

## چکیده

زلزله‌های حوزه نزدیک عموماً دارای مؤلفه قائم بزرگتری نسبت به مؤلفه افقی می‌باشند و با همین ویژگی از زلزله‌های حوزه دور متمایز می‌شوند. این موضوع در قاب‌های بزرگ‌دهانه دارای اهمیت بیشتری هستند. در این پژوهش اثر مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله در قاب‌های بزرگ‌دهانه، با شبیه‌سازی دو نوع سازه با دهانه‌های مختلف، با استفاده از نرم‌افزارهای اجزاء محدود مورد بررسی قرار گرفته است. به این گونه که ابتدا سازه‌ها را تحت اثر مؤلفه‌های افقی زلزله قرار داده و در مرحله بعد علاوه بر مؤلفه‌های افقی، مؤلفه قائم زلزله نیز وارد شده و در هر حالت عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی عملکرد سازه نیز مطابق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای، از تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی خطی و غیرخطی استفاده شده است. در بخش پایانی مقاله که با هدف ارزیابی قابلیت اطمینان سازه صورت گرفته است، مقادیر افزایش لنگر، برش، نیروی محوری ستون‌ها، افت میان دهانه تیرها و ... بررسی شده و با استفاده از یک نرم‌افزار آماری مناسب، قابلیت اطمینان سازه نسبت به پارامترهای مذکور محاسبه شده است.

**واژگان کلیدی:** شاخص قابلیت اطمینان، مؤلفه قائم زلزله، مؤلفه افقی زلزله، قاب بزرگ‌دهانه.

# ارزیابی شاخص قابلیت اطمینان قاب‌های خمشی بزرگ‌دهانه فولادی تحت اثر مؤلفه قائم زلزله

محمد صدرآرا

دانشجوی دکتری مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی

واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

پنাম زرفام (نویسنده مسئول)

استادیار دانشکده فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و

تحقیقات، تهران، ایران

Zarfam@srbiau.ac.ir

محمود حسینی

دانشیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

## ۱- مقدمه

مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله به دو نوع مدل‌سازی با طول دهانه‌های مختلف در نرم‌افزار، رفتار این قاب‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- پیشینه پژوهش

در طی سال‌های گذشته در رابطه با اثر مؤلفه قائم زلزله بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است. به طوری که اولین بار نسبت مؤلفه قائم زلزله به مؤلفه افقی برابر ۰/۶۷ در نظر گرفته شد [۱]. این نسبت همان‌طور که در پژوهش‌های مختلف ذکر شده است در فواصل دور از گسل محافظه کارانه و در فواصل نزدیک گسل دست پایین است [۲]. گاهی اوقات نیز اثر مؤلفه قائم زلزله به صورت درصدی از بار مرده در نظر گرفته شده و بر سازه اعمال شده است؛ اما از آنجاکه قسمت‌های مختلف سازه به یک نسبت تحت اثر بار مرده و مؤلفه

اثر مؤلفه قائم زلزله تا سال‌های اخیر کوچک در نظر گرفته می‌شد و اثر این مؤلفه را خیلی کوچکتر از مؤلفه افقی زلزله در نظر می‌گرفتند؛ اما مشاهده‌ی رکوردهای حرکت قوی زمین و بررسی رکوردهای گزارش شده نشان‌دهنده‌ی حرکت شدید قائم زمین در برخی موارد بود که سبب به وجود آمدن مشکلات زیادی در بسیاری از سازه‌ها به خصوص سازه‌های با قاب‌های بزرگ‌دهانه می‌شد. استفاده از قاب‌های بزرگ‌دهانه نه تنها ایجاد فضاهای باز در سازه‌ها را امکان‌پذیر می‌کنند، بلکه می‌توانند در ساخت سازه‌هایی با ایده‌های معماری زیبا نیز بسیار مفید باشند؛ اما قاب‌های بزرگ‌دهانه در مقابل اثر مؤلفه قائم زلزله بسیار آسیب‌پذیرند. مقاومت قاب‌های بزرگ‌دهانه در اثر اعمال مؤلفه قائم زلزله بسیار کاهش می‌یابد. همچنین وقتی که مؤلفه افقی هم با مؤلفه قائم ترکیب می‌شود می‌تواند گاهی اوقات بسیار خطرناک باشد که در ادامه با بررسی این قاب‌ها و اعمال

قائم زلزله نیستند، این روش دارای خطای زیادی است [۳].

عملکرد لرزه‌ای یک ساختمان در طول زلزله بستگی به پارامترهای متعددی مانند پیکربندی سازه، مصالح و سیستم سازه‌ای و ... دارد که می‌توان با استفاده از پارامترهایی مثل لنگر، نیروی برشی و حداکثر جابه‌جایی نسبی مورد بررسی قرار داد. اگرچه تعیین عملکرد ساختمان در هنگام وقوع زلزله به علت تعداد زیاد پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد سازه و عدم دقت در مدل‌سازی دقیق رفتار سازه، پیچیده است؛ اما تعیین عملکرد سازه با استفاده از آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های ارزیابی لرزه‌ای امکان‌پذیر است. علاوه بر کنترل عملکرد سازه، تشخیص مقدار خرابی در اثر زلزله می‌تواند در تصمیم‌سازی در ارتباط با سازه تأثیرگذار باشد [۴].

در سال‌های گذشته توجه محققان به زلزله‌های حوزه نزدیک گسل و مقدار خرابی ناشی از این زلزله‌ها بیشتر شده و اثرات متفاوت زلزله‌های نزدیک گسل با زلزله‌های دور از گسل برای آنها روشن شد؛ تا جایی که با به وقوع پیوستن زلزله‌های مخربی که در نزدیکی یک گسل فعال بودند، مثل زلزله ۱۹۹۲ لندرز، زلزله ۱۹۹۴ نورتریج، زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن و زلزله ۱۹۹۹ چی‌چی تایوان، اهمیت این موضوع برای محققین مسجل شد [۴].

نادری و همکاران [۵] در مطالعه‌ای شاخص آسیب‌پذیری قاب‌های خمشی فولادی قبل و بعد از بهسازی لرزه‌ای با مهاربندهای فولادی و دیوار برشی را مورد بررسی قرار دادند. آنها در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که اگرچه استفاده از تحلیل‌های پوش‌آور و دینامیکی غیرخطی راهکاری مناسب برای بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها است ولی با این روش‌ها امکان تشخیص مقدار خرابی و وضعیت سازه وجود ندارد؛ بنابراین استفاده از شاخص‌های خرابی، روشی مناسب برای برآورد دقیق سازه‌ها می‌باشد. همچنین در حالت بهسازی با دیوار برشی، سختی سازه از مهاربندهای مقاوم در برابر کماتش کمتر و از مهاربندهای واگرا بیشتر است که این حالت بهسازی با توجه به مقادیر خرابی به‌دست آمده از سایر

روش‌های بهسازی، خرابی بیشتری داشته است.

هاران و همکاران [۶] در مقاله‌ای قابلیت اطمینان قاب‌های فولادی را در مناطق با خطر لرزه‌ای بالا مورد بررسی قرار دادند. آنها در تحقیقات خود مشاهده کردند که قاب مورد مطالعه به قابلیت اطمینان نهایی نرسیده است. به علت اینکه این ساختمان برای شتاب  $0.36g$  طراحی شده بود ولی سختی و مقاومت آن نادیده گرفته شده و نیروی وارده بزرگ بود و به‌این‌علت سازه آسیب دید. درحالی که مقاومت و سختی سازه عملکرد سازه را افزایش می‌دهد و باید این موارد هم در تخمین شاخص قابلیت اطمینان در نظر گرفته شود.

حسینی و صدرآرا [۷] در مقاله‌ای اثر مؤلفه قائم زلزله در قاب‌های خمشی بزرگ‌دهانه را در سازه‌های فولادی مورد بررسی قرار دادند. آنها در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که اثر مؤلفه قائم زلزله در بسیاری از آیین‌نامه‌ها آن‌طور که باید لحاظ نشده است و در اثر ترکیب این مؤلفه با مؤلفه افقی می‌تواند اثرات بسیار مخربی روی سازه ایجاد نماید.

رویز و ساویا [۸] از کسانی بودند که اثر مؤلفه افقی و قائم زلزله روی قاب‌های بزرگ‌دهانه صنعتی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها با وارد کردن مؤلفه زلزله روی قاب یک ساختمان، با استفاده از نرم‌افزار SAP پاسخ لرزه‌ای سازه را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که سازه‌های دهانه‌بزرگ ممکن است یک ضریب میرایی بحرانی کمتر از ۵ درصد (حدود ۱/۵ تا ۲ درصد) داشته باشند. همچنین بر اساس تحلیل پوش‌آور به این نتیجه رسیدند که ضریب کاهش R که بیشتر برای قاب‌های مقاوم فولادی در حدود ۶ تا ۸ است می‌تواند در اثر مؤلفه قائم زلزله کاهش یابد و در برخی سازه‌ها حتی به ۲/۵ هم برسد.

حسینی و نظام‌آبادی [۹] در پژوهش خود اثر مؤلفه قائم زلزله را روی پل‌های فلزی مورد بررسی قرار دادند. آنها طی پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که مؤلفه قائم حرکت زمین اثر زیادی بر نیروی محوری ستون‌ها در سیستم‌های قاب خمشی و پایه پل‌ها

ارتعاشات مؤلفه‌های انتقالی و همچنین سرعت امواج برشی، همان‌طور که توسط نیومارک نشان داده شد، 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.

### ۳- ادبیات تحقیق

مشخصات مؤلفه قائم زلزله با مؤلفه افقی آن متفاوت است. مؤلفه قائم زلزله محتوای فرکانسی بالاتری نسبت به مؤلفه افقی دارد. این محتوای فرکانسی بالاتر به بزرگ‌نمایی بیشتر در پریودهای کوتاه منجر می‌شود. از آنجاکه فرکانس طبیعی سازه‌ها در جهت قائم بیشتر از فرکانس 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 مؤلفه قائم زلزله بر سازه‌های مختلف گام اول شناخت منشأ تحریکات قائم زلزله، طیف پاسخ مؤلفه قائم و پارامترهای مؤثر بر مؤلفه قائم زلزله می‌باشد [۱۳]. مؤلفه 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 ارتباط هستند [۱۴]. این مؤلفه زلزله در بسیاری از سازه‌ها می‌تواند بی‌خطر باشد اما در مواجهه با قاب‌های بزرگ‌دهانه اثر این مؤلفه می‌تواند به شدت مخرب باشد که به همین جهت در این تحقیق قابلیت اطمینان این قاب‌ها در مقابل اثر مؤلفه قائم زلزله مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۴- مدل‌سازی

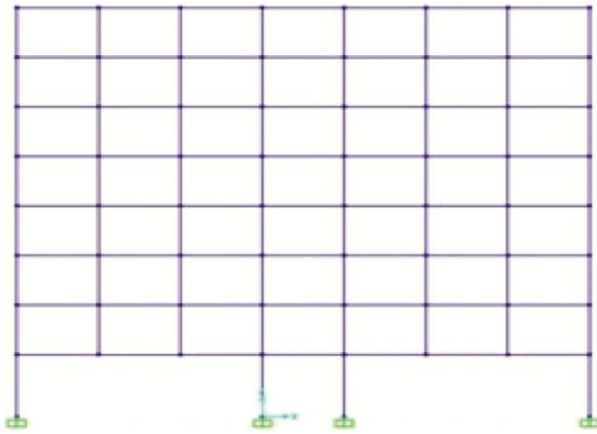
در این پژوهش برای بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله روی قاب‌های خمشی بزرگ‌دهانه از دو نوع سازه ۸ و ۱۰ طبقه با قاب‌های دارای دهانه بزرگ ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری استفاده شده است. در طراحی اولیه این سازه‌ها سیستم قاب فولادی بادبندی با

دارد که در بعضی سازه‌ها حدود ۳۰٪ بیشتر از حالت افقی تنها می‌باشد. همچنین اثرات این مؤلفه در طبقات بالاتر سازه‌ها بیشتر از طبقات پایین است.

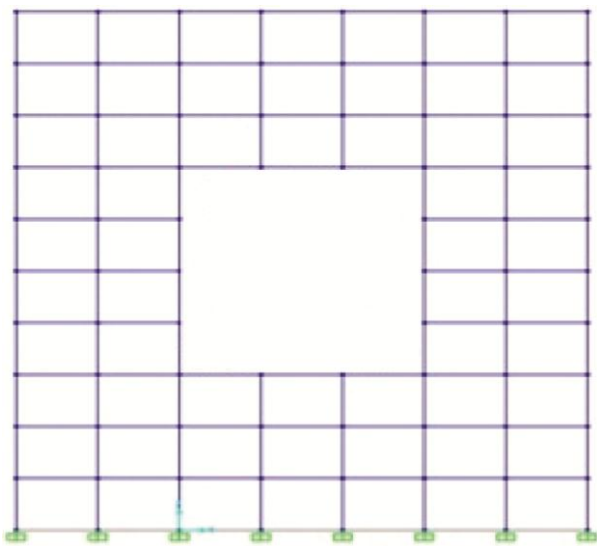
هالدار و ریس سالازار [۱۰] از کسانی بودند که اثر مؤلفه قائم زلزله را در آیین‌نامه‌ها مورد مقایسه قرار دادند. آنها اثر این مؤلفه زلزله را بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها در دو آیین‌نامه‌ی مکزیکی و NEHRP مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش آنها به این نتیجه رسیدند که این دو آیین‌نامه به‌طور قابل‌توجهی نیروهای محوری ستون‌ها را دست‌پایین تخمین می‌زنند. این تخمین دست‌پایین بار محوری ستون‌ها با گسترش مفصل پلاستیک قاب‌ها افزایش می‌یابد. دست‌پایین بودن تخمین برای ستون‌های داخلی بیشتر از ستون‌های خارجی است اگر نسبت بین حداکثر شتاب مؤلفه قائم به حداکثر شتاب مؤلفه افقی زلزله بالاتر از نرمال باشد، تخمین دست‌پایین با افزایش این نسبت زیاد می‌شود. همچنین دست‌پایین بودن برآورد با ارتفاع قاب ارتباطی ندارد.

ماتزا و ولکانو [۱۱] در مقاله‌ای تحت عنوان اثر شتاب قائم روی پاسخ سازه‌های با سیستم جداگر لرزه‌ای در اثر زلزله حوزه نزدیک گسل، با بررسی یک سازه ۵ طبقه بتن مسلح با سیستم جداگر لرزه‌ای با خطر لرزه‌ای بالا، مقادیر اوج شتاب قائم به افقی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد هنگامی که مؤلفه عمودی حرکت زمین در نظر گرفته شود، جداکننده می‌تواند بارهای کششی را تحمل کند. تاریخچه زمانی بار محوری نشان می‌دهد که این بار در جداکننده وقتی تغییر مکان قائم جداکننده نادیده گرفته شود، تخمین پایین‌دستی است.

غفوری آشتیانی و سینگ [۱۲] اثر همبستگی شش مؤلفه زلزله را روی پاسخ سازه‌ها مورد بررسی قرار دادند. آنها در مطالعات خود روشی برای محاسبه‌ی پاسخ سازه تحت اثر شش مؤلفه همبسته زلزله ارائه دادند و ذکر کردند که در مدل پین‌زین و واتابه همبستگی بین مؤلفه‌های دورانی زمین، به‌خوبی همبستگی بین مؤلفه‌های انتقالی حرکت زمین برقرار است. این مؤلفه‌های دورانی حرکت زمین می‌تواند به‌صورت تابعی از



شکل (۱): سازه ۸ طبقه با قاب بزرگ دهانه ۱۵ متری در کف طبقه اول.



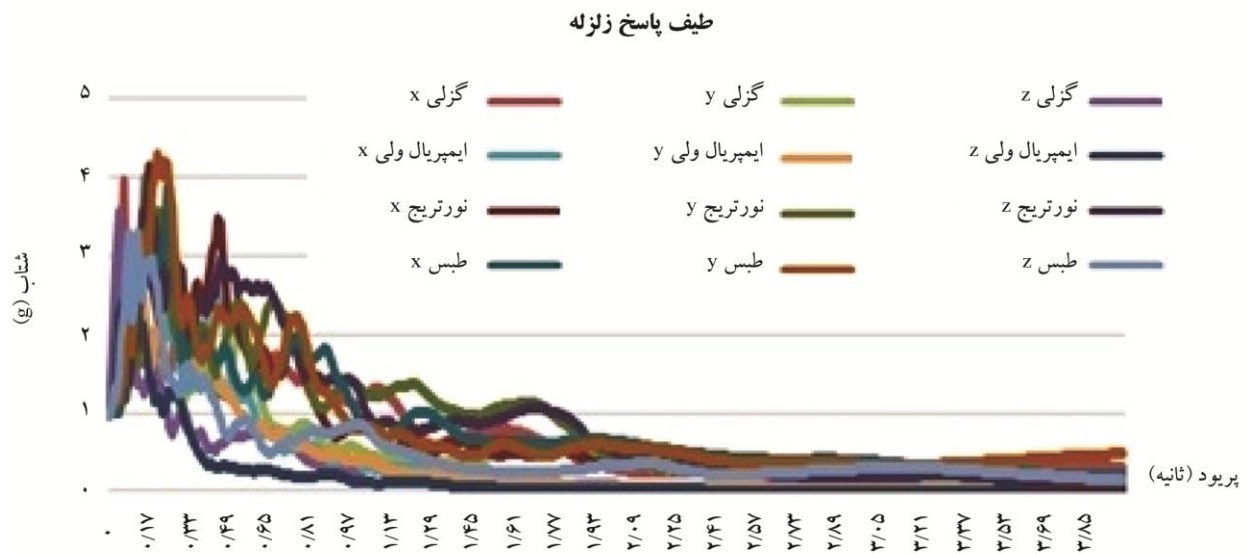
شکل (۲): سازه ۱۰ طبقه با قاب بزرگ دهانه ۱۵ متری در قسمت وسط کف طبقه هشتم.

همچنین پس از بررسی مودهای سازه، زلزله‌های گزلی (۱۹۷۶)، ایمپریال ولسی (۱۹۷۹)، طبس (۱۹۷۸) و نورتریج (۱۹۹۴) را انتخاب نموده و با توجه به این که پرئود غالب مؤلفه قائم این زلزله‌ها نزدیک به پرئود مود شکل قائم در هر دوازده مدل با قاب‌های بزرگ دهانه ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری می‌باشد، در مدل‌ها از آن استفاده شده است که در شکل (۳) طیف پاسخ هم‌پایه شده رکودهای زلزله نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود هر زلزله دارای سه مؤلفه X و Y و Z است که باید آنها را به مقدار بیشینه شتاب

تیرهای بزرگ دهانه به کار رفته است و از آیین‌نامه UBC94 استفاده شده و مقاطع نیز بر اساس تحلیل استاتیکی خطی طبق این آیین‌نامه به دست آمده است. در سازه ۸ طبقه، در طبقه همکف یک سالن آمفی‌تئاتر در نظر گرفته شده است که به جهت فضای بازی که در این طبقه مورد نیاز است از قاب‌های بزرگ دهانه استفاده شده است. اما در طبقات اول تا هشتم که ساختاری اداری دارند قاب‌های معمولی با دهانه‌های ۵ متر به صورت تیر و ستون در نظر گرفته شده است. ستون‌های موجود در طبقات بالا به گونه‌ای است که پس از رسیدن به قاب بزرگ دهانه طبقه همکف قطع می‌شوند و سازه فقط روی ستون‌های پیرامونی قاب‌های بزرگ دهانه قرار می‌گیرد. بدیهی است تیرهای بزرگ دهانه‌ای که این ستون‌ها روی آنها واقع شده‌اند، باید به اندازه‌ی کافی مقاومت داشته باشند تا بتوانند بار آنها را تحمل کرده و دچار خمش‌های بیش از حد، نشست و فروریزش نشوند. در سازه ۱۰ طبقه نیز سازه تا طبقه دوم پیوسته بوده، اما از طبقه دوم تا طبقه ششم در قسمت وسط سازه فضای خالی در نظر گرفته شده است. از طبقه ششم تا طبقه نهم نیز فضای خالی پر شده و سازه دوباره پیوسته می‌شود. در قسمت وسط سقف طبقه ششم که فضای خالی پر شده است نیز تیرهای بزرگ دهانه استفاده شده است. در مرحله‌ی غیرخطی نیز برای مقاطع، پارامترهای غیرخطی در سطوح عملکرد مختلف طبق آیین‌نامه FEMA در نظر گرفته شده و مدل تحت تحلیل تاریخچه زمانی مورد بررسی قرار داده شده‌اند.

سازه‌های مورد مطالعه ابتدا در نرم‌افزار مدل‌سازی شده‌اند و در مقابل بارهای ثقلی و نیروهای جانبی بر طبق ضوابط آیین‌نامه طراحی شده‌اند. سپس با وارد کردن زلزله به سازه تحت تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی، رفتار سازه تحت اثر زلزله‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه در شکل‌های (۱) و (۲) دو نمونه از مدل‌های ۸ و ۱۰ طبقه در نرم‌افزار نشان داده شده است. در سایر مدل‌ها فقط طول دهانه‌ها در قاب بزرگ دهانه تغییر کرده است.



شکل (۳): طیف پاسخ هم‌پایه شده زلزله‌های مورد استفاده در تحلیل.

تا جواب‌های مناسبی به دست آید، طیف زلزله‌ی به‌دست آمده باید در مقادیر کوچکتر از یک ضرب شود. در این مرحله طیف میانگین زلزله‌ها در یک عدد ضرب می‌شود که بالای  $1/3$  طیف آیین‌نامه قرار گیرد و با سعی و خطا مقدار مورد نظر به دست می‌آید و طیف میانگین نیز در آن عدد ضرب می‌شود.

در نتیجه همان‌طور که ذکر شد در ابتدا با تقسیم PGA بر مقدار مؤلفه بزرگتر، یک ضریب به دست آمد. در انتها نیز با سعی و خطا ضریب دیگری محاسبه می‌شود. ضریب نهایی که باید به شتاب‌نگاشت‌ها در راستای X و Y و Z وارد شود برابر حاصل ضرب این دو ضریب می‌باشد که در رکوردهای زلزله‌ی مذکور در این مقاله اعمال شده و در نرم‌افزار لحاظ شده و شتاب‌نگاشت‌های اصلاح شده به سازه اعمال شده است.

#### ۵- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی

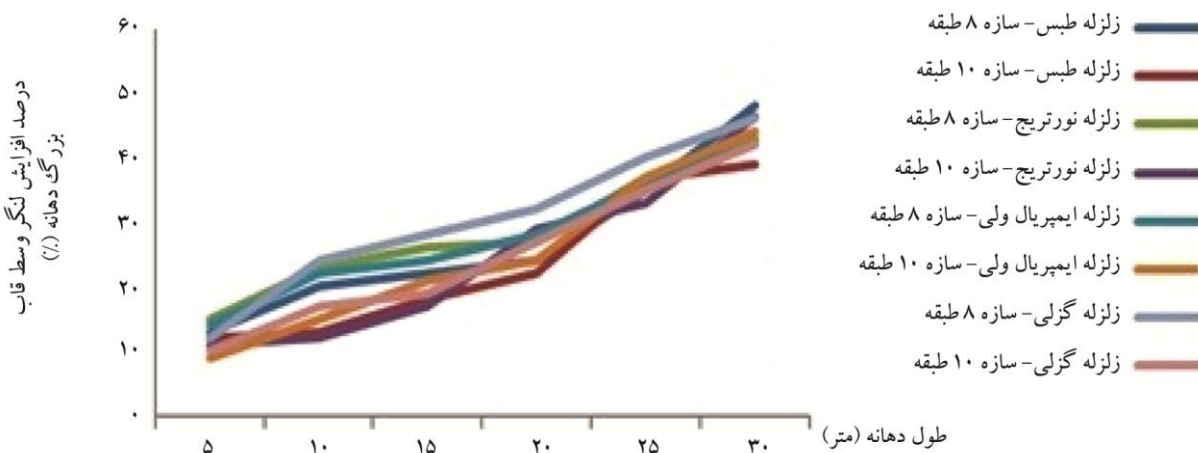
برای بررسی اثر مؤلفه قائم زلزله روی قاب‌های با دهانه‌های مختلف در تحلیل تاریخچه زمانی، ابتدا سازه با وارد کردن زلزله با سه مؤلفه X و Y و Z مورد بررسی قرار گرفته است. در مرحله‌ی بعد همان زلزله بدون اثر مؤلفه قائم زلزله به سازه اعمال

آن زلزله هم‌پایه کرد. لازم به ذکر اینکه موارد ذکر شده را برای مؤلفه X و Y به دست آورده و ضریب نهایی برای مؤلفه Z هم استفاده شده است. برای رسیدن به این هدف با استفاده از نرم‌افزار Seismosignal طیف پاسخ هر شتاب‌نگاشت در جهت X و Y با میرایی ۵ درصد به دست آمده است. با انجام این کار هشت طیف پاسخ با میرایی ۵ درصد برای چهار زلزله به دست خواهد آمد که هر زلزله دو مؤلفه X و Y دارد. با استفاده از رابطه جذر مجموع مربعات برای دو زوج شتاب‌نگاشت هر زلزله در راستای X و Y طیف هر کدام از زلزله‌ها به دست آمده و طیف میانگین از چهار طیف به دست آمده محاسبه می‌شود. این همان طیف زلزله می‌باشد که باید با طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ مقایسه شود. همچنین ضریب بازتاب آیین‌نامه با توجه به نوع خاک و زمان تناوب تجربی سازه به دست می‌آید. در نهایت طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایجاد شده در  $1/3$  ضرب شده و با طیف زلزله به دست آمده مقایسه می‌شود که طبق ویرایش چهارم آیین‌نامه ۲۸۰۰، طیف زلزله نباید در بازه پریود  $0/2$  تا  $1/5$  ثانیه بیش از ۱۰ درصد کمتر از  $1/3$  برابر طیف ۲۸۰۰ باشد. در نتیجه به این علت که طیف زلزله‌ها به  $1/3$  برابر طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ نزدیک شود

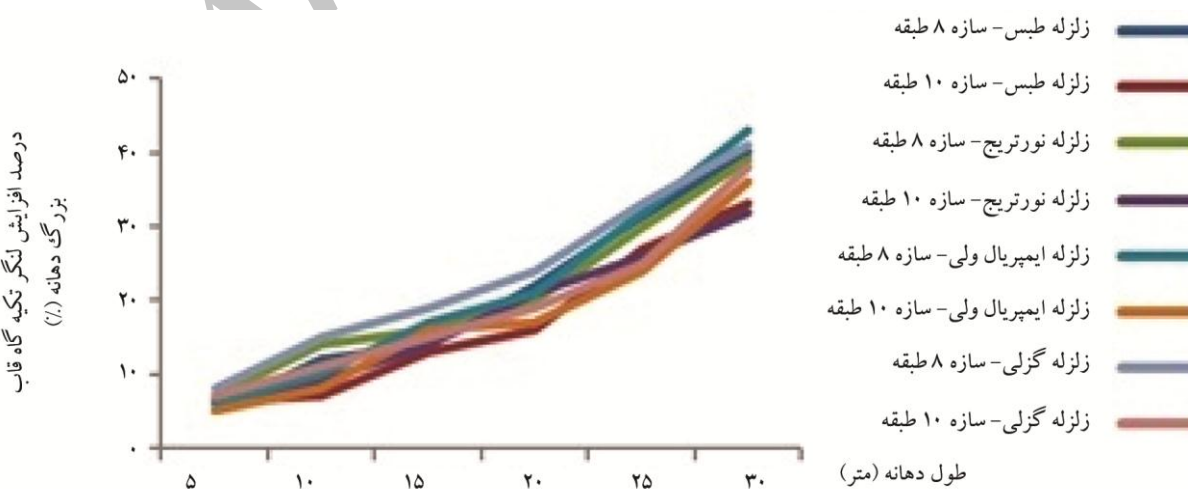


موجود در نمودارها که در ادامه آمده است نتیجه گیری می شود که اثر مؤلفه قائم زلزله سبب افزایش ۳۰ درصدی لنگر وسط دهانه و افزایش ۲۰ درصدی لنگر کنار دهانه در تیر بزرگ دهانه می شود. مقادیر برش نیز در این تیر حدود ۵ درصد افزایش می یابد. همچنین نیروی محوری ستون های کناری را ۱۵۰ درصد افزایش و جابه جایی نسبی تیر بزرگ دهانه را حدود ۲۰ درصد افزایش می دهد. در ادامه شکل های (۴) تا (۹)، نمودارهای مربوط به مقادیر لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه جابه جایی نسبی در محورهای عمودی و مقادیر طول دهانه قاب های بزرگ دهانه در محور افقی نشان داده شده است.

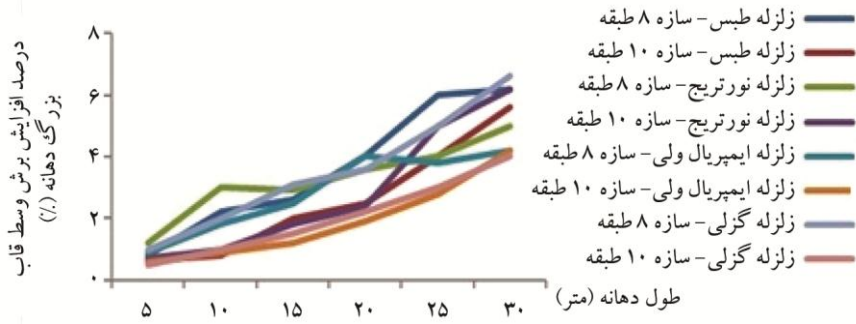
شده و رفتار سازه در دو حالت بررسی شده است. در هر یک از مدل های فوق مقادیر لنگر، برش، نیروی محوری و جابه جایی نسبی قاب های بزرگ دهانه در اثر اعمال مؤلفه های افقی و همچنین اعمال مؤلفه های افقی و قائم مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که اثر مؤلفه قائم زلزله در افزایش لنگر وسط دهانه بسیار مؤثر است. این مؤلفه سبب افزایش اندک برش در دهانه نیز می شود. همچنین این مؤلفه سبب افزایش چشمگیر نیروی محوری در ستون های کناری قاب های بزرگ دهانه می شود. مقادیر جابه جایی نسبی هم در اثر اعمال این مؤلفه افزایش می یابد. با مقایسه ی مقادیر



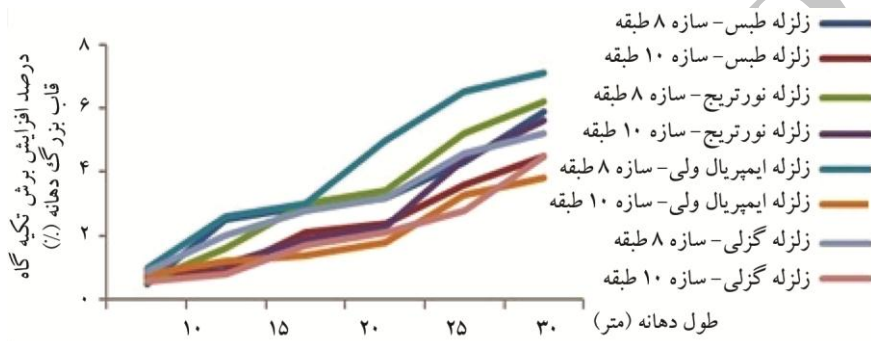
شکل (۴): مقادیر لنگر وسط قاب بزرگ دهانه نسبت به طول دهانه در اثر زلزله های مختلف.



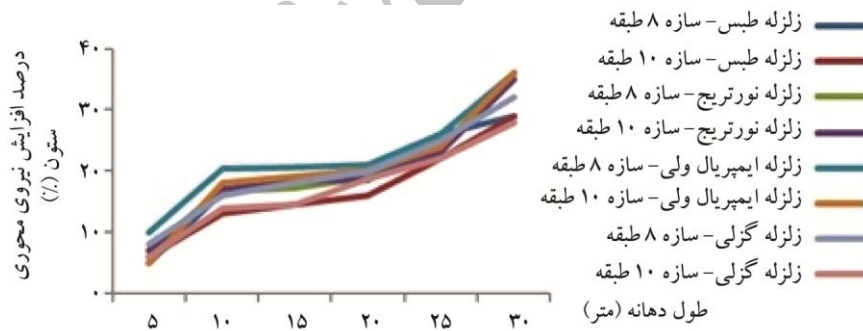
شکل (۵): مقادیر لنگر تکیه قاب بزرگ دهانه نسبت به طول دهانه در اثر زلزله های مختلف.



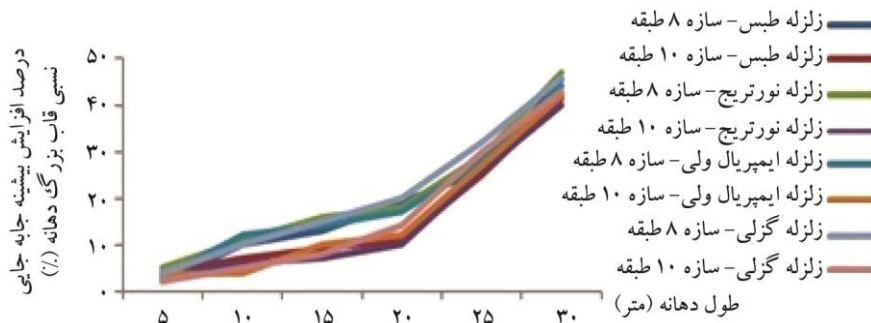
شکل (۶): مقادیر برش وسط قاب بزرگ‌دهانه نسبت به طول دهانه در اثر زلزله‌های مختلف.



شکل (۷): مقادیر برش کناری دهانه کناری نسبت به طول دهانه در اثر زلزله‌های مختلف.



شکل (۸): مقادیر نیروی محوری ستون نسبت به طول دهانه در اثر زلزله‌های مختلف.



شکل (۹): مقادیر بیشینه جابه‌جایی نسبی قاب بزرگ‌دهانه نسبت به طول دهانه در اثر زلزله‌های مختلف.

$$p^f = \phi \left( \frac{\ln(x) - \mu_{Ln}}{\sigma_{Ln}} \right) \quad (2)$$

$$= \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{Ln}x} \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(x) - \mu_{Ln}}{\sigma_{Ln}} \right)^2 \right) dx$$

$\mu_{Ln}$ : میانگین مقادیر

$\sigma_{Ln}$ : انحراف معیار مقادیر

روش‌های متفاوتی از قابلیت اطمینان وجود دارد که در اینجا از تکنیک Hasofer-Lind استفاده شده است. روش ارائه شده قابلیت بسیار خوبی برای حل مسائل مختلف قابلیت اطمینان دارد، به طوری که قادر است مسائلی با تابع حالت حدی پیچیده را تحلیل قابلیت اطمینان نماید. این روش مبتنی بر رویه گرادینان مزدوج غیرخطی بوده که یک طول گام مناسب دارد [۱۵].

در ابتدا آمار توصیفی از متغیرهای تحقیق در جدول (۱) ارائه می‌شود. متغیرهای وابسته که به ترتیب شامل لنگر وسط قاب بزرگ دهانه، لنگر تکیه گاه قاب بزرگ دهانه، برش وسط قاب بزرگ دهانه، برش تکیه گاه قاب بزرگ دهانه، نیروی محوری ستون قاب بزرگ دهانه و جابه‌جایی نسبی در قاب بزرگ دهانه نسبت به شاخص قابلیت اطمینان در سازه ۸ و ۱۰ طبقه ارائه شده است.

جدول (۱): مقادیر خروجی نرم‌افزار EViews

Kurtosis	Skewness	Std. Dev.	Minimum	Maximum	Median	Mean	
2.4839	0.2921	0.1306	10.1226	10.5926	10.304	10.337	شاخص قابلیت اطمینان در اثر اعمال لنگر وسط قاب بزرگ دهانه در سازه ۸ طبقه
2.7299	0.5552	3.3303	20	32	24	25	لنگر وسط قاب بزرگ دهانه در سازه ۸ طبقه
2.0882	-0.054	0.274	9.6118	10.4942	10.044	10.063	شاخص قابلیت اطمینان لنگر وسط قاب بزرگ دهانه در سازه ۱۰ طبقه
2.1624	0.3616	5.3	12	29	18.5	19.5	لنگر وسط قاب بزرگ دهانه در سازه ۱۰ طبقه
2.2351	-0.347	0.262	7.5248	8.4002	8.0251	8.0249	شاخص قابلیت اطمینان لنگر تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه در سازه ۸ طبقه
1.975	0.04409	4.264	10	24	16.5	17	لنگر تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه در سازه ۸ طبقه
2.097	-0.5385	0.3488	7.1681	8.2667	7.8957	7.7972	شاخص قابلیت اطمینان لنگر تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه در سازه ۱۰ طبقه
1.9943	-0.1058	4.3866	7	21	14.5	13.833	لنگر تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه در سازه ۱۰ طبقه
1.9351	-0.2936	0.2659	0.3428	1.14139	0.8367	0.8026	شاخص قابلیت اطمینان برش وسط قاب بزرگ دهانه در سازه ۸ طبقه

شکل‌های فوق که در آنها مقادیر لنگر، برش، نیروی محوری و بیشینه جابه‌جایی نسبی در محورهای عمودی و مقادیر طول دهانه قاب‌های بزرگ دهانه در محور افقی در نظر گرفته شده است، نشان‌دهنده‌ی این هستند که مقادیر فوق در اثر زلزله‌های مختلف در دهانه‌های بزرگ‌تر به نسبت بیشتری افزایش می‌یابند.

## ۶- شاخص قابلیت اطمینان

با استفاده از مقادیر لنگر، برش، نیروی محوری و جابه‌جایی نسبی طبقات می‌توان شاخص قابلیت اطمینان سازه را با استفاده از رابطه (۱) محاسبه نمود:

$$\beta = -\phi^{-1}(P_f) \quad (1)$$

$\beta$ : شاخص قابلیت اطمینان

$P_f$ : احتمال خرابی

$\phi$ : تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد

و برای تخمین مناسب شاخص قابلیت اطمینان و برآورد احتمال خرابی، طبق تابع توزیع لوگ نرمال احتمال خرابی برابر است با:



ادامه جدول (۱): مقادیر خروجی نرم‌افزار EViews.

Kurtosis	Skewness	Std. Dev.	Minimum	Maximum	Median	Mean	
1.7934	0.0199	0.7501	1.8	4	2.95	2.9416	برش وسط قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۸ طبقه
1.5142	-0.1985	0.4083	-0.4680	0.6713	0.2517	0.1519	شاخص قابلیت اطمینان برش وسط قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۱۰ طبقه
1.5306	0.0845	0.612	0.8	2.5	1.65	1.6	برش وسط قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۱۰ طبقه
3.6549	-0.1541	0.2801	0.2183	1.3577	0.8299	0.7888	شاخص قابلیت اطمینان برش تکیه‌گاه قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۸ طبقه
4.618	0.935	0.8315	1.6	5	2.95	2.9333	برش تکیه‌گاه قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۸ طبقه
1.922	-0.5243	0.3729	-0.4748	0.6237	0.3075	0.1848	شاخص قابلیت اطمینان برش گوشه قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۱۰ طبقه
1.6715	-0.187	0.5501	0.8	2.4	1.75	1.6416	برش گوشه قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۱۰ طبقه
1.6793	-0.0303	0.0923	168.9191	169.191	169.05	169.06	شاخص قابلیت اطمینان نیروی محوری ستون قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۸ طبقه
1.6641	0.0586	17.0371	160	210	183	184.91	نیروی محوری ستون قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۸ طبقه
1.7661	-0.4152	0.1435	168.7115	169.147	169.011	168.96	شاخص قابلیت اطمینان نیروی محوری ستون قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۱۰ طبقه
1.6832	-0.2932	23.4305	130	201	175.5	168.41	نیروی محوری ستون قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۱۰ طبقه
1.6958	-0.1438	0.2440	7.2614	7.9546	7.6324	7.6119	شاخص قابلیت اطمینان جابه‌جایی نسبی قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۸ طبقه
1.7077	0.09497	3.4761	10	20	14.5	14.583	جابه‌جایی نسبی قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۸ طبقه
2.2918	-0.4036	0.3706	6.3451	7.5979	7.0972	7.0491	شاخص قابلیت اطمینان جابه‌جایی نسبی قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۱۰ طبقه
2.1753	0.1852	2.9682	4	14	8.5	8.5833	جابه‌جایی نسبی قاب بزرگ‌دهانه در سازه ۱۰ طبقه

۰/۶۸ واحد کاهش می‌یابد. بین لنگر کنار دهانه و سطح اطمینان نیز رابطه معناداری وجود دارد و به ازای یک واحد افزایش در میزان لنگر تکیه‌گاه قاب بزرگ‌دهانه، سطح اطمینان ساختمان ۰/۳۹ واحد کاهش می‌یابد. بین برش وسط دهانه و سطح اطمینان نیز رابطه معناداری وجود دارد و به ازای یک واحد افزایش در میزان برش وسط دهانه، سطح اطمینان ساختمان ۰/۳۵ واحد کاهش می‌یابد. بین برش کنار دهانه و سطح اطمینان نیز رابطه معناداری وجود دارد و به ازای یک واحد افزایش در میزان برش کنار دهانه، سطح اطمینان ساختمان ۰/۶۲ واحد کاهش می‌یابد. در ساختمان‌های هشت طبقه بین نیروی محوری و سطح اطمینان نیز

همان‌طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود نرم‌افزار EViews روند تغییرات متغیرهای مختلف و شاخص قابلیت اطمینان آن متغیرها در آمار توصیفی را در ۲۴ ردیف افقی، که شامل موارد ذکر شده در سطرهای ستون اول جدول است، نشان داده است.

در ادامه در ۱۲ تحلیل متفاوت آمار استنباطی و رگرسیون یک متغیره در مورد هر یک از ضرایب ارائه می‌شود:

در ساختمان‌های هشت طبقه رابطه معناداری بین لنگر وسط دهانه و سطح اطمینان وجود دارد و به عبارتی به ازای یک واحد افزایش در میزان لنگر وسط دهانه، سطح اطمینان ساختمان

کاهش می‌یابد؛ اما بین جابه‌جایی نسبی و سطح اطمینان رابطه معناداری وجود دارد و به عبارتی به ازای یک واحد افزایش در میزان جابه‌جایی نسبی، سطح اطمینان ساختمان ۰/۱۲ واحد کاهش می‌یابد.

با توجه به تحلیل‌های انجام شده قوی‌ترین ارتباط بین لنگر وسط دهانه و سطح اطمینان وجود دارد و ۰/۷۸- ارتباط تأیید می‌شود.

قوی‌ترین ارتباط بعدی بین برش کنار دهانه و سطح اطمینان وجود دارد و ۰/۶۷ ارتباط تعیین می‌شود.

همچنین همان‌طور که در جداول (۲) و (۳) مشاهده می‌شود ضعیف‌ترین ارتباط بین نیروی محوری ستون و سطح اطمینان وجود دارد و ۰/۰۰۶- ارتباط تعیین می‌شود.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقادیر کاهش شاخص قابلیت اطمینان پارامترهای مختلف در دو مدل‌سازی سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه در اثر افزایش یک واحد لنگر وسط قاب بزرگ دهانه، لنگر تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه، برش وسط قاب بزرگ دهانه، برش تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه، نیروی محوری ستون و جابه‌جایی نسبی تیر بزرگ دهانه در جداول فوق نشان داده شده است. همچنین مقادیر ضرایب سطح خطای پارامترهای مختلف کوچکتر از ۰/۰۰۱ می‌باشد، لذا در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود رابطه معنادار بین پارامترهای مختلف تأیید می‌شود.

رابطه معناداری وجود ندارد و به ازای یک واحد افزایش در میزان نیروی محوری، سطح اطمینان ساختمان ۰/۰۰۵ واحد کاهش می‌یابد. بین جابه‌جایی نسبی و سطح اطمینان نیز رابطه معناداری وجود دارد و به ازای یک واحد افزایش در میزان جابه‌جایی نسبی، سطح اطمینان ساختمان ۰/۰۹۹ واحد کاهش می‌یابد.

در ساختمان‌های ده طبقه رابطه معناداری بین لنگر وسط دهانه و سطح اطمینان وجود دارد و به عبارتی به ازای یک واحد افزایش در میزان لنگر وسط قاب بزرگ دهانه، سطح اطمینان ساختمان ۰/۷۸ واحد کاهش می‌یابد. بین لنگر کنار دهانه و سطح اطمینان نیز رابطه معناداری وجود دارد و به ازای یک واحد افزایش در میزان لنگر تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه، سطح اطمینان ساختمان ۰/۵۱ واحد کاهش می‌یابد. بین برش وسط دهانه و سطح اطمینان نیز رابطه معناداری وجود دارد و به ازای یک واحد افزایش در میزان برش وسط دهانه، سطح اطمینان ساختمان ۰/۵۶ واحد کاهش می‌یابد. در ساختمان‌های ده طبقه رابطه معناداری بین برش کنار دهانه و سطح اطمینان وجود دارد و به عبارتی به ازای یک واحد افزایش در میزان برش کنار دهانه، سطح اطمینان ساختمان ۰/۶۷ واحد کاهش می‌یابد. بین نیروی محوری و سطح اطمینان رابطه معناداری وجود ندارد و به عبارتی به ازای یک واحد افزایش در میزان نیروی محوری، سطح اطمینان ساختمان ۰/۰۰۶ واحد

جدول (۲): شاخص قابلیت اطمینان سازه ۸ طبقه در اثر پارامترهای مختلف.

پارامتر	لنگر وسط قاب بزرگ دهانه	لنگر تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه	برش وسط قاب بزرگ دهانه	برش تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه	نیروی محوری ستون	جابه‌جایی نسبی
شاخص قابلیت اطمینان سازه ۸ طبقه	-۰/۶۸۹	-۰/۳۹۱	-۰/۳۵۲	-۰/۶۲۸	-۰/۰۰۵	-۰/۰۹۹
ضرایب سطح خطا	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

جدول (۳): شاخص قابلیت اطمینان سازه ۱۰ طبقه در اثر پارامترهای مختلف.

پارامتر	لنگر وسط قاب بزرگ دهانه	لنگر تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه	برش وسط قاب بزرگ دهانه	برش تکیه‌گاه قاب بزرگ دهانه	نیروی محوری ستون	جابه‌جایی نسبی
شاخص قابلیت اطمینان سازه ۱۰ طبقه	-۰/۷۸۶	-۰/۵۱۲	-۰/۵۶۱	-۰/۶۷۱	-۰/۰۰۶	-۰/۱۲۲
ضرایب سطح خطا	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

- Hybrid Simulation of Shear-Sensitive RC Bridges Subjected to Horizontal and Vertical Earthquake Ground Motion*. Technical Memorandum of Public Works Research Institute. 3983, 351-368.
- Silva, W. (1997) Characteristic of vertical ground motions for application to engineering design. *Proc. of 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 University of New York at Buffalo N.Y., 205-252.
  - Yang, J. and Lee, C.M. (2007) Characteristics of vertical and horizontal ground motion recorded during the Niigata-Ken Chuetsu, Japan Earthquake of 23 October 2004. *Engineering Geology*, **94**, 50-64.
  - Galal, K. and Ghobarah, A. (2006) Effect of near-fault earthquakes on North American nuclear design spectra. *Nuclear Engineering and Design*, **236**(18), 1928-1936.
  - Naderi, M., Rezaeian, A., and Tanoorsaz, M. (2010) Evaluation of damage index of steel moment resistance frames before and after seismic rehabilitation by steel braces and shear wall. *Journal of Structural Steel Association*, Iran, Issue VIII, Pages 17-31 (in Persian).
  - Haran Pragalath, D.C., Davis, P.R., Sarkar, P., and Priyadharshini, M. (2014) Seismic Reliability Assessment of RC Frame in a High Seismic Zone-India, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, ISSN 2250-2459, **4**(Special Issue 4).
  - Hosseini, M. and Sadr Ara, M. (2017) The effect of vertical component of earthquake on the long span frames. *Journal Sharif*, **33**(1-2), 105-111 (in Persian).
  - Ruiz, D. and Sarria, A. (2004) Response of large span steel frames subjected to horizontal and vertical seismic motions. *Proceedings 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C. Canada, August.

## ۷. نتیجه گیری

در این پژوهش شاخص قابلیت اطمینان سازه با قاب خمشی بزرگ‌دهانه تحت اثر مؤلفه قائم زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. برای رسیدن به این هدف شش سازه در دو نوع مدل ۸ و ۱۰ طبقه با قاب‌های بزرگ‌دهانه ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متری مدل‌سازی شده و مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله‌های مختلف در تحلیل تاریخیچه زمانی مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان‌دهنده این است که قاب‌های بزرگ‌دهانه که توسط آیین‌نامه طراحی می‌شوند در اثر مؤلفه قائم زلزله‌های مختلف رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند و ممکن است مقاومت خود را از دست بدهند.

نتایج نشان‌دهنده آن است که در اثر اعمال مؤلفه قائم زلزله، لنگر وسط قاب بزرگ‌دهانه حدود ۳۰ درصد، لنگر کنار قاب بزرگ‌دهانه حدود ۲۰ درصد، مقادیر برش حدود ۵ درصد، نیروی محوری ستون حدود ۱۵۰ درصد و بیشینه جابه‌جایی نسبی وسط دهانه حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است. همچنین با بررسی شاخص قابلیت اطمینان در قاب‌های بزرگ‌دهانه فولادی نیز رابطه سطح اطمینان با یک سری پارامترهای مهم در این قاب‌ها به دست آمده است. با توجه به تحلیل‌های انجام شده قوی‌ترین ارتباط در تحلیل دوم روی داد که بین لنگر وسط دهانه و سطح اطمینان وجود دارد و  $0/78$  ارتباط تأیید می‌شود. قوی‌ترین ارتباط بعدی در تحلیل هشتم روی داد که بین برش کنار دهانه و سطح اطمینان وجود دارد و  $0/67$  ارتباط تعیین می‌شود. همچنین همان‌گونه که در جداول مشاهده شده است ضعیف‌ترین ارتباط در تحلیل‌های نهم روی داد که بین نیروی محوری ستون و سطح اطمینان وجود دارد و  $0/05$  ارتباط تعیین می‌شود.

## مراجع

- Elnashai, A., Spencer, B., Kuchma, D., Kim, S.J., Burdette, N., Holub, C., Gonzales, J., Nakata, N., Yang, G., Gan, Q. (2005) *Analysis and Distributed*

9. Hosseini, M. and Firoozi Nezamabadi, M. (2004) A Study of the Effects of the Vertical Ground Acceleration on the Seismic Response of Steel Buildings. *13<sup>th</sup> WCEE*. Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 2377.
10. Haldar, A. and Reyes-Salazar, A. (2000) Dissipation of energy in steel frames under dynamic loading. *Proceedings 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand, Paper No 0458.
11. Mazza, F. and Vulcano, A. (2004) Effects of the vertical acceleration on the response of base-isolated structures subjected to near-fault ground motions. *Proceedings 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C. Canada, August.
12. Ghafory-Ashtiany, M. and Singh, M.P. (1986) Structural response for six correlated earthquake components. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **14**, 103-119.
13. Graizer, V. and Kalkan, E. (2007) Multi-Component Ground Motion Response Spectra for Coupled Horizontal, Vertical, Angular Accelerations, and Tilt. *ISET Journal of Earthquake Technology*, Paper No. 485. **44**(1), 259–284.
14. Nasirian, M. and Yahyai, M. (2014) Retrofitting steel structures under near faults earthquakes with the effect of the vertical component of earthquake. *Seventh National Congress of Civil Engineering*, Department of Civil Engineering, Babol, Iran.
15. Koshtegar, B. and Miri, M. (2014) Providing a New Method For Assessing The Reliability of Structures. *Journal of Modeling in Engineering*, **12**, Paper No. 36 (in Persian).