریتا
-0.01	0.16	0.02	0.16	مورگان هیل
0.43	0.08	0.85	0.08	دارفیلد
-0.06	0.08	0.06	0.08	امپریال والی
-0.57	0.12	0.16	0.12	کوبه
-0.08	11.11	0.50	11.11	کوکائلی

نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که نامنظمی پیچشی در سازه باعث تغییر در لنگر خمشی وسط تیرهای سازه ۴ طبقه می‌شود. با بررسی تیرهای گوشه قاب‌های ۱ و ۶ استنباط می‌شود که این افزایش لنگر باعث بحرانی شدن در لنگر وسط تیرهای گوشه سازه و تاثیر بیشتر مولفه قائم زلزله بر این تیرها می‌گردد. برای بررسی اثر خروج از مرکزیت در پاسخ جابجایی قاب ۱ و ۶ (لبه‌ی نرم و سخت)، جابجایی هر دو لبه، جابجایی لبه‌ی نرم و سخت بطور جداگانه در سازه نامنظم بررسی شده است. برای بررسی جابجایی لبه‌ی نرم و سخت در محدوده‌ی غیرخطی، جابجایی برای هر طبقه سازه بدست آمده است. آیین‌نامه ۲۸۰۰ سازه‌هایی را که خروج از مرکزیت آن‌ها بیش از ۲۰ درصد بعد سازه باشد، نامنظم پیچشی می‌شناسد. برای بررسی کفایت این ضابطه مقدار خروج از مرکزیت در لبه‌ی نرم و سخت تحت زلزله‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج ضریب خروج از مرکزیت جابجایی ناشی از تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی برای لبه نرم و سخت برای سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه نامنظم در جدول (۵) تا (۷) آمده است. نتایج نشان می‌دهد که مولفه قائم می‌تواند در تشدید پیچش سازه تاثیر گذار باشد. همچنین زلزله‌های مختلف با توجه به ماهیت فرکانسی که دارند می‌توانند موجب افزایش یا حتی کاهش خروج از مرکزیت سازه شوند.

جدول (۵): ضریب پیچش سازه ۴ طبقه تحت مولفه‌های افقی و قائم زلزله

کوکائلی		کوبه		امپریال والی		دارفیلد		مورگان هیل		لوماپریتا		نورثریج		زلزله طبقات
H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	
1.26	1.97	2.00	1.16	1.31	1.31	1.36	1.12	1.33	1.32	1.06	1.06	1.16	1.15	۱
1.90	1.90	1.77	1.01	1.32	1.32	1.44	1.20	1.29	1.29	1.14	1.14	1.23	1.22	۲
1.11	1.93	1.65	1.03	1.35	1.35	1.42	1.21	1.24	1.23	1.18	1.18	1.26	1.25	۳
1.12	1.99	2.00	1.02	1.31	1.32	1.40	1.22	1.13	1.13	1.19	1.19	1.26	1.25	۴



ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



جدول (۶) : ضریب پیچش سازه ۸ طبقه تحت مولفه‌های افقی و قائم زلزله

کوکائلی		کوبه		امپریال‌والی		دارفیلد		مورگان‌هیل		لوماپریتا		نورث‌ریچ		زلزله طبقات
H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	
1.25	1.25	1.47	1.48	1.10	1.10	1.09	1.10	1.07	1.07	1.16	1.16	1.17	1.18	۱
1.25	1.24	1.57	1.57	1.13	1.13	1.13	1.14	1.12	1.12	1.27	1.26	1.13	1.15	۲
1.23	1.24	1.46	1.46	1.13	1.13	1.13	1.14	1.15	1.15	1.32	1.33	1.09	1.12	۳
1.20	1.22	1.36	1.37	1.13	1.13	1.13	1.13	1.16	1.16	1.38	1.38	1.05	1.07	۴
1.19	1.21	1.24	1.24	1.13	1.13	1.12	1.13	1.18	1.18	1.42	1.42	1.00	1.00	۵
1.20	1.22	1.16	1.16	1.12	1.12	1.12	1.13	1.19	1.19	1.44	1.43	1.06	1.06	۶
1.22	1.25	1.19	1.20	1.12	1.12	1.11	1.12	1.21	1.21	1.43	1.42	1.08	1.08	۷
1.23	1.26	1.22	1.22	1.12	1.12	1.09	1.09	1.23	1.23	1.39	1.38	1.08	1.08	۸

جدول (۷) : ضریب پیچش سازه ۱۲ طبقه تحت مولفه‌های افقی و قائم زلزله

کوکائلی		کوبه		امپریال‌والی		دارفیلد		مورگان‌هیل		لوماپریتا		نورث‌ریچ		زلزله طبقات
H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	H+V	H	
1.31	1.29	1.47	1.48	1.34	1.34	1.21	1.21	1.27	1.27	1.08	1.08	1.10	1.10	۱
1.28	1.27	1.43	1.43	1.37	1.37	1.23	1.23	1.29	1.28	1.11	1.10	1.10	1.10	۲
1.27	1.25	1.40	1.40	1.39	1.39	1.24	1.25	1.28	1.28	1.11	1.11	1.09	1.09	۳
1.26	1.25	1.37	1.37	1.39	1.39	1.26	1.26	1.27	1.27	1.12	1.11	1.08	1.08	۴
1.26	1.25	1.35	1.35	1.38	1.38	1.27	1.27	1.27	1.27	1.12	1.11	1.07	1.07	۵
1.26	1.26	1.34	1.34	1.37	1.37	1.27	1.27	1.26	1.26	1.12	1.12	1.06	1.06	۶
1.27	1.27	1.34	1.34	1.36	1.36	1.25	1.25	1.25	1.25	1.12	1.12	1.05	1.05	۷
1.28	1.28	1.35	1.35	1.35	1.35	1.22	1.22	1.25	1.25	1.11	1.11	1.04	1.04	۸
1.29	1.28	1.36	1.36	1.34	1.34	1.18	1.18	1.24	1.24	1.10	1.10	1.04	1.04	۹
1.29	1.29	1.37	1.37	1.32	1.32	1.14	1.14	1.23	1.23	1.09	1.09	1.04	1.04	۱۰
1.29	1.29	1.37	1.37	1.31	1.31	1.11	1.11	1.22	1.22	1.08	1.07	1.03	1.03	۱۱
1.29	1.29	1.37	1.37	1.29	1.29	1.08	1.08	1.21	1.21	1.06	1.06	1.01	1.02	۱۲

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر مؤلفه‌ی قائم حرکت زمین بر قاب‌های خمشی متوسط با مهاربند همگرای ویژه سه بعدی طراحی شده بر اساس آیین‌نامه‌های ایران مورد بررسی قرار گرفت. قاب‌های فولادی سه بعدی دارای ۵ دهانه منظم در پلان مربعی شکل با طول دهانه‌های ۵ متر و در سه گروه ۴، ۸ و ۱۲ طبقه به صورت منظم و نامنظم طراحی گردید. ۷ دسته رکورد نزدیک گسل در هر سه جهت مختصات مورد استفاده قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد.

۱- افزایش نیروی محوری ستون‌های سازه در اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله به طور میانگین برای سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه منظم به ترتیب ۱۴۱، ۹۱ و ۷۹ درصد و برای سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه نامنظم به ترتیب ۱۵۸، ۱۰۲ و ۳۴ درصد که میزان افزایش نیروی محوری در طبقات پایین بیشتر از طبقه بام می‌باشد.

۲- تأثیر مؤلفه‌ی قائم زلزله در تغییر نیروی محوری ستون‌های سازه با افزایش طبقات از ۴ به ۱۲ طبقه کاهش می‌یابد.

۳- افزایش لنگر وسط تیرهای سازه در اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله به طور میانگین برای سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه منظم به ترتیب ۱، ۱/۶ و ۲/۴ درصد و برای سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه نامنظم به ترتیب ۰/۶، ۲/۲۲ و ۰/۳۲ درصد که در سازه ۴ طبقه، میزان افزایش لنگر وسط تیر در طبقه بام بیشتر و با افزایش تعداد طبقات در طبقات میانی بیشتر افزایش می‌یابد.

۴- تأثیر مؤلفه قائم در افزایش برش پایه سازه‌های منظم و نامنظم ناچیز می‌باشد.



منابع

۱. استاندارد ۲۸۰۰، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در مقابل زلزله، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۳.
۲. مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث دهم طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، تهران، نشر توسعه ایران، ۱۳۹۲.
۳. نشریه ۳۶۰، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، دفتر امور فنی تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۲.
4. Akhavan, S.M., Kheyroddin, A. and Hemmati, A., (2020). Seismic behavior of end walls in RC tall buildings with torsional irregularity. *Magazine of Civil Engineering*, (5), pp.9707-9707.
5. Bhasker, R. and Menon, A., (2020), August. Torsional irregularity indices for the seismic demand assessment of RC moment resisting frame buildings. In *Structures* (Vol. 26, pp. 888-900). Elsevier.
6. Ju, S.H., Liu, C.W. and Wu, K.Z. (2000). 3D Analyses of buildings under vertical component of earthquakes. *Journal of Structural Engineering*, 126(10), pp.1196-1202.
7. Khosrow Beigi, M. and KhodaBandehLou, A., (2020). Investigating the Effect of Vertical Component of Earthquake on Seismic Responses of Concrete Slabs with Opening. *Journal of Concrete Structures and Materials*, 5(2), pp.78-93.
8. Kikuchi, M., Dan, K., & Yashiro, K. (2000). Seismic behavior of a reinforced concrete building due to large vertical ground motion in near source regions. In *Proceedings of 12th. World Conference on Earthquake Engineering*.
9. Tian, Y., Liu, X. and George, S., (2020). Effects of vertical ground motion on seismic performance of reinforced concrete flat-plate buildings. *Journal of Structural Engineering*, 146(12), p.04020258.
10. Tzortzis, A., Paul, N. and Almufti, I. (2018). Implications of the vertical component of ground motion on building response.
11. Wong, C. M., Tso, W. K. (1994). Inelastic seismic response of torsionally unbalanced systems designed using elastic dynamic analysis, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, pp 777-798.