

بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله بر دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک*

(یادداشت پژوهشی)

مجید قلهکی^(۱) محمدجواد ستاری^(۲)

چکیده خرابی ناشی از زلزله‌های نرثریدج و کوبه، حاکی از اثرات تعیین‌کننده مؤلفه قائم زلزله نسبت به مؤلفه افقی آنها بود. از طرفی دیوار برشی فولادی با ورق نازک یکی از سیستم‌های مقاوم نسبتاً جدید بوده است که تاکنون رفتار آن تحت مؤلفه قائم زلزله بررسی نشده است. بر این اساس در این مقاله اثرات مؤلفه قائم بر پاسخهای لرزه ای، همانند تغییرمکان و برش طبقات و نیروهای ستون‌ها و تیرها با استفاده از تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی تحت چندین نگاهت مؤلفه های افقی و قائم مختلف در قابهای ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه بررسی شده است. نتایج تحلیل‌ها، نشان می‌دهد مؤلفه قائم زلزله تأثیر قابل توجهی بر پاسخهای لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی دارد.

واژه‌های کلیدی دیوار برشی فولادی با ورق نازک؛ مؤلفه قائم زلزله، تحلیل دینامیکی غیرخطی؛ پاسخهای لرزه‌ای.

Study of Effect of Vertical Components of Earthquake on Thin Steel Plate Shear Walls

M.Gholhaki M.J. Sattari

Abstract Damages due to Northridge and Kobe earthquakes were expressive of considerable effects of vertical components of earthquakes compared to the horizontal ones. On the other hand, thin steel plate shear wall is one of the newest resistant systems which until now its behavior haven't been investigated under vertical component of earthquake. Therefore, in this article, effects of vertical component on seismic responds such as displacement and stories shear and forces of columns and beams with usage of non-linear time history dynamic analysis under several ground motions of vertical and horizontal components of earthquakes in 3, 10 and 20 frames is studied. Results of analysis show that vertical component of earthquake has considerable effect on seismic responds of steel shear walls.

Key words Thin Steel Plate Shear Walls; Vertical Component; Non-linear Dynamic Analysis; Seismic Responds.

* تاریخ دریافت مقاله ۹۱/۶/۱۸ و تاریخ پذیرش آن ۹۲/۹/۱۱ می‌باشد.

(۱) نویسنده مسئول: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

(۲) کارشناس ارشد سازه، دانشگاه سمنان.

مقدمه

زلزله‌های حوزه نزدیک با تأکید بر مؤلفه قائم نیروی زلزله و تأثیر آن بر پاسخ غیرخطی قاب‌های دوبعدی پرداختند. هم‌چنین جو، لیو و وو [8] در این سال با تحلیل دینامیکی چند مدل سه‌بعدی بتن آرمه، به بررسی روند پاسخ‌های سازه‌ای و عملکرد آنها تحت مؤلفه قائم زلزله پرداختند. در این تحقیق به مقایسه اثرات تحریک زلزله به صورت دو مؤلفه‌ای و سه مؤلفه‌ای (دو مؤلفه افقی و یک مؤلفه قائم) پرداخته شد و اثر پارامترهای مختلفی از جمله طول دهانه (با تأکید بر روی دهانه‌های بزرگ)، تعداد طبقات و خروج از مرکزیت‌های مختلف در ساختمان‌ها مورد توجه قرار گرفت.

حسینی و فیروزی [9] اثر مؤلفه قائم زلزله را در ساختمان‌های فولادی ۴ و ۵ طبقه با سیستم باربر جانبی باندبند به وسیله نرم‌افزار دینامیکی غیرخطی Drain-3D مورد بررسی قرار دادند، نتایج عددی نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه مؤلفه قائم بر ستون‌های سازه‌های مهاربندی شده بود. البته این تأثیر نسبت به ستون‌های قاب‌های خمشی (همان‌طور که انتظار می‌رفت) کمتر بود.

هم‌چنین مشاهدات تجربی از زلزله‌های مختلف در طی سال‌های اخیر و به‌خصوص در زلزله‌هایی نظیر کوبه و نورث ریج حاکی از وارد آمدن خسارات بسیار شدیدی به سازه‌ها است که پس از تحقیق و بررسی، علت بروز خسارات شدید را به وجود مؤلفه قائم قوی در این زلزله‌ها نسبت داده‌اند (شکل ۱).

از طرفی در خلال چهار دهه گذشته، از دیوار برشی فولادی به‌عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بار جانبی که دارای عملکرد لرزه‌ای مناسبی می‌باشد، در طراحی و تقویت بعضی از ساختمان‌ها استفاده شده است [۱۰].



شکل ۱ شکست فشاری ستون‌های پل بال کریک در زلزله نورث ریج کوبه

در حالت کلی زمین‌لرزه را می‌توان براساس شش مؤلفه حرکت زمین در نظر گرفت. این مؤلفه‌ها شامل سه مؤلفه انتقالی و سه مؤلفه دورانی می‌باشد. حرکت زمین در هنگام زلزله معمولاً بر حسب سه مؤلفه انتقالی بیان می‌شود که از سه مؤلفه انتقالی زلزله دو مؤلفه افقی متعامد و یک مؤلفه قائم می‌باشد. مطالعه حرکات زمین در طی زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد که میزان مؤلفه قائم شتاب زمین در زمین‌لرزه‌های حوزه نزدیک قابل توجه و حتی در برخی از موارد از مؤلفه‌های افقی بیشتر است [۱]. لذا تحقیقات زیادی به‌منظور بررسی اثر مؤلفه قائم شتاب زلزله بر رفتار سازه‌ها صورت پذیرفته است و به‌ویژه پس از زلزله‌های نورث‌ریج (۱۷ ژانویه ۱۹۹۴) و کوبه (۱۷ ژانویه ۱۹۹۵) این مسأله مورد توجه بیشتر محققان قرار گرفته است و آئین‌نامه‌های مختلف، درصدد لحاظ کردن این موضوع مهم در توصیه‌های طراحی خود برآمده‌اند [۲].

یکی از اولین تحقیقات در این زمینه توسط اینگاس و شینوزوکا [3] صورت گرفت که در آن یک تیر طره را برای بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله مورد مطالعه قرار دادند و این اثر به‌صورت ساده‌ای مورد بررسی قرار گرفت. صادق وزیر و فوج [4] نیز در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که ارتعاشات قائم باعث ناپایداری در ستون‌ها می‌گردد.

سالازار و هالادار [5] پاسخ لرزه‌ای سه نمونه ساختمان ۳، ۵ و ۱۵ طبقه تحت ۱۳ رکورد زلزله با در نظر گرفتن مؤلفه قائم در آئین‌نامه‌های نرپ و مکزیک مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که احتمال افزایش نیروی محوری در ستون‌ها وجود دارد.

دایوتالوی و لندی [6] نیز با انتخاب یک مدل دو-بعدی بتنی، اثرات مؤلفه قائم زلزله بر رفتار این قاب و پارامترهای مختلفی از قبیل تغییر مکان سقف، نیروی محوری ستون‌ها و میزان جذب انرژی ستون‌ها را مورد بررسی قرار دادند. هم‌چنین در این سال علاقه‌بندیان و همکار [7] به بررسی پاسخ قاب‌های بتن آرمه تحت

غیر خطی قرار گرفته است و اثرات دو مؤلفه‌ای و سه مؤلفه‌ای زلزله بر پاسخ‌های لرزه‌ای، از قبیل تغییر مکان و برش طبقات، نیروی محوری و لنگر خمشی ستون‌ها و نیروی برشی و لنگر خمشی تیرها، محاسبه و مقایسه گردیده است.

در رابطه با صحت‌سنجی نتایج مدل‌های ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه متأسفانه هنوز تحقیقی آزمایشگاهی به دلیل هزینه‌بر بودن و سختی کار، در موضوع اثر مؤلفه قائم زلزله بر سازه‌ها در دنیا انجام نشده است تا بتوان به آنها استناد کرد. بنابراین به نظر می‌رسد باتوجه به نبود کار آزمایشگاهی مناسب در این زمینه، می‌توان برای صحت‌سنجی نتایج به‌دست آمده به نتایج تحلیلی و نرم‌افزاری کارهای گذشته و نیز مشاهدات تجربی زلزله‌های گذشته اکتفا کرد.

مشخصات مدل آزمایشگاهی مورد استفاده

در این تحقیق، از دیوار برشی فولادی شکل‌پذیر سه طبقه دارای ورق نازک با مقیاس یک‌سوم که تحت بارگذاری چرخه‌ای توسط قلهکی مورد آزمایش قرار گرفته بود، استفاده شده است. دیوار مذکور دارای اتصال تیر به ستون صلب است و در ورق پانل‌ها و ستون‌ها به ترتیب فولاد نرم (فولاد جاذب انرژی) و پرمقاومت به‌کار گرفته شده است [۱۷].

در آزمایش فوق‌الذکر، قبل از خرابی نمونه و پایان آن، تغییر مکان طبقه اول به ۱۰ برابر تغییر مکان اولین تسلیم‌شدگی آن رسید. نمونه، شکل‌پذیری عالی، سختی اولیه زیاد و جذب انرژی بالایی داشت و حلقه‌های هیستریزس آن رفتار پایداری را نشان دادند. استفاده از فولاد نرم (فولاد جاذب انرژی) در ورق پانل‌ها باعث جذب انرژی فوق‌العاده‌ای در تغییر مکان‌های بزرگ شد. علاوه بر این، در خلال آزمایش‌ها و تا پایان آنها هیچ‌گونه علائمی از کمناش موضعی یا کلی در ستون‌ها دیده نشد. شکل (۲) نمای کلی دیوار برشی فولادی مذکور، ابعاد و مقاطع تیرها و

از مزایای استفاده از این سیستم نسبت به مشابه بتنی می‌توان به مواردی هم‌چون کاهش وزن مرده ساختمان و در نتیجه کاهش نیروی زلزله وارد بر آن، افزایش سختی جانبی و در نتیجه کاهش جابه‌جایی بالای آن، کاهش ابعاد تیر و ستون‌ها و در نتیجه افزایش فضای مفید طبقات و همچنین اجرای سریع و آسان آن اشاره نمود. رفتار مناسب سیستم در جذب انرژی، پایداری حلقه‌های هیستریزس و هم‌چنین سختی، مقاومت و شکل‌پذیری بالای آن، ایده استفاده از این سیستم مقاوم در ساختمان‌ها را بیش از پیش تقویت می‌کند [۱۰].

در این زمینه مطالعات متعدد آزمایشگاهی و تحلیلی توسط محققان مختلف در کشورهایی هم‌چون ایران، کانادا، آمریکا، ژاپن، انگلیس و تایوان انجام شده و یا در حال انجام است. در زمینه دیوارهای برشی فولادی بدون سخت‌کننده می‌توان به مطالعاتی هم‌چون، ارائه روابط پس از کمناش ورق توسط تریورن [11]، انجام آزمایش دیوار برشی ۴ طبقه توسط تیملر و کولاک در همین سال [12]، اثر نوع اتصال تیر و ستون بر رفتار دیوار برشی فولادی توسط کیکس [13]، بررسی رفتار دینامیکی دیوار برشی فولادی، توسط صبوری و رابرتز [14] و اثر بازشو در رفتار دیوار برشی فولادی توسط صبوری و رابرتز [15]، رفتار برشی دیوارهای برشی فولادی با ورق نرم توسط برمن و برونیو [16] اشاره کرد. بر این اساس و با توجه به این‌که تاکنون رفتار

این سیستم سازه‌ای تحت مؤلفه قائم زلزله مورد بررسی قرار نگرفته است، در این تحقیق به‌منظور بررسی اثر مؤلفه قائم و نیز اثر توأم مؤلفه قائم و افقی، مدل آزمایشگاهی قلهکی [۱۷] که دیوار برشی فولادی شکل‌پذیر سه طبقه دارای ورق نازک با مقیاس یک سوم می‌باشد، به‌منظور اطمینان یافتن از صحت مدل‌سازی و نیز نحوه تحلیل نرم‌افزار و گرفتن خروجی‌های مناسب به‌همراه مدل‌های ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه در نرم‌افزار اجزاء محدود Abaqus مدل شده است و تحت چندین شتاب‌نگاشت مؤلفه افقی و قائم، مورد تحلیل دینامیکی

ابعاد ۵۰ میلی متر انتخاب شده است که این مسئله باعث کند شدن آنالیزها می شود. همچنین از المان های Shell S4R در مدل سازی ها استفاده شده است.

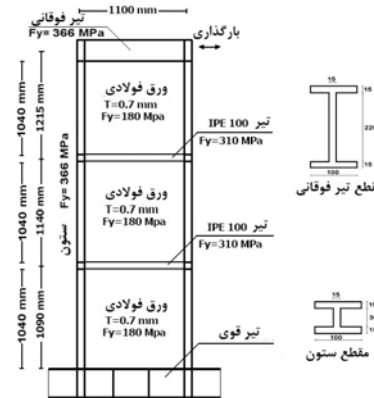
هر دو نوع غیرخطی شدن مصالح و هندسه نیز در آنالیزها لحاظ گردیده است. برای سادگی، از مدل پلاستیسیته دو خطی با سخت شونده گی سینماتیکی و تابع تسلیم فون میسر استفاده گردید. شیب قسمت سخت شونده نمودار تنش- کرنش برابر ۵ درصد قسمت الاستیک در نظر گرفته شد.

در نرم افزارهای اجزای محدود چنانچه فرض ناصافی اولیه در مرکز ورق ها در نظر گرفته نشود، صفحه تحت بار داخل صفحه دچار کمانش نمی شود و بدین ترتیب سختی و بار تسلیم دیوار بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده می شود. بر این اساس در این تحلیل ها، ابتدا آنالیز حساسیت میزان اعوجاج اولیه بر روی ورق ها صورت پذیرفت.

بدین صورت که تغییر مکان اولیه اندکی به میزان دلخواه به وسط ورق اعمال شد، سپس مدل تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون (پوش آور) با اعمال تغییر مکان افزاینده به نقاط انتهایی تیر عمیق طبقه سوم قرار گرفت و تغییر مکان طبقه اول به همراه برش پایه ایجاد شد، از نرم افزار استخراج و به صورت نمودار برش پایه - تغییر مکان ترسیم گردید. سپس این نمودار با پوش منحنی چرخه ای هیستریزس آزمایشگاهی مقایسه شد.

تغییر مکان اولیه، مقداری کاهش داده شد و بار دیگر تحلیل پوش آور بر روی مدل انجام شد. این کار تا جایی ادامه پیدا کرد که اختلاف نمودار برش پایه - تغییر مکان استخراج شده از تحلیل پوش آور نرم افزار و پوش منحنی چرخه ای هیستریزس آزمایشگاهی در سختی و بار تسلیم به حداقل ممکن برسد. که در نهایت میزان اعوجاج اولیه ۳ میلی متر با توجه به موارد ذکر شده انتخاب شد. به منظور کالیبره نمودن مدل، آنالیز استاتیکی غیر خطی با اعمال تغییر

ستون ها را نشان داده و در جدول (۱) خصوصیات مکانیکی اجزای مورد استفاده در آن آورده شده است [۱۷].



شکل ۲ نمای کلی و جزئیات نمونه دیوار برشی فولادی آزمایشگاهی

جدول ۱ خصوصیات مکانیکی اجزای نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی

اعضا	تنش تسلیم (N/mm ²)	تنش نهایی (N/mm ²)	مدول الاستیسیته (KN/mm ²)
ورق	۱۸۰	۳۰۰	۲۰۶
تیرهای میانی	۳۱۰	۴۴۶	۲۰۶
ستون و تیر فوقانی	۳۶۶	۵۵۰	۲۰۶

مدل سازی در نرم افزار و کالیبره کردن مدل

به دلیل رخ دادن کمانش های متعدد و وارد شدن ورق به ناحیه پس کمانش، تحلیل های کامپیوتری دیوارهای برشی فولادی مشکلات زیادی داشته اند و نوع تئوری تغییر شکل های بزرگ به کار رفته و نوع آنالیز، می تواند تأثیر زیادی بر نتایج داشته باشد.

در ورق های نازک به علت کمانش های متعدد در نواحی مختلف، هم گرایی عددی به سختی صورت می پذیرد، لذا مش بندی ریز برای ورق لازم است، از این رو ابعاد المان ها پس از انجام آنالیز حساسیت به

در جدول (۲) قابل مشاهده است. به منظور مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها نیز مطابق استاندارد ۲۸۰۰ [۱۸] عمل شده است. بدین صورت که پس از مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها به مقدار حداکثر خود، طیف پاسخ شتاب هر یک از زوج شتاب‌نگاشت‌های افقی مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی ۵ درصد توسط نرم‌افزار SeismoSignal به دست می‌آید و پس از ترکیب کردن طیف‌های پاسخ هر زوج شتاب‌نگاشت با روش جذر مربعات، از آنها متوسط‌گیری می‌شود و در محدوده زمان‌های تناوب 0.2T و 1.5T با طیف طرح استاندارد مقایسه می‌گردد.

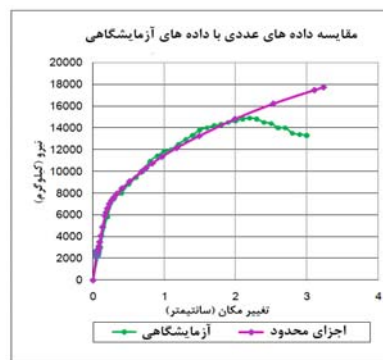
در نهایت ضرایب مقیاس متفاوتی برای مدل‌های مختلف با استفاده از روش بالا به دست آمده که در شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده (افقی و قائم) ضرب شده است. در جدول (۳) ضرایب مقیاس به دست آمده برای مدل آزمایشگاهی و مدل‌های ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه آورده شده است.

طراحی مدل‌های ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه

در این تحقیق علاوه بر مدل آزمایشگاهی، مدل‌های ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه که به ترتیب نماد ساختمان‌های کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه می‌باشند، نیز تحت تحلیل قرار گرفتند. طراحی دیوارهای برشی فولادی و تعیین ضخامت آنها با استفاده از روش نواری، مطابق آئین نامه UBC-97 صورت گرفته و با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران کنترل شده است.

در روش نواری، ورق دیوارهای برشی فولادی با مهاربندهای معادل صرفاً کششی جای‌گزین می‌شود و بعد از آن که مقاطع تیرها، ستون‌ها و مهاربندها به دست آمد، با استفاده از روابط روش نواری، ضخامت دیوارهای برشی فولادی به دست می‌آید [۱۰].

مکان افزایش به نقاط انتهایی تیر طبقه سوم انجام شد. در شکل (۳) منحنی به دست آمده از آنالیز اجزاء محدود با پوش منحنی چرخه‌ای آزمایشگاهی مدل سه طبقه مقایسه شده است.



شکل ۳ مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی

همان‌طور که مشاهده می‌شود نمودارهای به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی و عددی در سختی اولیه و بار تسلیم‌شدگی تطابق خوبی با یکدیگر دارند.

انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها و مقیاس کردن آنها

مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران، شتاب‌نگاشت‌هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا در هنگام وقوع زلزله، باشند. مدت زمان حرکت شدید زمین در شتاب‌نگاشت‌ها نیز حداقل برابر با ۱۰ ثانیه یا سه برابر زمان تناوب اصلی سازه، هر کدام بیشتر است، انتخاب می‌شوند [۱۸].

بر این اساس و با توجه به اینکه محتوای فرکانسی شتاب‌نگاشت‌ها (v_{max}/a_{max}) بایستی نزدیک به هم باشند و نیز این نکته که در زلزله‌هایی با PGA (شتاب حداکثر شتاب‌نگاشت) مؤلفه قائم زیاد مد نظر قرار بگیرد، نهایتاً سه شتاب‌نگاشت زلزله‌های طبرس (ایران)، لوما پریتا (کالیفرنیا آمریکا) و چچی (تایوان) انتخاب شد. بدیهی است که زلزله‌هایی با PGA و محتوای فرکانسی بالاتر نیز وجود داشتند، اما به دلیل آن‌که از معیارهایی که در بالا ذکر شد برخوردار نبودند، از انتخاب آنها صرف نظر شد. مشخصات این زلزله‌ها

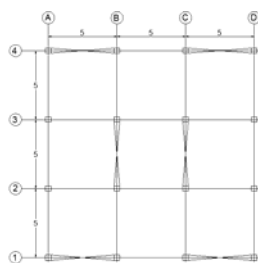
جدول ۲ مشخصات زلزله‌های انتخاب شده

نام زلزله	چی چی، تایوان	طیس، ایران	لوماپریتا، کالیفرنیا
حداکثر شتاب افقی (g)	۰/۹۷	۰/۸۴	۰/۵۳
حداکثر شتاب قائم (g)	۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۵۴
نسبت سرعت ماکزیمم به شتاب ماکزیمم - افقی (ثانیه)	۰/۱۱۳	۰/۱۱۹	۰/۰۶۸
نسبت سرعت ماکزیمم به شتاب ماکزیمم - قائم (ثانیه)	۰/۰۶۹	۰/۰۶۶	۰/۰۳۳
تعداد داده های رکورد	۱۷۹۹۵	۱۶۳۷	۷۹۸۶
بازه زمانی (ثانیه)	۰/۰۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰۵
مدت زلزله (ثانیه)	۸۹/۹۹	۳۲/۸۲	۳۹/۹۵
مدت زمان حرکت شدید زمین - افقی (ثانیه)	۲۱/۷۷	۱۶/۴۸	۱۱/۹۱۵
مدت زمان حرکت شدید زمین - قائم (ثانیه)	۱۲/۷۳	۱۳/۹۸	۱۰/۵۹

جدول ۳ ضرایب مقیاس به دست آمده برای مدل‌های آزمایشگاهی، ۱۰، ۳ و ۲۰ طبقه

مدل	دوره تناوب (ثانیه)	ضریب مقیاس
آزمایشگاهی	۰/۱۳	۰/۴۴۸
سه طبقه	۰/۲۶	۰/۴۵۳
۱۰ طبقه	۰/۶۴	۰/۵۴۹
۲۰ طبقه	۱/۰۸	۰/۸۳

طراحی دیوارها و سپس مدل‌سازی در نرم‌افزار Abaqus از مدل سه‌بعدی طراحی شده در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که مقاطع ستون‌ها از قوطی، مقاطع تیرها از تیر ورق و مقاطع مهاربندهای معادل از ناودانی دویل انتخاب شده است. بر این اساس مقاطع تیر و ستون قاب های ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه به همراه ضخامت نهایی ورق‌های دیوارهای برشی فولادی هر طبقه در جداول (۴)، (۵) و (۶) آورده شده است. در جداول، t ضخامت ورق فولادی است.



شکل ۴ پلان مربع مربوط به مدل‌های ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه دیوار

برشی فولادی

پلان مربع شکلی با دهانه های ۵ متری و ۳ دهانه در هر برای در نظر گرفته شده است که در شکل (۴) مشاهده می‌شود. ارتفاع طبقات، ۳ متر است و برای بارگذاری ثقلی با استفاده از آئین نامه مبسوط مقررات ملی ساختمان، کاربری ساختمان‌ها مسکونی در نظر گرفته شده است. شدت بار مرده طبقات، بار مرده بام، بار زنده طبقات و بار زنده بام به ترتیب ۶۰۰، ۵۰۰، ۲۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع مفروض است.

توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ساختمان براساس استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ایران و با فرض نوع زمین تیپ ۳، شتاب مبنای طرح ۰/۳۵، ضریب اهمیت ۱ و ضریب رفتار ۷ (قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربندی هم محور فولادی) انجام شد. هم‌چنین نوع سقف، دال بتنی با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طراحی‌ها فولادهای مشابه با مدل آزمایشگاهی به کار گرفته شدند.

قاب دو بعدی یک دهانه محور B-2,3 برای

جدول ۶ مقاطع تیر، ستون و ضخامت دیوار برشی فولادی ۲۰

طبقه

طبقه	ستون	تیر	t(mm)
بیستم	Box ۲۵×۱	Pl ۳۰×۱/۵-۱۵×۱/۵	۰/۸
نوزدهم	Box ۳۰×۱	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۰/۸
هجدهم	Box ۳۰×۱	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۱/۳
هفدهم	Box ۳۰×۱	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۱/۷
شانزدهم	Box ۳۰×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۲/۴
پانزدهم	Box ۳۰×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۲/۴
چهاردهم	Box ۳۵×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۱
سیزدهم	Box ۳۵×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۱
دوازدهم	Box ۴۰×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۱
یازدهم	Box ۴۰×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۱
دهم	Box ۵۰×۲	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۴
نهم	Box ۵۰×۲	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۸
هشتم	Box ۶۰×۲	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۵/۰
هفتم	Box ۶۵×۲	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۴/۹
ششم	Box ۷۵×۲/۵	Pl ۳۰×۱-۱۵×۱	۴/۹
پنجم	Box ۷۵×۲/۵	Pl ۳۰×۱-۱۵×۱	۵/۰
چهارم	Box ۸۰×۳	Pl ۳۰×۱-۱۵×۱	۵/۰
سوم	Box ۹۵×۴	Pl ۳۰×۱-۱۵×۱	۵/۰
دوم	Box ۱۰۰×۵	Pl ۳۰×۱-۱۵×۱	۵/۱
اول	Box ۱۰۰×۵	Pl ۳۰×۱-۱۵×۱	۵/۱

بررسی نیروها و تغییر مکان‌های اعضا و طبقات

به دنبال اعمال بارهای ثقلی مذکور و شتاب پایه افقی و قائم ناشی از زلزله‌های طیس، لوما پریتا و چی چی نیروهای محوری و لنگر خمشی ستون‌ها و نیروی برشی، لنگر خمشی در انتها، لنگر خمشی وسط تیرها، هم‌چنین برش و تغییر مکان افقی طبقات در تمامی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی نیروی محوری ستون‌ها. نمودار تغییرات درصد اختلاف میان نیروی محوری ستون‌ها در دو حالت اثر هم‌زمان دو مؤلفه افقی و قائم و نیز اثر تنها مؤلفه افقی بر حسب طبقات تحت سه زلزله طیس، لوما پریتا و چی چی و در مدل‌های آزمایشگاهی، ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه به ترتیب در شکل‌های (۵) تا (۸) آورده شده

جدول ۴ مقاطع تیر، ستون و ضخامت دیوار برشی فولادی ۳ طبقه

طبقه	ستون	تیر	t(mm)
سوم	Box ۲۵×۰/۸	Pl ۳۰×۱/۵-۱۵×۱/۵	۱/۰
دوم	Box ۲۵×۱/۲	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۱/۵
اول	Box ۲۵×۱/۲	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۱/۵

جدول ۵ مقاطع تیر، ستون و ضخامت دیوار برشی فولادی ۱۰

طبقه

طبقه	ستون	تیر	t(mm)
دهم	Box ۲۵×۰/۸	Pl ۳۰×۱/۵-۱۵×۱/۵	۱/۰
نهم	Box ۲۵×۱/۲	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۱/۵
هشتم	Box ۳۰×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۲/۰
هفتم	Box ۳۰×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۲/۴
ششم	Box ۳۰×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۲/۷
پنجم	Box ۳۵×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۱
چهارم	Box ۴۰×۱/۵	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۴
سوم	Box ۵۰×۲	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۸
دوم	Box ۵۰×۲	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۸
اول	Box ۵۰×۲	Pl ۳۰×۰/۸-۱۵×۰/۸	۳/۸

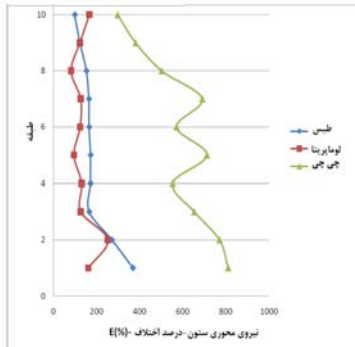
انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی

تحلیل دینامیکی غیرخطی صریح (Explicit) با دادن شتاب‌نگاشت‌های زلزله بر روی مدل آزمایشگاهی و مدل‌های ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه انجام گرفت.

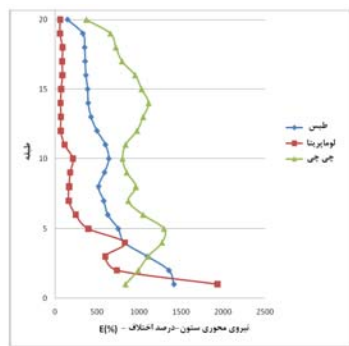
لازم به ذکر است که مجموع بار مرده و زنده معادل با 430 kg/m برای اعمال بر تیرهای طبقات اول و دوم و 358 kg/m برای اعمال بر تیر طبقه سوم مدل آزمایشگاهی در نظر گرفته شد (مدل آزمایشگاهی دارای مقیاس ۱/۳ است).

در مدل‌های ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه نیز بار مرده و زنده ی تیرهای طبقات به ترتیب برابر 1500 و 500 کیلوگرم بر متر بوده و بار مرده و زنده تیر طبقه آخر به ترتیب برابر 1250 و 375 کیلوگرم بر متر برآورد و اعمال گردید.

بر حسب طبقات تحت سه زلزله و در مدل‌های آزمایشگاهی، ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه دارای سیستم دیوار برشی فولادی به ترتیب در شکل‌های (۹) تا (۱۲) آورده شده است.



شکل ۷ تغییرات درصد نیروی محوری ستون‌ها بر حسب طبقات در مدل ۱۰ طبقه



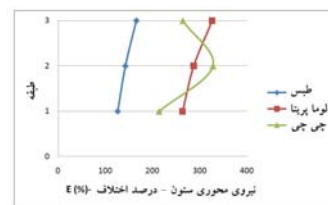
شکل ۸ تغییرات درصد نیروی محوری ستون‌ها بر حسب طبقات در مدل ۲۰ طبقه

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مؤلفه قائم زلزله تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر لنگر خمشی ستون‌ها دارد. در تمامی مدل‌ها تقریباً بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ درصد (بین ۱ تا ۶ برابر) افزایش لنگر خمشی ستون‌ها تحت اثر مؤلفه قائم زلزله دیده می‌شود، این نتایج نشان می‌دهند که افزایش ارتفاع سازه تأثیری در تأثیر بیشتر این مؤلفه ندارد.

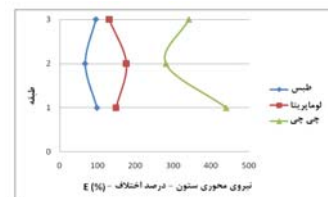
بر این اساس در ساختمان‌های کوتاه مرتبه (۳ طبقه) دارای سیستم دیوار برشی فولادی تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر لنگر خمشی ستون‌ها بیشتر در طبقات بالایی بوده، اما در ساختمان‌های میان مرتبه (۱۰ طبقه) و بلند مرتبه (۲۰ طبقه) این مؤلفه بیشتر در طبقات میانی تأثیر گذار است.

است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مؤلفه قائم زلزله تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نیروی محوری ستون‌ها در سیستم دیوار برشی فولادی دارد. در مدل آزمایشگاهی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ درصد (بین ۱ تا ۳ برابر)، در مدل سه طبقه بین ۱۰۰ تا ۴۰۰ درصد (بین ۱ تا ۴ برابر)، در مدل ۱۰ طبقه بین ۲۰۰ تا ۸۰۰ درصد (بین ۲ تا ۸ برابر) و در مدل ۲۰ طبقه بین ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ درصد (بین ۱۰ تا ۱۵ برابر)، افزایش نیروی محوری ستون‌ها تحت اثر مؤلفه قائم زلزله دیده می‌شود.



شکل ۵ تغییرات درصد نیروی محوری ستون‌ها بر حسب طبقات در مدل آزمایشگاهی

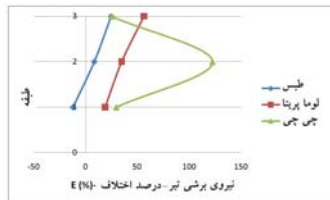


شکل ۶ تغییرات درصد نیروی محوری ستون‌ها بر حسب طبقات در مدل ۳ طبقه

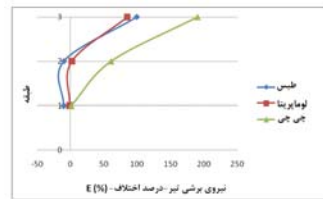
این مطلب نشان می‌دهد که تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر نیروی محوری ستون‌ها در ساختمان‌های میان مرتبه (۱۰ طبقه) و بلند مرتبه (۲۰ طبقه) و دارای سیستم دیوار برشی فولادی نسبت به ساختمان‌های کوتاه مرتبه بیشتر است. هم‌چنین در ساختمان‌های کوتاه مرتبه تأثیر مؤلفه قائم زلزله بیشتر در طبقات بالایی بوده، اما در ساختمان‌های میان مرتبه و بلند مرتبه این مؤلفه بیشتر در طبقات تحتانی تأثیر می‌گذارد.

بررسی لنگر خمشی ستون‌ها. نمودار تغییرات درصد اختلاف میان لنگر خمشی ستون‌ها در دو حالت اثر هم‌زمان دو مؤلفه افقی و قائم و نیز اثر تنها مؤلفه افقی

بررسی نیروی برشی تیرها. نمودار تغییرات درصد اختلاف میان نیروی برشی تیرها در دو حالت اثر هم‌زمان دو مؤلفه افقی و قائم و نیز اثر تنها مؤلفه افقی بر حسب طبقات تحت سه زلزله و در مدل‌های آزمایشگاهی ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه دارای سیستم دیوار برشی فولادی به ترتیب در شکل‌های (۱۳) تا (۱۶) آورده شده است.

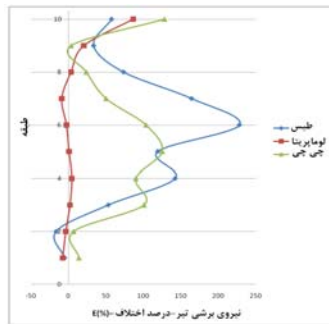


شکل ۱۳ تغییرات درصد نیروی برشی تیرها بر حسب طبقات در مدل آزمایشگاهی

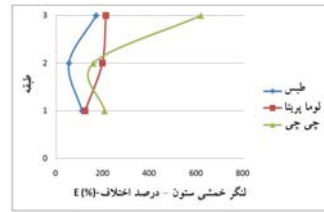


شکل ۱۴ تغییرات درصد نیروی برشی تیرها بر حسب طبقات در مدل سه طبقه

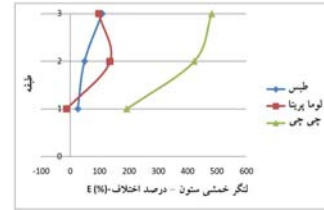
همان‌طور که مشاهده می‌شود، مؤلفه قائم زلزله تأثیر کمتری بر نیروی برشی تیرها در سیستم دیوار برشی فولادی دارد.



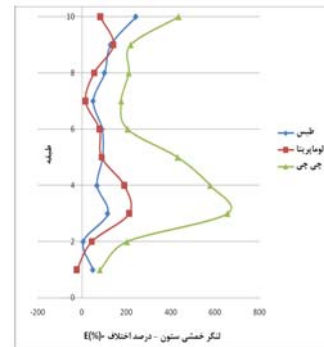
شکل ۱۵ تغییرات درصد نیروی برشی تیرها بر حسب طبقات در مدل ۱۰ طبقه



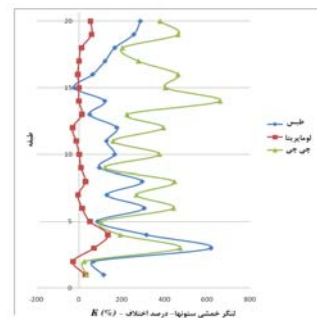
شکل ۹ تغییرات درصد لنگر خمشی ستون‌ها بر حسب طبقات در مدل آزمایشگاهی



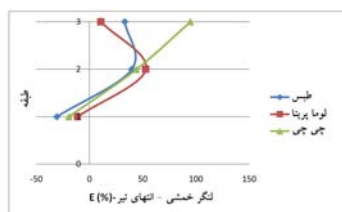
شکل ۱۰ تغییرات درصد لنگر خمشی ستون‌ها بر حسب طبقات در مدل ۳ طبقه



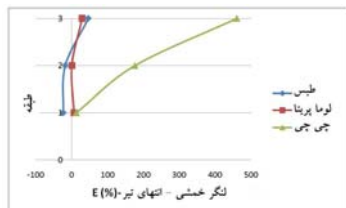
شکل ۱۱ تغییرات درصد لنگر خمشی ستون‌ها بر حسب طبقات در مدل ۱۰ طبقه



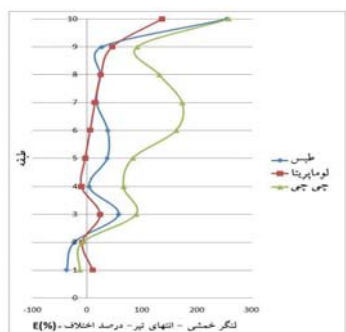
شکل ۱۲ تغییرات درصد لنگر خمشی ستون‌ها بر حسب طبقات در مدل ۲۰ طبقه



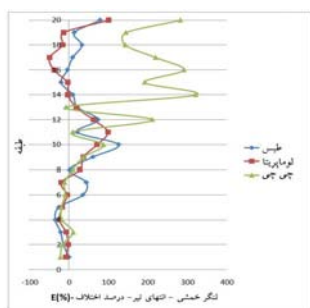
شکل ۱۷ تغییرات درصد لنگر خمشی دو انتهای تیرها بر حسب طبقات در مدل آزمایشگاهی



شکل ۱۸ تغییرات درصد لنگر خمشی دو انتهای تیرها بر حسب طبقات در مدل ۳ طبقه

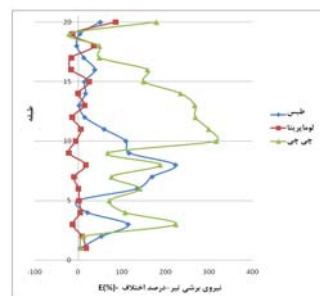


شکل ۱۹ تغییرات درصد لنگر خمشی دو انتهای تیرها بر حسب طبقات در مدل ۱۰ طبقه



شکل ۲۰ تغییرات درصد لنگر خمشی دو انتهای تیرها بر حسب طبقات در مدل ۲۰ طبقه

هم چنین در تمامی ساختمان‌های کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه دارای سیستم دیوار برشی فولادی، تاثیر مؤلفه قائم زلزله بر لنگر خمشی دو



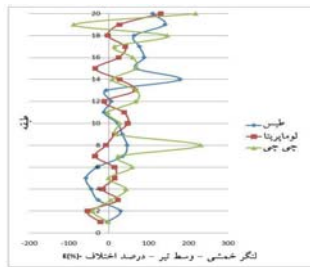
شکل ۱۶ تغییرات درصد نیروی برشی تیرها بر حسب طبقات در مدل ۲۰ طبقه

در مدل آزمایشگاهی بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۱ برابر)، در مدل سه طبقه بین ۲۰ تا ۲۰۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۲ برابر)، در مدل ۱۰ طبقه بین ۲۰ تا ۲۵۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۲/۵ برابر) و در مدل ۲۰ طبقه بین ۲۰ تا ۳۰۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۳ برابر)، مؤلفه قائم باعث افزایش نیروی برشی می‌شود و این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش ارتفاع سازه اثر فوق العاده ناچیزی در افزایش نیروی برشی تیرها در سیستم دیوار برشی فولادی دارد.

بر این اساس در ساختمان‌های کوتاه مرتبه تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر نیروی برشی تیرها بیشتر در طبقات بالایی است، اما در ساختمان‌های میان مرتبه و بلند مرتبه این مؤلفه بیشتر در طبقات میانی اثرگذار است.

بررسی لنگر خمشی دو انتهای تیرها. نمودار تغییرات درصد اختلاف میان لنگر خمشی دو انتهای تیرها در دو حالت اثر هم‌زمان دو مؤلفه افقی و قائم و نیز اثر تنها مؤلفه افقی بر حسب طبقات تحت سه زلزله در مدل‌های آزمایشگاهی، ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه به ترتیب در شکل‌های (۱۷) تا (۲۰) آورده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مدل آزمایشگاهی بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۱ برابر) و در مدل‌های دیگر بین ۲۰ تا ۴۰۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۴ برابر) افزایش لنگر خمشی دو انتهای تیرها تحت اثر مؤلفه قائم زلزله دیده می‌شود و این مطلب نشان می‌دهد که اثر افزایش ارتفاع سازه در مؤثر بودن این مؤلفه به روشنی مشخص نیست.



شکل ۲۴ تغییرات درصد لنگر خمشی وسط تیرها بر حسب طبقات در مدل ۲۰ طبقه

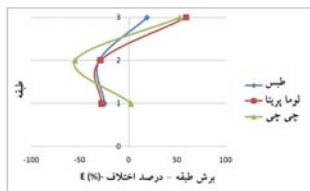
این مطلب نشان می‌دهد که تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر لنگر خمشی وسط تیرها در ساختمان‌های میان مرتبه و بلند مرتبه دارای سیستم دیوار برشی فولادی نسبت به ساختمان‌های کوتاه مرتبه کمتر است. به بیان دیگر افزایش ارتفاع سازه در مؤثر بودن مؤلفه قائم زلزله اثر معکوس دارد.

هم‌چنین در تمامی ساختمان‌ها (کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه)، تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر لنگر خمشی وسط تیرها بیشتر در طبقات بالایی اتفاق می‌افتد.

بررسی برش طبقات

نمودار تغییرات درصد اختلاف میان برش طبقات در دو حالت اثر هم‌زمان دو مؤلفه افقی و قائم و نیز اثر تنها مؤلفه افقی بر حسب طبقات تحت سه زلزله در مدل‌های آزمایشگاهی، ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه به ترتیب در شکل‌های (۲۵) تا (۲۸) نشان داده شده است.

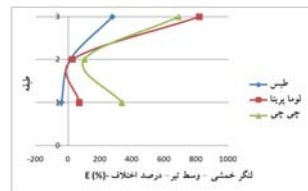
همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مدل آزمایشگاهی و سه طبقه بین ۱۰ تا ۵۰ درصد (بین ۰/۱ تا ۰/۵ برابر) کاهش برش طبقات در طبقات اول و دوم و بین ۲۰ تا ۵۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۰/۵ برابر) افزایش برش طبقات در طبقه سوم اتفاق می‌افتد.



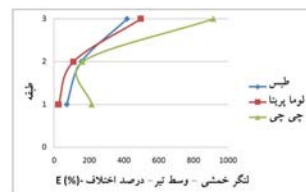
شکل ۲۵ تغییرات درصد برش هر طبقه در مدل آزمایشگاهی

انتهای تیرها بیشتر در طبقات بالایی رخ می‌دهد.

بررسی لنگر خمشی وسط تیرها. نمودار تغییرات درصد اختلاف میان لنگر خمشی وسط تیرها در دو حالت اثر هم‌زمان دو مؤلفه افقی و قائم و نیز اثر تنها مؤلفه افقی بر حسب طبقات تحت سه زلزله در مدل‌های آزمایشگاهی ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه و در شکل‌های (۲۱) تا (۲۴) نشان داده شده است.

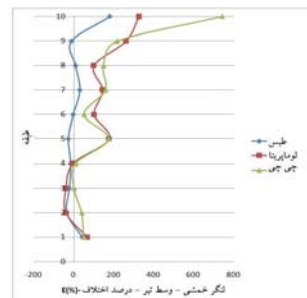


شکل ۲۱ تغییرات درصد لنگر خمشی وسط تیرها بر حسب طبقات در مدل آزمایشگاهی

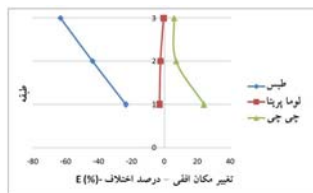


شکل ۲۲ تغییرات درصد لنگر خمشی وسط تیرها بر حسب طبقات در مدل ۳ طبقه

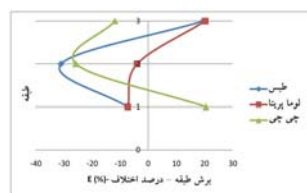
همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مدل آزمایشگاهی و سه طبقه بین ۲۰ تا ۸۰۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۸ برابر)، در مدل ۱۰ طبقه بین ۲۰ تا ۶۰۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۶ برابر) و در مدل ۲۰ طبقه بین ۲۰ تا ۲۰۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۲ برابر) افزایش لنگر خمشی وسط تیرها تحت اثر مؤلفه قائم زلزله دیده می‌شود.



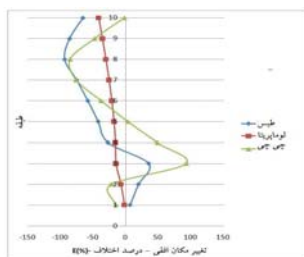
شکل ۲۳ تغییرات درصد لنگر خمشی وسط تیرها بر حسب طبقات در مدل ۱۰ طبقه



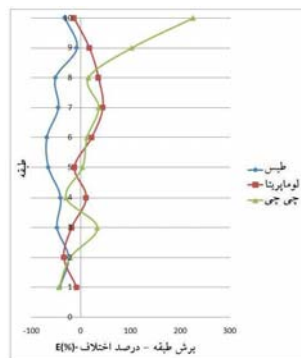
شکل ۳۰ تغییرات درصد تغییر مکان افقی هر طبقه در مدل ۳ طبقه



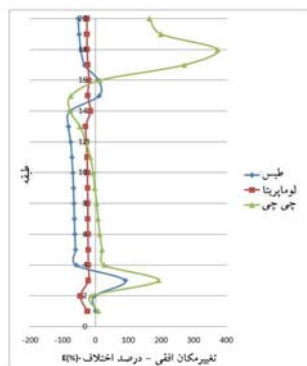
شکل ۲۶ تغییرات درصد برش هر طبقه در مدل ۳ طبقه



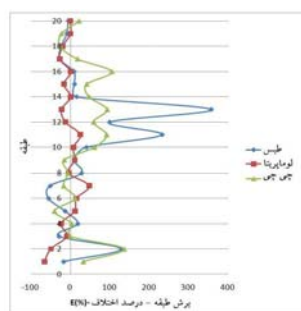
شکل ۳۱ تغییرات درصد تغییر مکان افقی هر طبقه در مدل ۱۰ طبقه



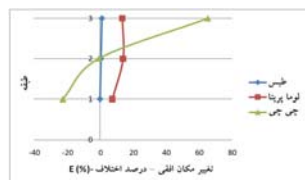
شکل ۲۷ تغییرات درصد برش هر طبقه در مدل ۱۰ طبقه



شکل ۳۲ تغییرات درصد تغییر مکان افقی هر طبقه در مدل ۲۰ طبقه



شکل ۲۸ تغییرات درصد برش هر طبقه در مدل ۲۰ طبقه



شکل ۲۹ تغییرات درصد تغییر مکان افقی هر طبقه در مدل آزمایشگاهی

بررسی تغییر مکان افقی طبقات

نمودار تغییرات درصد اختلاف میان تغییر مکان افقی طبقات در دو حالت اثر هم‌زمان دو مؤلفه افقی و قائم و نیز اثر تنها مؤلفه افقی بر حسب طبقات تحت سه زلزله در مدل‌های آزمایشگاهی، ۳، ۱۰ و ۲۰ طبقه به ترتیب در شکل‌های (۲۹) تا (۳۲) آورده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، به طور کلی تغییر مکان افقی طبقات در تمامی مدل‌ها بین ۲۵ تا ۱۰۰ درصد تحت اثر مولفه قائم زلزله کاهش می‌یابد. این تأثیر در ساختمان‌های میان مرتبه و بلند مرتبه بیشتر دیده می‌شود.

نتایج

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مؤلفه قائم زلزله تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نیروی محوری ستون‌ها (بین ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ درصد به عبارت دیگر بین ۱ تا ۱۵ برابر) دارد.

مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه)، تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر لنگر خمشی وسط دهانه تیرها بیشتر در طبقات بالایی اتفاق می‌افتد.

هم‌چنین مشاهده می‌شود که برش طبقات در اثر مؤلفه قائم زلزله در طبقات تحتانی و میانی کاهش (بین ۱۰ تا ۵۰ درصد به عبارت دیگر بین ۰/۱ تا ۰/۵ برابر) و در طبقات فوقانی افزایش (بین ۵۰ تا ۲۰۰ درصد به عبارت دیگر بین ۰/۵ تا ۲ برابر) می‌یابد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییر مکان افقی طبقات در تمامی مدل‌ها بین ۲۵ تا ۱۰۰ درصد (بین ۰/۲۵ تا ۱ برابر) تحت اثر مؤلفه قائم زلزله کاهش می‌یابد. این تأثیر در ساختمان‌های میان مرتبه و بلند مرتبه بیشتر دیده می‌شود.

بحث و نتیجه گیری

همان‌طور که مشاهده شد، به‌طور کلی مؤلفه قائم زلزله، تأثیر چشمگیری در افزایش نیروی محوری و لنگر خمشی ستون‌ها داشته ولی تأثیر اندکی بر افزایش نیروی برشی و لنگر خمشی تیرها دارد و این در حالی است که برش طبقات و تغییر مکان افقی طبقات تحت اثر این مؤلفه کاهش می‌یابد.

یکی از عللی که بعضاً چنین تأثیر قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود به این مساله بر می‌گردد که در این تحقیق ماکزیمم پاسخ (نظیر نیروی محور ستون‌ها و ...) در هر طبقه تحت هر شتاب‌نگاشت در نظر گرفته شده است. بدین معنا که حداکثر پاسخ‌ها تحت اثر تنها مولفه افقی زلزله و نیز تحت اثر هم‌زمان مولفه‌های افقی و قائم در یک زمان اتفاق نمی‌افتد و لذا درصد افزایش پاسخها بر اثر مولفه قائم زلزله نسبت به واقعیت کمی بیشتر به نظر می‌رسد.

از طرفی دیگر پاسخ تمامی مدل‌ها در زمانی که سازه به مرحله غیرخطی شدن می‌رسد اندازه‌گیری شده است. از آنجا که سازه تحت اثر تنها مولفه افقی نسبت به حالتی که اثر هم‌زمان مولفه‌های افقی و قائم وجود دارد زودتر به مرحله غیرخطی شدن می‌رسد، بنابراین زمانی به وجود می‌آید که در حالتی که تنها

تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر نیروی محوری ستون‌ها در ساختمان‌های میان مرتبه و بلند مرتبه نسبت به ساختمان‌های کوتاه مرتبه بیشتر بوده و در ساختمان‌های کوتاه مرتبه تأثیر مؤلفه قائم زلزله بیشتر در طبقات بالایی بوده، اما در ساختمان‌های میان مرتبه و بلند مرتبه این مؤلفه بیشتر در طبقات تحتانی تأثیر گذار است.

هم‌چنین مؤلفه قائم زلزله تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر لنگر خمشی ستون‌ها (بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ درصد به عبارت دیگر بین ۱ تا ۶ برابر) داشته و افزایش ارتفاع سازه در تأثیر بیشتر این مؤلفه اثری ندارد. در ساختمان‌های کوتاه مرتبه تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر لنگر خمشی ستون‌ها بیشتر در طبقات بالایی بوده، اما در ساختمان‌های میان مرتبه و بلند مرتبه این مؤلفه بیشتر در طبقات میانی تأثیر گذار است.

مؤلفه قائم زلزله تأثیر کمتری بر نیروی برشی تیرها (بین ۲۰ تا ۳۰۰ درصد به عبارت دیگر بین ۰/۲ تا ۳ برابر) دارد. افزایش ارتفاع سازه تأثیر فوق‌العاده ناچیزی در افزایش اثر این مؤلفه دارد. در ساختمان‌های کوتاه مرتبه تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر نیروی برشی تیرها بیشتر در طبقات بالایی بوده، اما در ساختمان‌های میان مرتبه و بلند مرتبه این مؤلفه بیشتر در طبقات میانی اثر می‌گذارد.

افزایش لنگر خمشی دو انتهای تیرها تحت اثر مؤلفه قائم زلزله بین ۲۰ تا ۴۰۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۴ برابر) دیده شده و افزایش ارتفاع سازه در مؤثر بودن این مؤلفه نامشخص است. در تمامی ساختمان‌ها (کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه)، تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر لنگر خمشی دو انتهای تیرها بیشتر در طبقات بالایی اتفاق می‌افتد.

افزایش لنگر خمشی وسط دهانه تیرها تحت اثر مؤلفه قائم زلزله بین ۲۰ تا ۸۰۰ درصد (بین ۰/۲ تا ۸ برابر) دیده می‌شود و تأثیر مؤلفه قائم زلزله بر لنگر خمشی وسط تیرها در ساختمان‌های میان مرتبه و بلند مرتبه نسبت به ساختمان‌های کوتاه مرتبه کمتر است. به بیان دیگر افزایش ارتفاع سازه در مؤثر بودن مؤلفه قائم زلزله تأثیر معکوس دارد. در تمامی ساختمان‌ها (کوتاه

ی روش های غیر اقتصادی نظیر افزایش قابل توجه در ابعاد مقاطع تیرها و ستون ها و سنگین تر و سخت تر کردن سازه جلوگیری شود.

اولین قدمی که به نظر می رسد بایستی در طراحی سازه ها بر اثر مؤلفه قائم زلزله به آن توجه شود، محاسبه و اعمال طیف بازتاب مؤلفه ی قائم در تمامی آیین نامه های زلزله در دنیا است. بنابراین بایستی همانند مؤلفه افقی زلزله، طیف مبنای طرح برای مؤلفه قائم در نظر گرفته شود. بدیهی است با لحاظ کردن اثر مؤلفه قائم زلزله در آیین نامه ها، سازه ها به گونه ای طراحی می شوند که از مقاومت بالاتری در برابر اثر این مؤلفه برخوردار باشند.

در پایان خاطر نشان می دارد، از آنجایی که دستیابی به ضوابط طراحی و ارائه پیشنهادات طراحی نیازمند شناخت صحیح و واقع بینانه رفتار سیستم در برابر بار موجود است، هم چنین استفاده از سیستمهای مقاوم نوین، نظیر دیوار برشی فولادی (که بدلیل اثرات تشکیل میدان کشش قطری رفتار مناسبی در جذب انرژی زلزله، شکل پذیری مناسب و مقاومت کافی در برابر نیروهای جانبی از خود نشان داده است) در طی فرآیند یک مطالعه پژوهشی بکر، اصیل و اصولی می تواند دریچه ای هر چند کوچک برای حل مشکل اثر این مؤلفه بر طراحی اینگونه سیستمها بگشاید.

امید است در پژوهشهای آتی، موارد و حالات و جنبه های مختلف از جمله اضافه کردن میراگر و بررسی اثر هم زمانی آنها و یا استفاده از دیوارهای دارای سخت کننده و یا استفاده از ورقهای فولاد نرم و ... در دیگر مطالعات بکر و اصیل پژوهشی مد نظر قرار گیرد.

مؤلفه افقی اثر کرده و دیگر نیروی چندانی به دلیل وارد شدن به مرحله ی غیرخطی تحمل نمی کند، در همان زمان سازه در حالتی که اثر هم زمان مؤلفه های افقی و قائم وجود دارد، به دلیل در مرحله خطی بودن، نیروی قابل توجهی را تحمل می کند و تفاوت این پاسخ ها در حالت خطی و غیرخطی باعث می شود که در بعضی از موارد درصد افزایش پاسخها بر اثر مؤلفه قائم زلزله نسبت به واقعیت کمی بیشتر به دست بیایند.

هم چنین ورقهای دیوارهای برشی فولادی به دلیل ایجاد تنشهای فشاری، کششی و برشی در آنها و انتقال آن به قابها (تیرها و ستونهای اطراف) باعث می شوند تا اثر مؤلفه قائم زلزله در ستون ها و تیرها با توجه به برای این مؤلفه و نیز برای تنش های به وجود آمده تضعیف و یا تشدید شود که این مساله نیز باعث می شود در بعضی از موارد درصد افزایش پاسخها بر اثر مؤلفه قائم زلزله نسبت به کارهای تحقیقاتی گذشته و مدل های قابهای فولادی و بتنی کمی بیشتر به دست بیایند.

با توجه به جمیع مطالب گفته شده و سه علتی که در بالا ذکر شد (اتفاق نیفتادن هم زمان پاسخها در یک لحظه - غیر خطی شدن مدل ها - وجود دیوارهای برشی فولادی) چنین تاثیر قابل ملاحظه ای قابل توجه بوده و دیوار برشی نیز در این امر موثر است.

هم چنین با توجه به اثر قابل توجه مؤلفه قائم زلزله بر نیروهای سازه ای، به نظر می رسد که بایستی دنبال استفاده از روشهای جدید طراحی ساختمانها در برابر زلزله نظیر استفاده از جداسازها و میراگرهای لرزه ای مناسب در ستون ها و تیرها بوده تا ضمن آن که مقاومت سازه در برابر این مؤلفه افزایش داده می شود، از استفاده

مراجع

۱. مومنی، علی محمد و همکاران، "اثر توام مؤلفه های افقی و قائم زلزله جهت اعمال شتاب نگاشت بر نیروی محوری ستونها و برش طبقات ساختمان های فولادی منظم با قاب خمشی"، نشریه بنا، شماره چهارم، ۹-۲۱، (۱۳۷۹).
۲. خوشنودیان، فرامرز؛ حسینی کرد خیلی، سید احمد، "اثرات سه مؤلفه لرزه ای بر روی رفتار دینامیکی ساختمانهای نامتقارن فولادی"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۳).

3. Iyengar, R and Shinozuka, M., "Effect of self-weight and vertical acceleration on the behavior of tall structures during earthquake" ,J.Earthquake Engineering and Structural Dynamics ,Vol. 1, No. 1, pp. 69-78, (1972).
4. Sadeghvaziri, M.A. and Foutch, D.A., "Dynamic behavior of RC highway bridges under combined effect of vertical and horizontal motions", J.Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 20, No. 6, pp. 535-549, (1991).
5. Reyes-Salazar, A and Haldar, A., "Structural response considering the vertical component of earthquakes", J.Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 74, No. 2, pp. 131-145, (2000).
6. Diotallevi, P.P. and Landi, L., "Effect of the axial force and of the vertical ground motion component on the seismic response of R/C frames", Proc. of 12th World Conf. on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Paper No. 1026 (2000).
7. Alaghebandian, R., et al., "Effect of Distributed Mass on Earthquake Response of Reinforced Concrete Frames", Proc. Of 12th World Conf. on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Paper No.2230, (2000).
8. Ju, S. H. Et al., "3D Analyses of Buildings under Vertical Component of Earthquake", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 10, pp. 1196 – 1202, (2000).
9. Hosseini, M. and Firoozi Nezamabadi, M., "A Study on the Effect of Vertical Ground Acceleration on the Seismic Response of Steel Buildings" 13th world conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, (2004).
۱۰. قلهکی، مجید؛ رضائی فر، امید؛ "ارزیابی روش های تعیین ظرفیت برشی دیوارهای برشی فولادی"، اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، تبریز، ایران، (۱۳۸۷).
11. Thorburn, L.J. , Kulak, G.L. and Montgomery, C.J., "Analysis of Steel Plate Shear Walls", Structural Engineering Report No. 107, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada, (1983).
12. Timler, P.A. and Kulak, G.L., "Experimental Study of Steel Plate Shear Walls", Structural Engineering Report No. 114, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada, (1983).
13. Elgaaly, M., Caccese, V. and Du, C., "Postbuckling Behavior of Steel Plate Shear Walls under Cyclic Loads", Journal of Structural Engineering ASCE, Vol. 119, No. 2, pp. 588-605, (1993).
14. Sabouri-Ghomi, S. and Roberts, T. M., "Nonlinear Dynamic Analysis of Thin Steel Plate Shear Walls", Computers and Structures, Vol. 39, No. 1-2, pp. 121–127, (1991).
15. Roberts, T. M. and Sabouri-Ghomi, S., "Hysteretic Characteristics of Unstiffened Plate Shear Panels", Thin Walled Structures, Vol. 12, No.2, pp. 145–162, (1991).
16. Vian, D. and Bruneau, M., "Testing of Special LYS Steel Plate Shear Walls", Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 978, Vancouver, British Columbia, Canada, (2004).
۱۷. قلهکی، مجید؛ "بررسی رفتار دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک و اثر تیر به ستون در آنها"، رساله ی دکتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر، (۱۳۸۶).

بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله...

۱۸. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن؛ "آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)"، ویرایش ۳، (۱۳۸۴).