

اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در قاب‌های خمشی بزرگ‌دهانه در ساختمان‌های فولادی

محمود حسینی* (دانشیار)

بزهشکده‌ی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

محمد صدرآرا (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

مهندسی عمران شریف، (بهار ۱۳۹۶)
دوره‌ی ۳۳-۲، شماره‌ی ۱/۲، ص. ۱۱-۱۰۵، (پاداشت فنی)

رکوردهای ثبت شده در نواحی نزدیک گسل نشان دهنده‌ی مؤلفه‌ی قائم شدید حرکت زمین هستند. زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک به علت اثر مخرب مؤلفه قائم زلزله از زلزله‌های حوزه‌ی دور متمایز می‌شوند. اهمیت این موضوع در بررسی لرزه‌ی قاب‌های بزرگ دهانه دوچندان می‌شود. استفاده از قاب‌های بزرگ دهانه علاوه بر این که ایجاد فضاهای باز در سازه‌ها را امکان‌پذیر می‌کند، می‌تواند در خلق سازه‌هایی با طرح‌های معماری زیباتر نیز بسیار مؤثر باشد. اما این قاب‌ها در مقابل اثر مؤلفه قائم زلزله بسیار آسیب پذیرند. در این پژوهش اثر توأم مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در قاب‌های بزرگ دهانه، با شبیه‌سازی دو سازه با دهانه‌های مختلف، با استفاده از نرم افزارهای SAP و Perform مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این گونه که ابتدا سازه‌ها را تحت اثر دو مؤلفه افقی زلزله، بدون مؤلفه قائم قرار داده و مقادیر لنگر، برش، نیروی محوری ستون‌ها، افت میان دهانه تیرها و ... بررسی می‌شود. در مرحله بعد علاوه بر مؤلفه‌های افقی، مؤلفه قائم زلزله نیز وارد شده و دوباره مقادیر مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرد. با مقایسه مقادیر فوق این نتیجه بدست می‌آید که اثر مؤلفه قائم زلزله نقش بسیار افزایش‌دهی در مقادیر پاسخ دارد.

واژگان کلیدی: مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله، زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک، قاب‌های بزرگ دهانه، ساختمان‌های فولادی.

hosseini@iiees.ac.ir
mohamad.sadrara@gmail.com

۱. مقدمه

پژوهشگران بر روی اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در پاسخ لرزه‌ی سازه‌ها پژوهش‌های فراوانی انجام داده‌اند. بسیاری از پژوهشگران اثر مؤلفه‌ی قائم را با در نظر گرفتن ضریبی از طیف مؤلفه‌ی افقی زلزله لحاظ می‌کنند (V/H). نیومارک، یکی از کسانی بوده است که اولین بار نسبت مؤلفه‌ی قائم به افقی را مورد بررسی قرار داده و این نسبت را برابر ۰/۶۷ معرفی کرده است.^[۱] پژوهش‌ها نشان می‌دهند که این نسبت در فواصل دور از گسل محافظه‌کارانه و در فواصل نزدیک گسل دست‌پایین است.^[۲] همچنین در برخی موارد، اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله به صورت درصدی از بار مرده در نظر گرفته شده و در جهت مثبت و منفی بر سازه وارد شده است. اما این روش به جهت اینکه قسمت‌های مختلف سازه به یک نسبت تحت اثر بار مرده و مؤلفه‌ی قائم زلزله نیستند، خطای زیادی دارد.^[۳]

در پژوهشی در سال ۱۹۸۴، اثر همبستگی ۶ مؤلفه‌ی زلزله در پاسخ سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و روشی برای محاسبه‌ی پاسخ سازه تحت اثر ۶ مؤلفه‌ی همبسته‌ی زلزله ارائه و عنوان شده است، که در مدل پن‌زین و واتابه، همبستگی بین مؤلفه‌های دورانی زمین، به خوبی همبستگی بین مؤلفه‌های انتقالی حرکت زمین برقرار است و مؤلفه‌های دورانی حرکت زمین می‌توانند به صورت تابعی از ارتعاشات مؤلفه‌های انتقالی و همچنین سرعت امواج برشی (همان‌طور که توسط نیومارک نشان داده شده است) بیان شود. سهم مؤلفه‌های دورانی حرکت زمین در پاسخ سازه می‌تواند بزرگ باشد، و این سهم با بزرگ شدن ابعاد سازه افزایش می‌یابد و همچنین افزایش سرعت امواج برشی، اثر مؤلفه‌های دورانی را کاهش می‌دهد.^[۴] در نوشتاری دیگر (۱۹۹۳)، اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در قاب‌ها مورد بررسی قرار گرفته و اثر زلزله در سازه‌ها با مدل‌کردن ساختمان‌های ۴، ۱۲ و ۲۴ طبقه و تحلیل با مؤلفه‌های افقی

پژوهشگران بر روی اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در پاسخ لرزه‌ی سازه‌ها پژوهش‌های فراوانی انجام داده‌اند. بسیاری از پژوهشگران اثر مؤلفه‌ی قائم را با در نظر گرفتن ضریبی از طیف مؤلفه‌ی افقی زلزله لحاظ می‌کنند (V/H). نیومارک، یکی از کسانی بوده است که اولین بار نسبت مؤلفه‌ی قائم به افقی را مورد بررسی قرار داده و این نسبت را برابر ۰/۶۷ معرفی کرده است.^[۱] پژوهش‌ها نشان می‌دهند که این نسبت در فواصل دور از گسل محافظه‌کارانه و در فواصل نزدیک گسل دست‌پایین است.^[۲] همچنین در برخی موارد، اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله به صورت درصدی از بار مرده در نظر گرفته شده و در جهت مثبت و منفی بر سازه وارد شده است. اما این روش به جهت اینکه قسمت‌های مختلف سازه به یک نسبت تحت اثر بار مرده و مؤلفه‌ی قائم زلزله نیستند، خطای زیادی دارد.^[۳]

۲. پیشینه‌ی پژوهش

در سال‌های گذشته، توجه پژوهشگران به زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک گسل بیشتر شده

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۱۲/۱۸، اصلاحیه ۱۳۹۴/۶/۲۴، پذیرش ۱۳۹۴/۷/۶.

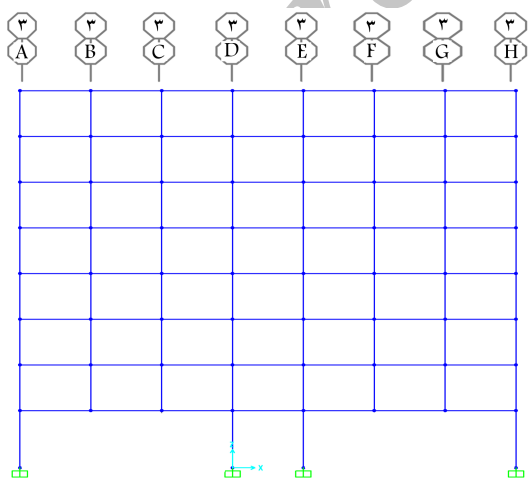
و مهاربند کمانش‌ناپذیر مقاوم‌سازی شده و سپس تحت زلزله‌های نزدیک گسل همراه با مؤلفه‌ی قائم زلزله قرار گرفته و این نتیجه به دست آمده است که مؤلفه‌ی قائم زلزله باعث کاهش شکل‌پذیری و عملکرد نامطلوب ستون‌ها می‌شود.^[۱۲]

۳. مؤلفه‌ی قائم زلزله

مشخصات مؤلفه‌ی قائم زلزله با مؤلفه‌ی افقی آن متفاوت است. مؤلفه‌ی قائم زلزله در اثر انتشار امواج فشاری P به وجود می‌آید. در حالی که مؤلفه‌ی افقی آن در اثر انتشار امواج برشی S به وجود می‌آید. مؤلفه‌ی قائم زلزله، محتوای بسامدی بالاتری نسبت به مؤلفه‌ی افقی دارد و محتوای بسامدی بالاتر به بزرگ‌نمایی بیشتر در دوره‌های تناوب کوتاه منجر می‌شود. از آنجا که بسامد طبیعی سازه‌ها در جهت قائم بیشتر از بسامد طبیعی آنها در جهت افقی است، این عامل ممکن است سبب ایجاد پدیده‌ی تشدید در سازه شود. لازم به ذکر است که جهت بررسی اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در سازه‌های مختلف، گام اول شناخت منشأ تحریکات قائم زلزله، طیف پاسخ مؤلفه‌ی قائم و پارامترهای مؤثر در مؤلفه‌ی قائم زلزله است. مؤلفه‌ی قائم زلزله اساساً با امواج حجمی، مانند امواجی که به صورت عمودی انتشار می‌یابند، مثل موج P و امواج افقی به صورت انبساطی گسترش می‌یابند، مثل موج S در ارتباطاند.^[۱۳]

۴. مدل‌های ساختمانی مورد مطالعه

در پژوهش حاضر، برای بررسی اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در قاب‌های خمشی بزرگ‌دهانه از دو نوع سازه‌ی ۸ و ۱۰ طبقه با قاب‌های با دهانه‌های بزرگ ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری استفاده شده است. در طراحی سازه‌های مذکور، سیستم قاب فولادی بادبندی با تیرهای بزرگ‌دهانه به‌کار رفته است. چنانکه در شکل ۱ مشاهده می‌شود، سازه‌ی ۸ طبقه در طبقه‌ی همکف یک سالن آفیس‌تاتر در نظر گرفته شده است، که به جهت فضای بازی که در آن طبقه موردنیاز است، از قاب‌های بزرگ‌دهانه استفاده شده است. اما در طبقات اول تا هشتم با ساختار اداری، قاب‌های معمولی با دهانه‌های ۵ متر به‌صورت تیر و ستون در نظر گرفته شده است. ستون‌های موجود در طبقات بالا به‌گونه‌ی بوده است که پس از رسیدن به قاب بزرگ‌دهانه‌ی طبقه‌ی



شکل ۱. سازه‌ی ۸ طبقه با قاب بزرگ‌دهانه‌ی ۱۵ متری در سقف طبقه‌ی همکف.

و قائم زلزله‌ی الاسترو بررسی شده و این نتیجه به دست آمده است که مؤلفه‌ی قائم زلزله، نیروی برشی و لنگر خمشی تیرها و همچنین نیروی محوری ستون‌ها را افزایش می‌دهد. در نتیجه باید اثر این مؤلفه در طراحی‌ها در نظر گرفته شود.^[۷] در بررسی ارتعاش قائم ۵ زلزله در کالیفرنیا (۱۹۹۷)، محدوده‌ی اثر امواج برشی و فشاری در دوره‌های تناوب مختلف در مؤلفه‌ی قائم زلزله به دست آورده شده و این نتیجه به دست آمده است که در محدوده‌ی دوره‌های تناوب کمتر از ۰/۱ ثانیه، امواج فشاری P و در محدوده‌ی دوره‌ی تناوب بزرگ‌تر از ۰/۱ ثانیه، امواج برشی S در مؤلفه‌ی قائم زلزله تأثیرگذارند.^[۷] در پژوهشی در سال ۲۰۰۰ نیز اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در آیین‌نامه‌ها مقایسه شده و اثر آن در پاسخ لرزه‌ی سازه‌ها در ۲ آیین‌نامه‌ی مکزیک و NEHRP مورد بررسی قرار گرفته و این نتیجه به دست آمده است که دو آیین‌نامه‌ی مذکور به طور قابل توجهی نیروهای محوری ستون‌ها را دست‌پایین تخمین می‌زنند و این تخمین دست‌پایین، بار محوری ستون‌ها با گسترش مفصل خمیری قاب‌ها را افزایش می‌دهد. دست‌پایین بودن تخمین برای ستون‌های داخلی بیشتر از ستون‌های خارجی است، اگر نسبت بین بیشینه‌ی شتاب مؤلفه‌ی قائم به بیشینه‌ی شتاب مؤلفه‌ی افقی زلزله بالاتر از نرمال باشد، تخمین دست‌پایین با افزایش نسبت مذکور زیاد می‌شود. همچنین دست‌پایین بودن برآورد با ارتفاع قاب ارتباطی ندارد.^[۸] در سال ۲۰۰۴ نیز اثر مؤلفه‌ی افقی و قائم زلزله در قاب‌های بزرگ‌دهانه‌ی صنعتی مطالعه شده و با وارد کردن مؤلفه‌ی زلزله روی قاب یک ساختمان استفاده از نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ پاسخ لرزه‌ی سازه بررسی شده و این نتایج به دست آمده است:

- در سازه‌های حوزه‌ی نزدیک، اثر مؤلفه‌ی قائم وارد به سازه بیشتر از مؤلفه‌ی افقی زلزله است.
- سازه‌های دهانه‌بزرگ ممکن است یک ضریب میرایی بحرانی کمتر از ۵٪ (حدود ۱/۵ تا ۲ درصد) داشته باشند، زیرا از دست‌رفتن انرژی می‌تواند موجب کاهش سهم بعضی از اعضا شود.
- براساس تحلیل پوش‌آور، ضریب کاهش R، که عمدتاً برای قاب‌های مقاوم فولادی در حدود ۶ تا ۸ است، می‌تواند در اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله کاهش یابد و در برخی سازه‌ها حتی به ۲/۵ هم برسد.
- اثرات مختلف موج‌های لرزه‌ی می‌تواند با یک بار ترکیبی برای اعضا با دهانه‌های بزرگ نشان داده شود.^[۹]

در پژوهشی دیگر (۲۰۰۴) اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله روی پل‌های فلزی بررسی شده و این نتیجه به دست آمده است که مؤلفه‌ی قائم حرکت زمین، اثر زیادی در نیروی محوری ستون‌ها در سیستم‌های قاب خمشی و پایه‌ی پل‌ها دارد، که در بعضی سازه‌ها حدود ۳۰٪ بیشتر از فقط حالت افقی است و همچنین آثار مؤلفه‌ی مذکور در طبقات بالاتر سازه‌ها بیشتر از طبقات پایین است.^[۱۰] در نوشتاری دیگر (۲۰۰۴) با عنوان اثر شتاب قائم در پاسخ سازه‌های با سیستم جداگر لرزه‌ی در اثر زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک گسل، با بررسی یک سازه‌ی ۵ طبقه‌ی بتن مسلح با سیستم جداگر لرزه‌ی با خطر لرزه‌ی بالا، مقادیر اوج شتاب قائم به شتاب افقی بررسی شده و نتایج به دست آمده نشان داده است هنگامی که مؤلفه‌ی عمودی حرکت زمین در نظر گرفته شود، جداکننده می‌تواند بارهای کششی را تحمل کند. تاریخچه‌ی زمانی بار محوری نشان می‌دهد که این بار در جداکننده، در زمانی که تغییر مکان قائم جداکننده نادیده گرفته شود، تخمین پایین‌دستی است.^[۱۱] همچنین در بررسی مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی (۱۳۹۳) تحت زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک با در نظر گرفتن اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله، سازه‌ی در تهران که نیاز به بهسازی داشته است، با سیستم مهاربند برون‌محور

(۱۹۷۶)، ایمپریال ولی^۲ (۱۹۷۹)، طبس^۳ (۱۹۷۸) و نورث ریج^۴ (۱۹۹۴) انتخاب شده و با توجه به اینکه دوره‌ی تناوب غالب مؤلفه‌ی قائم زلزله‌های مذکور نزدیک به دوره‌ی تناوب مد شیپ قائم در هر ۶ مدل با قاب‌های بزرگ دهانه‌ی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری است، در مدل‌ها از دوره‌ی تناوب مذکور استفاده شده است.

۷. نتایج تحلیل تاریخچه‌ی زمانی

برای بررسی اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در قاب‌های با دهانه‌های مختلف در تحلیل تاریخچه‌ی زمانی، ابتدا سازه با وارد کردن زلزله با ۳ مؤلفه‌ی X، Y و Z مورد بررسی قرار گرفته است. در مرحله‌ی بعد، همان زلزله بدون اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله به سازه اعمال و رفتار سازه در ۲ حالت بررسی شده است.

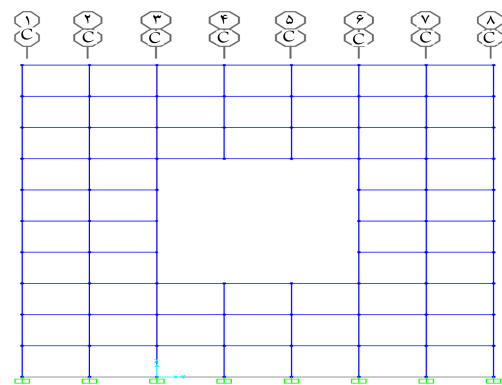
در هر یک از مدل‌های ذکر شده، مقادیر لنگر، برش، نیروی محوری، و جابه‌جایی نسبی قاب‌های بزرگ دهانه در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و همچنین اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول‌های ۱ الی ۱۲، افزایش مقادیر لنگر، برش، نیروی محوری، و جابه‌جایی نسبی در اثر اعمال مؤلفه‌ی قائم زلزله به صورت درصد نشان داده شده و مقادیر مذکور نشان می‌دهند که اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در افزایش لنگر وسط دهانه بسیار مؤثر است. مؤلفه‌ی مذکور سبب افزایش اندک برش در دهانه شده و همچنین سبب افزایش چشم‌گیر نیروی محوری در ستون‌های کناری قاب‌های بزرگ دهانه شده است. مقادیر جابه‌جایی نسبی هم در اثر اعمال مؤلفه‌ی قائم زلزله افزایش یافته است. با مقایسه‌ی مقادیر موجود در جدول‌های ۱ الی ۱۲، این نتیجه به دست آمده است که اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله سبب افزایش ۳۰ درصدی لنگر وسط دهانه و افزایش ۲۰ درصدی لنگر کنار دهانه در

جدول ۱. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۵ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۸ طبقه.

زلزله		گزلی		ایمپریال ولی		نورث ریج		طبس	
۱۲	۱۴	۱۳	۱۵	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳
۸	۶	۵	۷	۵	۵	۵	۵	۵	۵
۱	۰٫۹	۰٫۸	۱٫۲	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۸
۰٫۹	۱	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۵
۸	۱۰	۵	۷	۵	۵	۵	۵	۵	۵
۴	۳	۲	۵	۲	۲	۲	۲	۲	۲

جدول ۲. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۱۰ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۸ طبقه.

زلزله		گزلی		ایمپریال ولی		نورث ریج		طبس	
۲۴	۲۲	۲۰	۲۳	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
۱۵	۱۰	۱۲	۱۴	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
۲	۱٫۸	۲٫۲	۳	۲٫۲	۲٫۲	۲٫۲	۲٫۲	۲٫۲	۲٫۲
۲	۱٫۶	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۵	۲٫۵	۲٫۵	۲٫۵	۲٫۵	۲٫۵
۱۶	۲۱٫۶	۱۶٫۷	۱۶٫۶	۱۶٫۷	۱۶٫۷	۱۶٫۷	۱۶٫۷	۱۶٫۷	۱۶٫۷
۱۰	۱۲	۱۰	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰



شکل ۲. سازه‌ی ۱۰ طبقه با قاب بزرگ دهانه‌ی ۱۵ متری در قسمت وسط سقف طبقه‌ی ششم.

همکف قطع شده و سازه فقط روی ستون‌های پیرامونی قاب‌های بزرگ دهانه قرار گرفته است. بدیهی است تیرهای بزرگ دهانه‌ی بی که ستون‌های مذکور روی آن‌ها واقع شده‌اند، باید به اندازه‌ی کافی مقاومت داشته باشند، تا بتوانند بار آن‌ها را تحمل کنند و دچار خمش‌های بیش از حد، نشست، و فروریزش نشوند. در سازه‌ی ۱۰ طبقه نیز سازه تا طبقه‌ی دوم پیوسته بوده است، اما از طبقه‌ی دوم تا طبقه‌ی ششم در قسمت وسط سازه، فضای خالی در نظر گرفته شده است (شکل ۲). از طبقه‌ی هشتم تا طبقه‌ی نهم نیز فضای خالی پر شده و سازه دوباره پیوسته شده است. همچنین در قسمت وسط سقف طبقه‌ی ششم، که فضای خالی پر شده است، از تیرهای بزرگ دهانه استفاده شده است. لازم به ذکر است در انتخاب مدل‌ها تلاش شده است از نمونه‌های اجرا شده‌ی مشابه به مدل‌های واقعی، که در آنها قاب‌های بزرگ دهانه به کار رفته است، استفاده شود. سازه‌ی ۸ طبقه مشابه ساختمان پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله‌ی تهران و سازه‌ی ۱۰ طبقه نیز مشابه ساختمان وزارت و راه و شهرسازی تهران مدل‌سازی شده‌اند.

۵. صحت‌سنجی مدل نرم‌افزاری با مدل عددی

در این پژوهش از یک قاب ساختمانی ساده‌ی ۱ طبقه و یک دهانه‌ی فولادی با قاب خمشی، برای صحت‌سنجی مدل عددی استفاده شده است. به این گونه که ابتدا سازه در نرم‌افزار Perform مدل شده است، سپس نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی خطی سازه با مدل عددی، که به صورت دستی تحلیل شده است، مورد مقایسه قرار گرفته است. برای سهولت در انجام محاسبات از مقادیر دوره‌ی تناوب و تغییر مکان سازه در تحلیل استاتیک معادل استفاده شده است. نتایج بیشتر از ۹۰٪ به هم نزدیک بوده‌اند.

۶. مدل‌سازی

در مطالعه‌ی حاضر از ۶ نوع مدل‌سازی با سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه با طول دهانه‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متری استفاده شده است. سازه‌های مورد مطالعه ابتدا در نرم‌افزار SAP مدل‌سازی و در مقابل بارهای ثقلی و نیروهای جانبی بر طبق ضوابط آیین‌نامه طراحی شده‌اند. سپس مدل‌ها به نرم‌افزار Perform انتقال داده شده و با وارد کردن زلزله به سازه تحت تحلیل غیرخطی تاریخچه‌ی زمانی، رفتار سازه تحت اثر زلزله‌های مختلف بررسی شده است. همچنین از بررسی مودهای سازه، زلزله‌های گزلی^۱

جدول ۳. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۱۵ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۸ طبقه.

زلزله				
گزلی	ایمپریال ولی	نورث ریج	طیس	
۲۸	۲۴	۲۶	۲۲	لنگر وسط دهانه‌ی میانی
۱۹	۱۷	۱۶	۱۴	لنگر کنار دهانه‌ی کناری
۳/۱	۲/۵	۲/۹	۲/۶	برش وسط دهانه‌ی میانی
۲/۸	۲	۳	۲/۹	برش کنار دهانه‌ی کناری
۱۸	۲۰/۵	۱۷/۲	۱۸/۱	نیروی محوری ستون
بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر	۱۵	۱۶	۱۳	

جدول ۴. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۲۰ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۸ طبقه.

زلزله				
گزلی	ایمپریال ولی	نورث ریج	طیس	
۳۲	۲۸	۲۷	۲۴	لنگر وسط دهانه‌ی میانی
۲۴	۲۱	۲۰	۲۲	لنگر کنار دهانه‌ی کناری
۳/۶	۴	۳/۶	۴	برش وسط دهانه‌ی میانی
۳/۲	۵	۳/۴	۳/۲	برش کنار دهانه‌ی کناری
۲۰	۲۱	۱۹	۱۸/۵	نیروی محوری ستون
بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر	۲۱	۱۸	۱۹	

جدول ۵. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۲۵ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۸ طبقه.

زلزله				
گزلی	ایمپریال ولی	نورث ریج	طیس	
۴۰	۳۶	۳۷	۳۵	لنگر وسط دهانه‌ی میانی
۳۳	۳۲	۳۰	۳۱/۵	لنگر کنار دهانه‌ی کناری
۵	۳/۸	۴	۶	برش وسط دهانه‌ی میانی
۴/۶	۶/۵	۵/۲	۴/۳	برش کنار دهانه‌ی کناری
۲۵	۲۶	۲۴	۲۶	نیروی محوری ستون
بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر	۳۲	۲۹	۲۶	

جدول ۶. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۳۰ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۸ طبقه.

زلزله				
گزلی	ایمپریال ولی	نورث ریج	طیس	
۴۸	۴۳	۴۲	۴۴	لنگر وسط دهانه‌ی میانی
۴۱	۴۳	۳۹	۴۰	لنگر کنار دهانه‌ی کناری
۶/۶	۴/۲	۵	۶/۲	برش وسط دهانه‌ی میانی
۵/۲	۷/۱	۶/۲	۵/۹	برش کنار دهانه‌ی کناری
۳۲	۳۴	۳۶	۲۹	نیروی محوری ستون
بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر	۴۶	۴۷	۴۵/۶	

جدول ۷. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۵ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۱۰ طبقه.

زلزله				
گزلی	ایمپریال ولی	نورث ریج	طیس	
۱۰	۹	۱۱	۱۲	لنگر وسط دهانه‌ی میانی
۷	۵	۶	۶/۳	لنگر کنار دهانه‌ی کناری
۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۶۵	برش وسط دهانه‌ی میانی
۰/۶	۰/۸	۰/۸۵	۰/۷	برش کنار دهانه‌ی کناری
۶	۵	۷/۱	۵/۹	نیروی محوری ستون
بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر	۲	۳/۵	۳/۸	

جدول ۸. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۱۰ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۱۰ طبقه.

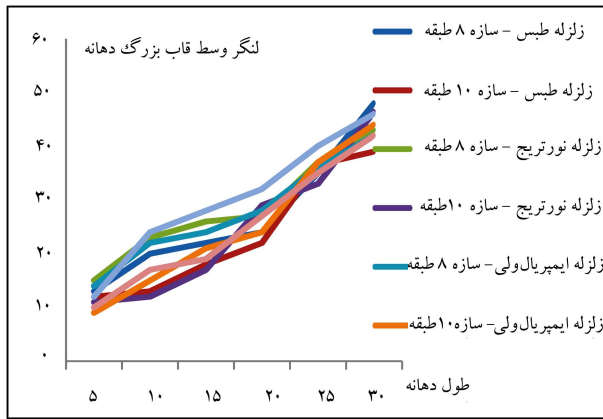
زلزله				
گزلی	ایمپریال ولی	نورث ریج	طیس	
۱۷	۱۵	۱۲	۱۳	لنگر وسط دهانه‌ی میانی
۱۱	۸	۹	۷	لنگر کنار دهانه‌ی کناری
۱	۰/۹	۱	۰/۸	برش وسط دهانه‌ی میانی
۰/۸	۱/۲	۱/۱	۰/۹	برش کنار دهانه‌ی کناری
۱۴	۱۸	۱۷/۱	۱۳	نیروی محوری ستون
بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر	۵	۶	۷	

جدول ۹. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۱۵ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۱۰ طبقه.

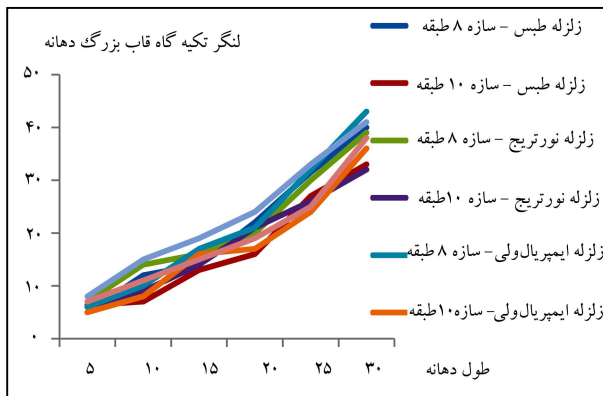
زلزله				
گزلی	ایمپریال ولی	نورث ریج	طیس	
۱۹	۲۱	۱۷	۱۸	لنگر وسط دهانه‌ی میانی
۱۵	۱۶	۱۴	۱۳	لنگر کنار دهانه‌ی کناری
۱/۵	۱/۲	۱/۸	۲	برش وسط دهانه‌ی میانی
۱/۷	۱/۴	۱/۹	۲/۱	برش کنار دهانه‌ی کناری
۱۴/۶	۱۹/۲	۱۸/۲	۱۴/۵	نیروی محوری ستون
بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر	۸	۷	۹	

جدول ۱۰. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۲۰ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۱۰ طبقه.

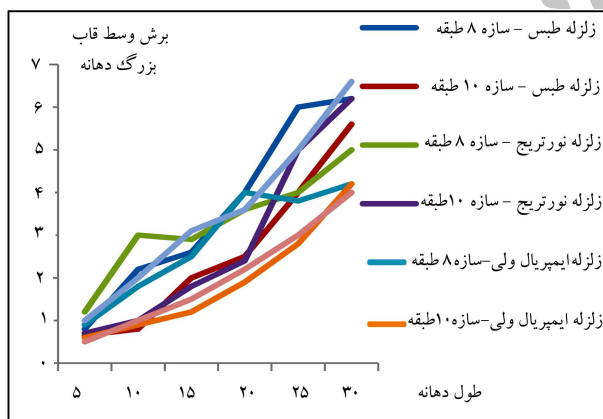
زلزله				
گزلی	ایمپریال ولی	نورث ریج	طیس	
۲۷	۲۴	۲۹	۲۲	لنگر وسط دهانه‌ی میانی
۱۹	۱۷	۲۱	۱۶	لنگر کنار دهانه‌ی کناری
۲/۲	۱/۹	۲/۴	۲/۵	برش وسط دهانه‌ی میانی
۲/۱	۱/۸	۲/۳	۲/۴	برش کنار دهانه‌ی کناری
۱۸/۷	۲۰/۱	۱۸/۷	۱۶	نیروی محوری ستون
بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر	۱۴	۱۲	۱۱	



شکل ۳. مقادیر لنگر وسط دهانه میانی نسبت به طول دهانه در اثر زلزله‌های مختلف.



شکل ۴. مقادیر لنگر کنار دهانه کناری نسبت به طول دهانه در اثر زلزله‌های مختلف.



شکل ۵. مقادیر برش وسط دهانه میانی نسبت به طول دهانه در اثر زلزله‌های مختلف.

حدود ۵٪، نیروی محوری ستون حدود ۱۵٪، و بیشینه جابه‌جایی نسبی وسط دهانه حدود ۲۰٪ افزایش یافته‌اند. برای دهانه‌های بیشتر از ۱۵ متر توصیه می‌شود که اثر مؤلفه‌ی قائم با دقت بیشتری در نظر گرفته شود، همچنین توصیه می‌شود در نواحی نزدیک به گسل‌های فعال، اثر مؤلفه‌ی قائم برای همه‌ی سازه‌ها در نظر گرفته شود. مطابق شکل‌های ۳ الی ۸، در دهانه‌های ۵ متری مقادیر لنگر، برش، و جابه‌جایی نسبی در اثر اعمال مؤلفه‌ی قائم زلزله، افزایش چشم‌گیری ندارند، که

جدول ۱۱. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۲۵ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۱۰ طبقه.

تیر	زلزله			
	طیس	نورتریج	ایمپریال ولی	گزلی
لنگر وسط دهانه‌ی میانی	۳۶٫۶	۳۳	۳۷	۳۵
لنگر کنار دهانه‌ی کناری	۲۷	۲۶	۲۴	۲۵
برش وسط دهانه‌ی میانی	۴	۵	۲٫۸	۳
برش کنار دهانه‌ی کناری	۳٫۶	۴٫۴	۳٫۳	۲٫۸
نیروی محوری ستون	۲۲	۲۳	۲۴	۲۲
بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر	۲۵	۲۶	۲۷	۳۰

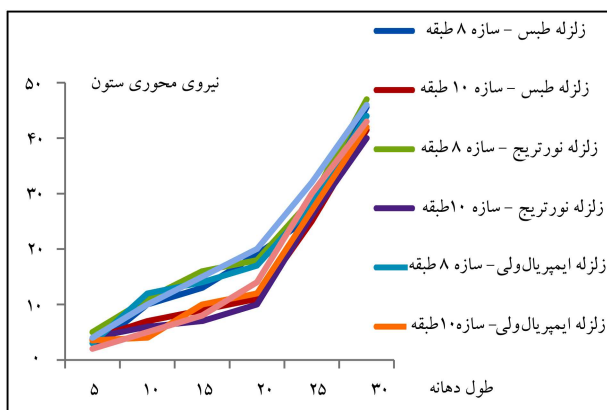
جدول ۱۲. درصد افزایش لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه‌ی ۳۰ متری در اثر اعمال مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در سازه‌ی ۱۰ طبقه.

تیر	زلزله			
	طیس	نورتریج	ایمپریال ولی	گزلی
لنگر وسط دهانه‌ی میانی	۳۹	۴۶٫۴	۴۴	۴۲
لنگر کنار دهانه‌ی کناری	۳۳	۳۲	۳۶	۳۸
برش وسط دهانه‌ی میانی	۵٫۶	۶٫۲	۴٫۲	۴
برش کنار دهانه‌ی کناری	۴٫۵	۵٫۶	۳٫۸	۴٫۵
نیروی محوری ستون	۲۹	۳۵	۳۶	۲۸
بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر	۴۱٫۵	۴۰	۴۲	۴۳

تیر بزرگ دهانه شده است. مقادیر برش نیز در تیر مذکور حدود ۵٪ افزایش یافته است. همچنین نیروی محوری ستون‌های کناری ۱۵٪ افزایش و جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه حدود ۲۰٪ افزایش یافته است. در اثر افزایش طول تیرهای بزرگ دهانه نیز این افزایش مقادیر در لنگر، نیروی محوری، و جابه‌جایی نسبی بیشتر شده است. همان‌گونه که در جدول‌های ۱ الی ۱۲ مشاهده می‌شود، با افزایش طول دهانه‌ی تیرها مقادیر لنگر، برش، نیروی محوری، و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی در دهانه‌های مختلف بسته به طول دهانه افزایش یافته و ملاحظه می‌شود که در دهانه‌های بزرگ‌تر نیز این افزایش به نسبت بیشتری بوده است. همچنین در شکل‌های ۳ الی ۸ که در آن‌ها مقادیر لنگر، برش، نیروی محوری، و بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی در محورهای عمودی و مقادیر طول دهانه‌ی قاب‌های بزرگ دهانه در محور افقی در نظر گرفته شده است، نشان‌دهنده‌ی این هستند که مقادیر مذکور در اثر زلزله‌های مختلف در دهانه‌های بزرگ‌تر به نسبت بیشتری افزایش می‌یابند.

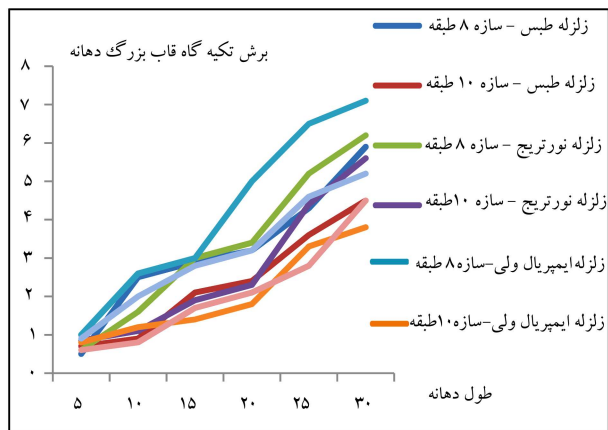
۸. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در قاب‌های خمشی بزرگ دهانه بررسی شده است. برای رسیدن به این هدف، ۶ سازه در دو نوع مدل ۸ و ۱۰ طبقه با قاب‌های بزرگ دهانه‌ی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری مدل‌سازی شده و مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله‌های مختلف در تحلیل تاریخی‌چهی زمانی مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در اثر اعمال مؤلفه‌ی قائم، لنگر وسط قاب بزرگ دهانه حدود ۳۰٪، لنگر کنار قاب بزرگ دهانه حدود ۲۰٪، مقادیر برش

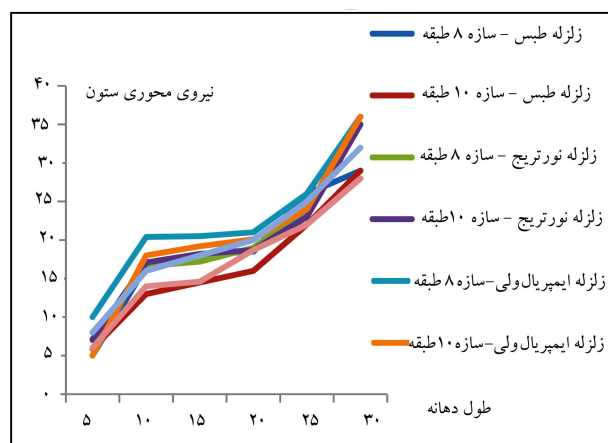


شکل ۸. مقادیر بیشینه‌ی جابه‌جایی نسبی وسط تیر بزرگ‌دهانه نسبت به طول دهانه در اثر زلزله‌های مختلف.

می‌توان از آن‌ها صرف‌نظر کرد. در دهانه‌های ۱۰ تا ۲۰ متری، مقادیر لنگر، برش، و جابه‌جایی نسبی در اثر اعمال مؤلفه‌ی قائم زلزله به تدریج زیاد شده‌اند؛ که باید مطابق آیین‌نامه‌ها، اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در سازه‌ها در نظر گرفته شود. اما در دهانه‌های بیشتر از ۲۰ متر مقادیر افزایش لنگر، برش، و جابه‌جایی نسبی به شدت افزایش یافته‌اند، که نیاز به بررسی دقیق دارد و با روابط موجود در آیین‌نامه‌ها نمی‌توان اثر مؤلفه‌ی قائم را در نظر گرفت. به طوری که در نواحی نزدیک به گسل، اثر مؤلفه‌ی قائم زلزله در دهانه‌های بالای ۲۰ متر می‌تواند بسیار مخرب باشد. لازم به ذکر است در مدل‌سازی در پژوهش حاضر از سازه‌های بلند استفاده نشده است، چرا که سازه‌های بلند به تنهایی و به صورت مجزا نیاز به بررسی کافی دارند. همچنین در این پژوهش تلاش شده است سازه‌هایی که مشابه آنها در واقعیت اجرا شده باشد، مورد بررسی قرار گیرند و کاربردی‌تر باشند.



شکل ۶. مقادیر برش کناری دهانه‌ی کناری نسبت به طول دهانه در اثر زلزله‌های مختلف.



شکل ۷. مقادیر نیروی محوری ستون نسبت به طول دهانه در اثر زلزله‌های مختلف.

پانویس‌ها

1. Gazli
2. Imperial Valley
3. Tabas
4. Northridge

منابع (References)

1. Elnashai, A., Spencer, B., Kuchma, D., Kim, S., Burdette, N., Holb, C., Gonzales, J., Nakata, N. and Yang, Q. "Analysis and distributed hybrid simulation of shear-sensitive RC bridges subjected to horizontal and vertical earthquake ground motion", *Technical Memorandum of Public Works Research Institute*, (3983), pp. 351-368 (2005).
2. Silva, W.J. "Characteristic of vertical ground motions for application to engineering design", *Proc. FHWA/NCEER Workshop on the National Representation of Seismic Ground Motion for New and Existing Highway Facilities*, Tech. Rep. No NCEER-97-0010, National Center for Earthquake Engineering Research, State Univ. of New York at Buffalo N.Y, pp. 205-252 (1997).
3. Yang, J. and Lee, C.M. "Characteristics of vertical and horizontal ground motion recorded during the Niigata-Ken Chuetsu, Japan earthquake of 23 October 2004", *Engineering Geology*, **94**(1-2), pp. 50-64 (2007).
4. Galal, K. and Ghobarah, A. "Effect of near-fault earthquakes on North American nuclear design spectra", *Nuclear Engineering and Design*, **236**(18), pp. 1928-1936 (Feb. 2006).
5. Choi, I.-K., Kim, M.K., Choun, Y.S. and Seo, J.M.

- “Shaking table test of steel frame structures subjected to scenario earthquakes”, *Journal of the Nuclear Engineering and Technology*, **37**(2), pp. 191-200 (2005).
6. Ghafory Ashtiani, M. and Singh, M.P. “Structural response for six correleated earthquake components”, *Earthquake engineering and Structural Dynamics*, **14**(1), pp. 103-119 (1986).
 7. SadrAra, M. “The effect of vertical component of earthquake on the long span moment frames in general symmetric steel building”, M.S. Dissertation, Islamic Azad University Science and Research Campus, Tehran (2013).
 8. Haldar, A. and Reyes-Salazar, A. “Dissipation of energy in steel frames under dynamic loading”, *Proceedings 12th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand. Paper No. 0458 (2000).
 9. Ruiz, D. and Sarria, A. “Response of large span steel frames subjected to horizontal and vertical seismic motions”, *Proceedings 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C. Canada (August 2004).
 10. Hosseini, M. and Firoozi Nezamabadi, M. “A study of the effects of the vertical ground acceleration on the seismic response of steel buildings”, *13th WCEE*, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 2377 (2004).
 11. Mazza, F. and Vulcano, A. “Effects of the vertical acceleration on the response of base-isolated structures subjected to near-fault ground motions”, *Proceedings 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C. Canada (August 2004).
 12. Nasirian, M. and Yahyai, M. “Retrofitting steel structures under near faults earthquakes with the effect of the vertical component of earthquake”, *7th National Congress of Civil Engineering*, Department of Civil Engineering, Babol, Iran (Jun. 2014).
 13. Graizer, V. and Kalkan, E. “Multi-component ground motion response spectra for coupled horizontal, vertical, angular accelerations, and tilt”, *ISET Journal of Earthquake Technology*, **44**(1), pp. 259-284 (2007).

Archive of SID