

اثر مؤلفه قائم زلزله روی تقاضای لرزه‌ای قاب‌های بتنی میان مرتبه

رضا وهدانی^۱، مختار انصاری^{۲*}، مسعود انصاری^۳

- ۱- استادیار گروه مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
- ۲- استادیار دانشکده مهندسی، گروه عمران، دانشگاه بزرگمهر قائنات
- ۳- کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

*Ansari@buqaen.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۲۰

چکیده- با توجه به خسارت‌های سازه‌ای به وجود آمده در زمین لرزه‌های نزدیک گسل اخیر که به مؤلفه‌ی قائم زمین لرزه نسبت داده می‌شود و بروز آسیب‌های متعدد در ستون‌های بتنی که باعث تخریب پیشرونده نیز می‌شود، علاقه‌مندی برای بررسی اثر مؤلفه‌ی قائم در پاسخ‌های لرزه‌ای افزایش یافته است. در این پژوهش، قاب‌های بتنی میان‌مرتبه طراحی شده با ضوابط لرزه‌ای، تحت تحریک هم‌زمان مؤلفه قائم و افقی زلزله و تحریک مؤلفه افقی زلزله به تنهایی قرار گرفت. برای تحلیل تاریخچه زمانی از دو گروه شتاب نگاشت‌های نزدیک و دور از گسل، استفاده شد. پاسخ‌های سازه‌ای نیروی محوری کششی، فشاری و نوسان نیروی محوری ستون‌ها، نسبت نیاز به ظرفیت برشی ستون‌ها و لنگر بیشینه‌ی وسط دهانه‌ی تیر، در دو حالت با و بدون تحریک مؤلفه‌ی قائم، مقایسه شد و اثر حضور مؤلفه‌ی قائم، برای شتاب نگاشت‌های دور و نزدیک گسل، برای دهانه‌ی کناری و میانی، قاب‌های بتنی به صورت مجزا به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که نیروی کششی و بروز کشش در ستون‌های کناری بحرانی‌تر از ستون‌های میانی، خواهد بود. حضور مؤلفه‌ی قائم باعث کاهش نیروی فشاری کمینه و حرکت به سمت کشش می‌شود که این مقدار در بحرانی‌ترین حالت، به صورت میانگین بین شتاب نگاشت‌های نزدیک گسل به ۸۴٪ کاهش می‌رسد. حضور مؤلفه‌ی قائم باعث افزایش نیاز به ظرفیت برشی می‌شود و در بیشترین حالت به ۳۱٪ افزایش نسبت نیاز به ظرفیت برشی منجر می‌شود.

واژگان کلیدی: مؤلفه‌ی قائم زمین لرزه، نیروی محوری ستون، نسبت نیاز به ظرفیت برشی، حوزه‌ی نزدیک گسل.

۱- مقدمه

این موضوع می‌تواند غیر واقع‌گرایانه باشد و منجر به پاسخ‌های ناصحیح به دلیل عدم توجه به ویژگی‌های خاص تحریک قائم و خواص سازه در جهت قائم، شود. همچنین مؤلفه‌ی قائم زمین لرزه از دیدگاه تحلیل خطر کمتر بررسی شده است [4-7].

در این پژوهش به بررسی اثر حضور تحریک قائم زمین لرزه در تحلیل لرزه‌ای قاب خمشی بتنی، در دو بخش مجزای رکوردهای نزدیک گسل و دور از گسل و تفاوت‌های آن‌ها با هم پرداخته می‌شود. انواع پاسخ‌ها و پارامترهای لرزه‌ای، و حساسیت و همبستگی آنها بر حضور

سازه‌ها بیشتر در مواجهه با زمین لرزه‌ها در سه جهت تحریک می‌شوند. در چند دهه‌ی اخیر تحریک‌های افقی زمین لرزه‌ها به طور گسترده بررسی شده و در شیوه‌های طراحی مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند، اما مؤلفه‌ی قائم بیشتر در طراحی نادیده گرفته شده است [1-3] یا فقط در اعضای خاصی بنا به توصیه‌ی برخی آیین‌نامه‌ها مانند EC-8 و FEMA 356، در طراحی در نظر گرفته شده‌اند و در موارد در نظر گرفته شده هم با استفاده از طیفی که از مقیاس کردن طیف افقی به دست آمده است، طراحی انجام شده است که

تحریک قائم در تحلیل، شده است.

خطر نسبی خیلی زیاد و خاک نوع ۲ طراحی شده است [13]. سیستم سقف تیر و دال است و تیرها در نرم افزار به صورت تیر T شکل مدل شده‌اند. در شکل (۱) مقطعی با ضخامت جان a و ارتفاع کل b و عرض بال c ضخامت بال در همه تیرها ۱۵ سانتی‌متر است. بارگذاری مدل‌ها به دو صورت متمرکز و گسترده انجام شده است؛ بارگذاری گسترده برای بررسی نیروی محوری و بارگذاری گسترده برای بررسی لنگر وسط دهانه و نسبت نیاز به ظرفیت برشی استفاده شده است.

۲- تاریخچه پژوهش‌ها

در زمین لرزه‌های حوزه نزدیک به لحاظ فاصله کوتاه بین محل شکست (منبع تولید موج) و محل دریافت آن، فرصتی برای میرا شدن فرکانس‌های بالا نبوده، از همین رو تاریخچه زمانی شتاب آن‌ها محتوای فرکانسی بالایی دارند، همچنین بررسی‌ها نشان داده است که در حوزه‌ی نزدیک گسل شتاب نگاشت‌ها دارای مؤلفه‌ی قائم شدیدتری نسبت به حوزه‌ی دور از گسل خواهند بود [8-9]. به صورت معمول مؤلفه‌ی قائم محتوای انرژی کمتری نسبت به مؤلفه‌ی افقی دارد، اما مؤلفه‌ی قائم تمایل دارد که محتوای انرژی خود را در یک دامنه‌ی فرکانسی باریک آزاد کند که این موضوع سبب آسیب رسیدن به سازه‌هایی که زمان تناوب قائمشان در این دامنه قرار می‌گیرد، می‌شود. میرایی کمتر سازه‌ها در جهت قائم هم در این موضوع نقشی خواهد داشت. پس از مشخص شدن آثار مخرب مؤلفه‌ی قائم، پژوهش‌های مختلفی حول این موضوع انجام گرفت، ارائه‌ی طیف قائم با استفاده طیف افقی، ارائه‌ی طیف قائم مستقل، بررسی آثار مؤلفه‌ی قائم در رفتار غیرخطی سازه‌ها، بررسی اثر مؤلفه‌ی قائم در نیروهای محوری و بروز کشش در ستون، بررسی اثر بروز کشش و کاهش سختی در پاسخ‌های سازه، از جمله‌ی این پژوهش‌ها بود که نمود آیین‌نامه‌ای پیدا نکرد [10-12].

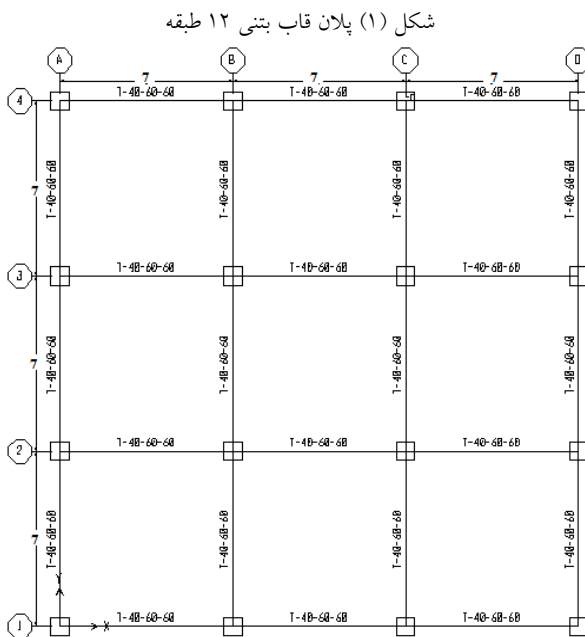


Fig. 1. Plan of 12 story concrete frame structure

تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تحت تحریک ۹ شتاب نگاشت نزدیک گسل و ۹ شتاب نگاشت دور از گسل انجام شده است. در شتاب نگاشت‌های نزدیک گسل از دو مؤلفه قائم و مؤلفه افقی عمود بر گسل و در شتاب نگاشت‌های دور از گسل از دو مؤلفه ی قائم و مؤلفه افقی بزرگتر، استفاده شده است، هر یک از شتاب نگاشت‌های نزدیک گسل با یکی از شتاب نگاشت‌های دور از گسل متناظر است و از یک زمین لرزه‌ی واحد در دو فاصله متفاوت برداشت شده است. شتاب نگاشت‌ها برای استفاده در تحلیل به صورتی مقیاس شده‌اند که دارای شتاب بیشینه‌ی افقی یکسان و برابر 0.35g باشند و نسبت شتاب بیشینه‌ی قائم به افقی، قبل و بعد از مقیاس سازی

۳- مشخصات قاب‌های بتنی و رکوردهای

استفاده شده در تحلیل تاریخچه زمانی

در این مقاله قاب خمشی بتنی ۱۲ طبقه با ارتفاع طبقات ۳/۲ متر و دارای سه دهانه‌ی ۷ متری در تحلیل‌ها استفاده شده است، این مدل یک ساختمان مسکونی سه بعدی واقعی و متقارن و یکسان در دو جهت افقی است، سازه طراحی لرزه‌ای شده است و ویژگی‌های مقاطع و فولاد گذاری در شکل (۱) مشاهده می‌شود. مدل بر اساس آیین‌نامه ACI 318-05 برای شتاب مبنای طرح 0.35g با شکل‌پذیری متوسط در منطقه با

یکسان باشد.

۴- مدلسازی قاب‌های بتنی با روش فایبر

برنامه اجزا محدود ZeusNL قادر است پاسخ تغییر شکل‌های بزرگ قاب‌های سه‌بعدی را تحت بارهای دینامیکی و استاتیکی، با احتساب آثار غیرخطی هندسی و رفتار غیر ارتجاعی مصالح، پیش‌بینی کند [14]. گسترش رفتار غیرارتجاعی در طول اعضا و در عرض مقطع اعضا، با استفاده از تفکیک طول اعضا به چند قسمت و تقسیم سطح مقطع عضو به تعداد زیادی شبکه‌های کوچک بر اساس روش فایبر، به صورت واضح مدل می‌شود که تخمین دقیق توزیع خسارت را فراهم می‌آورد. در مدلسازی قاب‌های بتنی از روش پلاستیسیته گسترده که دارای خاصیت توزیع رفتار غیرخطی در طول المان است، برای مدلسازی استفاده می‌شود. المانهای استفاده شده برای مدلسازی، المانهای تیر-ستون غیرخطی مبتنی بر جابه‌جایی هستند. مدل‌های با خاصیت غیرخطی توزیع شده، رفتار غیرارتجاعی اعضای بتن مسلح را با دقت بهتری توصیف می‌کنند [15-19]. در مقایسه با روش پلاستیسیته متمرکز، در روش پلاستیسیته گسترده، ویژگی غیرخطی مصالح در هر مقطعی از المان ممکن است رخ دهد و رفتار عضو از انتگرال‌گیری وزنی پاسخ مقطع بدست می‌آید. در عمل، از آنجا که انتگرال‌های المان به صورت عددی محاسبه می‌شود، تنها رفتار برخی از مقاطع در نقاط انتگرال‌گیری، بررسی می‌شود. تغییر شکل‌ها و نیروهای المان که مجهولات اولیه مدل است، از طریق توابع درونیابی مناسب به ترتیب از روی جابه‌جایی‌ها و نیروهای المان در مختصات کلی به دست می‌آیند. در این پژوهش از روش پلاستیسیته گسترده و المانهای تیر-ستون غیرخطی مبتنی بر جابه‌جایی با روش انتگرال‌گیری گوس-لژاندر برای مدلسازی رفتار غیرخطی اعضای بتنی استفاده می‌شود [20-23].

شکل (۲) به صورت شماتیک طریقه مدلسازی قاب بتنی با روش فایبر مبتنی بر جابه‌جایی را نشان می‌دهد.

۵- بحث و بررسی نتایج

تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی تحت شتاب

مشخصات شتاب‌نگاشت‌ها در جدول (۱) ارائه شده

است.

جدول (۱) مشخصات شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک گسل

Far Fault Records						
Rec Num	Earthquake Name	Year	Mn	Closest Distance (km)	H ₁ Scaled pga(g)	V Scaled pga(g)
f ₁	Morgan Hill	1984	6.19	31.88	0.35	0.14
f ₂	Loma Prieta	1989	6.93	41.03	0.35	0.15
f ₃	Loma Prieta	1989	6.93	44.11	0.35	0.13
f ₄	Northridge-01 1994-01-17 12:31	1994	6.69	57.51	0.35	0.28
f ₅	Northridge-01 1994-01-17 12:31	1994	6.69	53.94	0.35	0.19
f ₆	Northridge-01 1994-01-17 12:32	1994	6.69	59.62	0.35	0.09
f ₇	Chi-Chi, Taiwan 1999- 09-20	1999	7.62	28.17	0.35	0.22
f ₈	Chi-Chi, Taiwan 1999- 09-20	1999	7.62	44.76	0.35	0.09
f ₉	Chi-Chi, Taiwan 1999- 09-20	1999	7.62	41.67	0.35	0.17
Mean				44.74	0.35	0.16
Near Fault Records						
Rec Num	Earthquake Name	Year	Mn	Closest Distance (km)	S _N Scaled pga(g)	V Scaled pga(g)
n ₁	Morgan Hill	1984	6.19	0.53	0.35	0.17
n ₂	Loma Prieta	1989	6.93	9.96	0.35	0.23
n ₃	Loma Prieta	1989	6.93	3.88	0.35	0.32
n ₄	Northridge-01	1994	6.69	5.43	0.35	0.56
n ₅	Northridge-01	1994	6.69	5.43	0.35	0.56
n ₆	Northridge-01	1994	6.69	5.19	0.35	0.16
n ₇	Chi-Chi, Taiwan	1999	7.62	3.14	0.35	0.16
n ₈	Chi-Chi, Taiwan	1999	7.62	2.76	0.35	0.31
n ₉	Chi-Chi, Taiwan	1999	7.62	9.35	0.35	0.38
Mean				5.07	0.35	0.32

Table 1. Far fault and near fault record properties

شکل (۴) نیروی محوری بیشینه ی فشاری تحت اثر شتاب نگاشت های دور از گسل

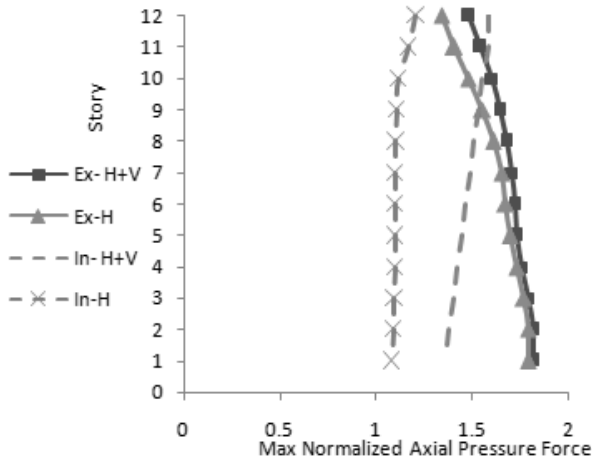


Fig. 4. Column's normalized max axial pressure force, caused by far fault records

۵-۱- بررسی تقاضای نیروی محوری بیشینه فشاری ستون

شکل های (۳ و ۴) نیروی محوری بیشینه ی بدون بعد بر اساس نیروی محوری ثقلی، برای ستون‌های طبقات مختلف کناری و میانی، به ترتیب برای شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل و دور از گسل ارائه می‌کند. با توجه به شکل های (۳ و ۴) مشخص است که در همه موارد حضور مؤلفه ی قائم باعث افزایش نیروی فشاری ستون می‌شود که مقدار افزایش برای ستون‌های میانی و طبقات بالاتر، شدیدتر است. همچنین مقادیر افزایش برای شتاب نگاشت‌های نزدیک گسل بزرگتر است.

۵-۲- بررسی تقاضای نیروی محوری کمینه فشاری ستون

شکل های (۵ و ۶) مقدار نیروی محوری بیشینه ی کششی بدون بعد بر اساس نیروی محوری ثقلی، را برای ستون‌های مختلف کناری و میانی به ترتیب برای زمین لرزه‌های نزدیک و دور از گسل نمایش می‌دهد. با توجه به شکل‌ها مشخص است که از نظر مقادیر مطلق، کشش برای ستون‌های کناری محتمل‌تر است اما در کاهش نیروی محوری و حرکت به سمت کشش، تحت تأثیر مؤلفه ی قائم، مانند نتایج نیروی فشاری، ستون‌های میانی و طبقات بالاتر و حوزه ی نزدیک گسل، اندازه‌های بزرگتری دارند.

نگاشت‌های مختلف در دو حالت تحریک با و بدون مؤلفه ی قائم انجام شده است و پاسخ‌های نیروی محوری بیشینه ی فشاری، بیشینه ی کششی (کمینه ی فشاری)، نوسان نیروی محوری، لنگر بیشینه ی وسط دهانه ی تیر و نسبت نیاز به ظرفیت برشی ستون برداشت و تغییرات آنها در اثر حضور مؤلفه ی قائم زمین لرزه بررسی شده است.

شکل (۲) مدلسازی قاب بتنی با روش فایبر در نرم افزار Zeus-NL

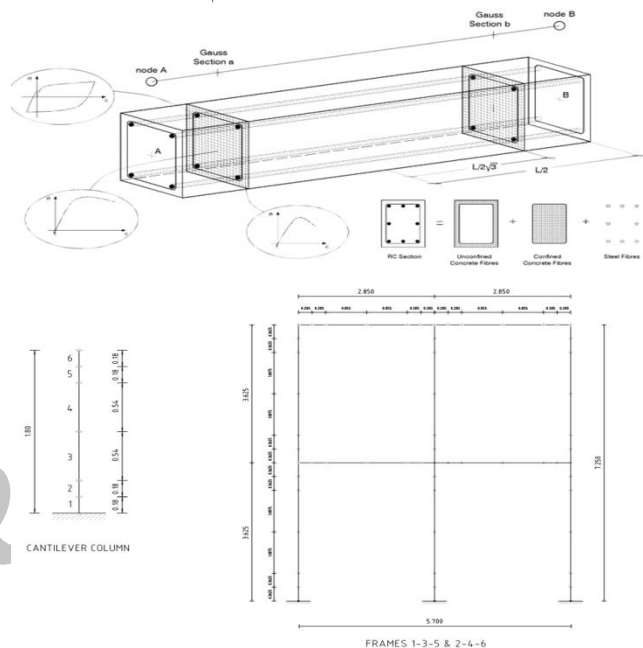


Fig. 2. Fibre modeling of the concrete frame element in the analytical model in Zeus-NL

شکل (۳) نیروی محوری بیشینه ی فشاری، تحت اثر شتاب نگاشت های نزدیک گسل

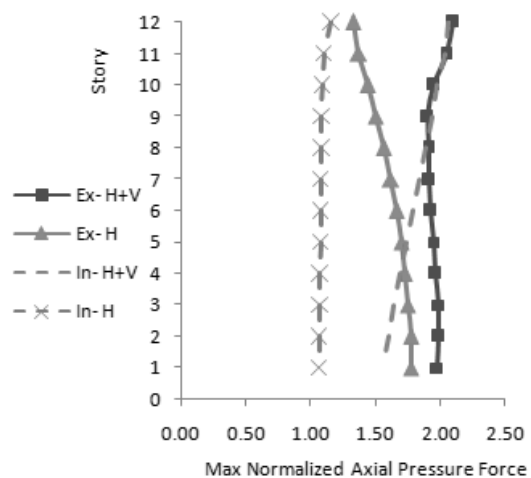


Fig. 3. Column's normalized max axial pressure force, caused by near fault records

شکل (۷) نوسانات نیروی محوری تحت اثر شتاب نگاشت‌های نزدیک

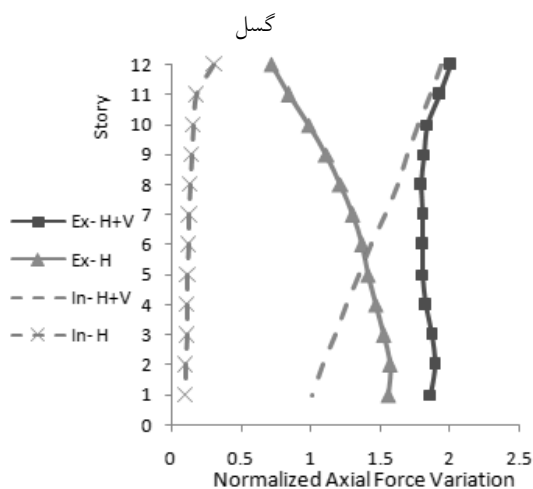


Fig. 7. Column's normalized axial force variation, caused by near fault records

شکل (۸) نوسانات نیروی محوری تحت اثر شتاب نگاشت‌های دور از

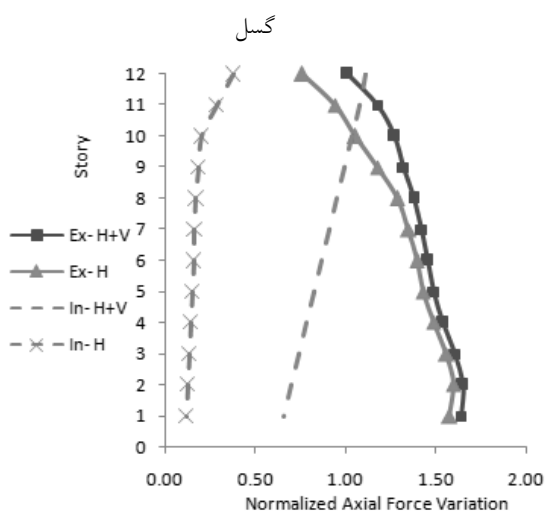


Fig. 8. Column's normalized axial force variation, caused by far fault records

۴-۵- بررسی افزایش تقاضای ممان وسط تیر

شکل (۹) مقدار افزایش لنگر بیشینه‌ی بدون بعد نسبت به لنگر بار ثقلی، در وسط دهانه‌ی تیر را برای تیرهای طبقات مختلف دهانه‌ی کناری و میانی، برای شتاب نگاشت‌های نزدیک و دور از گسل نمایش می‌دهد. نتایج قبل در این قسمت نیز تصدیق می‌شود و برای ستون‌های میانی و طبقات بالاتر و حوزه‌ی نزدیک گسل، مقادیر بزرگتری از افزایش پاسخ ارائه شده است.

شکل (۵) نیروی محوری کمینه‌ی فشاری تحت اثر شتاب نگاشت‌های

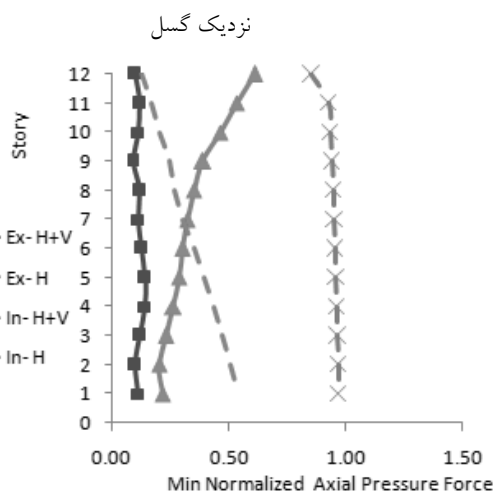


Fig. 5. Column's normalized min axial pressure force, caused by near fault records

شکل (۶) نیروی محوری کمینه‌ی فشاری تحت اثر شتاب نگاشت‌های دور از گسل

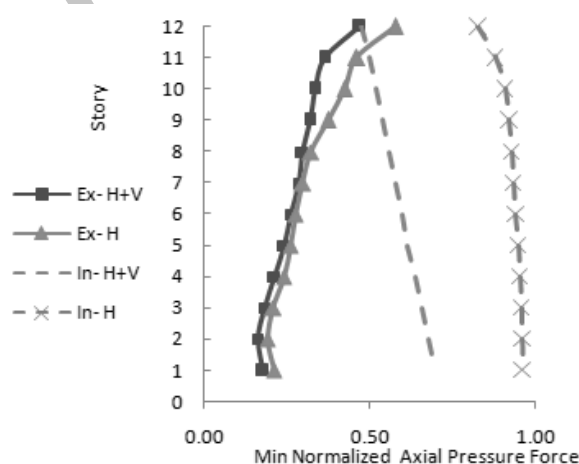


Fig. 6. Column's normalized min axial pressure force, caused by far fault records

۳-۵- بررسی نوسان تقاضای نیروی محوری

شکل‌های (۷ و ۸) مقدار نوسان نیروی محوری بدون بعد بر اساس نیروی محوری ثقلی را، برای ستون‌های کناری و میانی طبقات مختلف، به ترتیب برای زمین‌لرزه‌های نزدیک و دور از گسل نمایش می‌دهد. نتایج مانند نتایج قبل افزایش بیشتر نوسان در ستون‌های میانی، طبقات بالاتر و حوزه‌ی نزدیک گسل را نشان می‌دهد.

با توجه به روابط فوق و خروجی‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی نسبت بیشترین نیروی برشی به کمترین ظرفیت برشی در ستون‌های مختلف، در دو حالت تحریک با و بدون مؤلفه‌ی قائم، به دست می‌آید و اثر مؤلفه‌ی قائم در تغییرات نسبت نیاز به ظرفیت برشی، مشخص می‌شود. شکل‌های (۱۰ و ۱۱) نسبت نیاز به ظرفیت برشی را برای ستون‌های کناری و میانی به ترتیب برای زمین لرزه‌های نزدیک و دور از گسل نمایش می‌دهد.

شکل (۱۰) نسبت نیاز به ظرفیت برشی، برای شتاب نگاشت‌های نزدیک

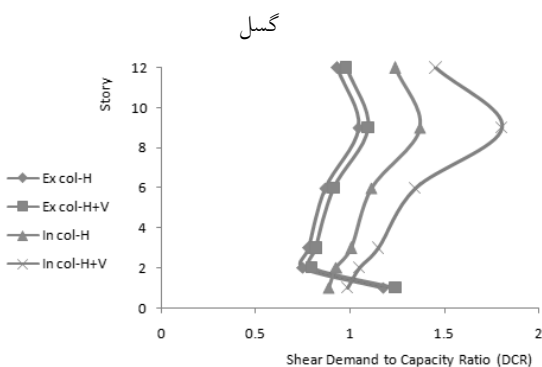


Fig. 10. Column's shear DCR, caused by near fault records

شکل (۱۱) نسبت نیاز به ظرفیت برشی، برای شتاب نگاشت‌های دور از

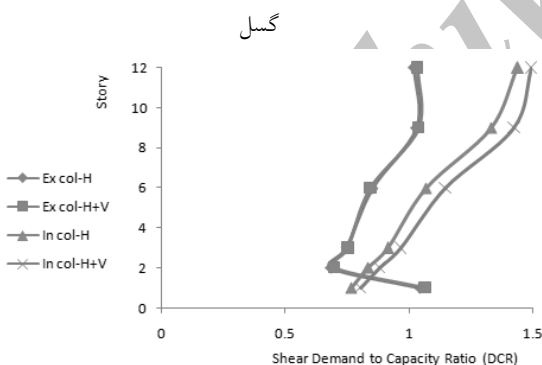


Fig. 11. Column's shear DCR, caused by far fault records

۶- نتیجه‌گیری

اضافه شدن مؤلفه‌ی قائم به تحریک، مقادیر شدیدتری از نیروی فشاری را ایجاد می‌کند، که این تأثیر برای زمین لرزه‌های نزدیک گسل نسبت به زمین لرزه‌های دور از گسل، بیشتر خواهد بود.

در طبقات بالاتر، درصد اختلاف نیروی محوری فشاری بیشینه در دو حالت تحریک، که نماینده‌ی اثر مؤلفه‌ی قائم

شکل (۹) درصد افزایش لنگر وسط دهانه‌ی تیر

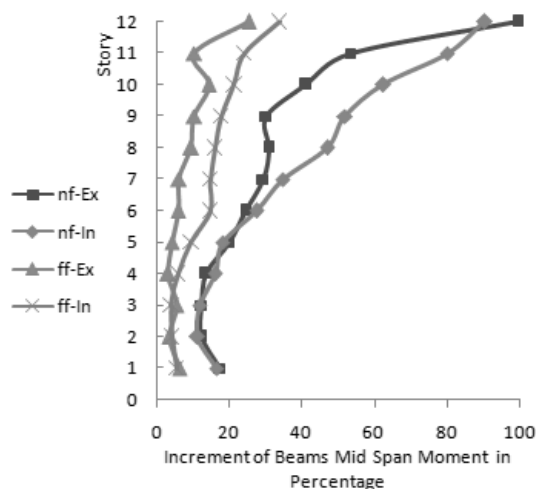


Fig. 9. Increment of beam's mid span moment in percentage

۵-۵- بررسی نسبت تقاضا به ظرفیت برشی ستون‌های بتنی

نسبت نیاز به ظرفیت برشی (DCR برش) نیز برای ستون‌های کناری و میانی طبقات مختلف بررسی می‌شود. با توجه به نوسان نیروی محوری تحت تأثیر تحریک قائم و با توجه به وابستگی تنش برشی مجاز بتن به تنش قائم آن، ظرفیت برشی ستون‌ها تحت تحریک قائم دچار تغییر خواهد شد. ظرفیت برشی ستون از مجموع ظرفیت برشی بتن و خاموت به دست می‌آید که با توجه به ابعاد بزرگ مقاطع ناشی از سیستم باربر جانبی قاب خمشی، در طراحی ظرفیت برشی بتن بیش از مقدار برش طراحی بوده و خاموت حداقل در مقطع وجود دارد. تنش برشی مجاز بتن از روابط (۱ و ۲) به ترتیب برای حالت نیروی محوری فشاری و کششی به دست می‌آید. و رابطه‌ی (۳) ظرفیت برشی خاموت حداقل را نشان می‌دهد.

$$V_c = (1 + \frac{N_u}{14A_g}) (\frac{\sqrt{f'_c}}{6}) b_w d \quad (1)$$

$$V_c = (1 + \frac{0.3N_u}{A_g}) (\frac{\sqrt{f'_c}}{6}) b_w d \geq 0 \quad (2)$$

$$V_{s, \min} = (\frac{A_v}{s})_{\min} f_{yt} d = \frac{1}{16} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3)$$

که در آن نیروی محوری کششی به صورت منفی و نیروی فشاری به صورت مثبت وارد می‌شود و همه‌ی ابعاد برحسب N و mm و MPa است.

است، بیشتر می‌شود.

اضافه شدن مؤلفه‌ی قائم به تحریک، کاهش مقادیر نیروی فشاری و حرکت به سمت کشش را ایجاد می‌کند، که این تأثیر برای زمین لرزه‌های نزدیک گسل نسبت به زمین لرزه‌های دور از گسل و در طبقات بالاتر بیشتر است.

نیروی محوری کمینه‌ی فشاری مطلق و بدون بعد، برای ستون کناری نسبت به ستون میانی کمتر است و ستون‌های کناری بیشتر در معرض کشش است که بخشی به علت حرکات رفت و برگشتی جانبی و بخشی به علت اثر مؤلفه‌ی قائم است. در ستون‌های میانی به علت نزدیکی به مرکز و کاهش اثر حرکات جانبی در بروز کشش، ایجاد کشش فقط در اثر مؤلفه‌ی قائم است، بنابراین در ستون‌های طبقات بالاتر، بروز کشش محتمل‌تر است.

در ستون‌های کناری، اثر مؤلفه‌ی قائم در بروز کشش در طبقات بالا و اثر مؤلفه‌ی افقی در بروز کشش در طبقات پایین بیشتر است، با ترکیب این دو حالت، اثر مؤلفه‌ی افقی غالب است و کشش در ستون‌های پایین‌تر اتفاق می‌افتد؛ همچنین در ستون‌های کنار در حالت تحریک افقی و در حوزه‌ی دور از گسل نیز کشش رخ می‌دهد و پیامدهای ناشی از کشش مانند کاهش ظرفیت برشی وجود خواهد داشت که بیانگر اهمیت موضوع حتی در عدم حضور مؤلفه‌ی قائم است.

با کاهش ضریب نیروی محوری، نیروی محوری فشاری کمینه، کمتر و به ناحیه‌ی کشش نزدیک‌تر می‌شود و این اثر در ستون کناری شدیدتر است. همچنین تعداد بروز کشش به وسیله‌ی شتاب نگاشت‌های مختلف، در ضرایب بار ثقلی کوچک، بیشتر است و پیش بارگذاری ثقلی کمتر برای بروز کشش بحرانی‌تر است. حالت ایجاد کشش برای ستون‌های کناری، نسبت به ستون‌های میانی محتمل است، همچنین ایجاد کشش برای ستون‌های میانی در طبقات بالا و برای ستون‌های کناری در طبقات پایین، محتمل است. همچنین استنباط می‌شود که وقوع کشش در ستون‌های طبقات پایین، بیشتر منسوب به تحریک افقی و کشش رخ داده در طبقات بالا منسوب به تحریک قائم است.

اضافه شدن مؤلفه‌ی قائم به تحریک، افزایش نوسان نیروی محوری را ایجاد می‌کند، که این تأثیر برای زمین لرزه‌های نزدیک گسل نسبت به زمین لرزه‌های دور از گسل بیشتر خواهد بود. مقدار نوسانات نیروی محوری ستون کناری در دو حالت تحریک با و بدون مؤلفه‌ی قائم، به ویژه در طبقات پایین، نزدیک به هم هستند که به علت اثر مؤلفه‌ی افقی است، اما در طبقات بالاتر اثر مؤلفه‌ی افقی در نوسانات نیروی محوری کم می‌شود و اثر مؤلفه‌ی قائم نمایان می‌شود. اما در ستون‌های میانی در حالت تحریک افقی نوسانات نیروی محوری بسیار اندک و تحت تحریک توأم قائم و افقی به صورت یکسانی در همه‌ی طبقات افزایش پیدا می‌کنند.

با افزایش ضریب بار ثقلی، نیروی فشاری بیشینه ستون‌ها افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ضریب بار ثقلی، تغییرات نیروی محوری بیشتر می‌شود.

با توجه به منحنی ظرفیت اندرکنش نیروی محوری-لنگر خمشی ستون، با افزایش ضریب بار ثقلی، مقادیر نیروی کششی بیشینه به تدریج از ناحیه کشش خارج شده و مقادیر تقاضا به سمت منطقه‌ی امن منحنی ظرفیت حرکت می‌کنند.

نسبت‌های نیاز به ظرفیت برشی برای ستون‌های کناری تحت تحریک هم زمان افقی و قائم و تحریک افقی، مقادیری نزدیک به هم با افزایش اندکی در حالت تحریک توأم قائم و افقی، ارائه خواهند داد، این مقادیر حتی در زمین لرزه‌های نزدیک و دور از گسل هم نزدیک به هم و کمتر یا نزدیک به یک است. اما در ستون‌های میانی مقادیر DCR به طور کلی بزرگتر از مقادیر متناظر در ستون‌های کناری است به جز مورد ستون کناری طبقه اول که مقادیر DCR بزرگ ناشی از نیروی برشی بزرگ به وجود آمده در تحلیل تاریخچه‌ی زمانی، دارد. همچنین مقادیر DCR در اثر تحریکات شتاب نگاشت‌های نزدیک گسل به صورت کلی بزرگتر از مقادیر متناظر دور از گسل هستند. حضور مؤلفه‌ی قائم در همه‌ی موارد باعث بزرگتر شدن نسبت DCR می‌شود. درصد افزایش نسبت DCR برای ستون‌های میانی نسبت به ستون‌های کناری و برای شتاب نگاشت‌های نزدیک گسل نسبت به نگاشت‌های دور از گسل،

[9] Somerville; P; "The characteristics and Quantification of near fault ground motions" ;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, 1997, 205-252.

[10] Di Sarno; L; Elnashai; A.S; Manfredi; G; " Assessment of RC columns subjected to horizontal and vertical ground motions recorded during the 2009 L'Aquila (Italy) earthquake"; Engineering Structures; 33(2), 2011, 1514–1535.

[11] Newmark; N. M; Blume; J. A; Kapur; K. K; "Seismic design spectra for nuclear power plants"; J. Power Div; 99(2), 1973, 287-303.

[12] Collier; C. J; Elnashai; A. S; "A PROCEDURE FOR COMBINING VERTICAL AND HORIZONTAL SEISMIC ACTION EFFECTS"; Journal of Earthquake Engineering;5(4), 2001, 521-539.

[13] American Concrete Institute; ACI; "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)", 2005.

[14] Elnashai; A.S; Papanikolaou; V; Lee; D; "ZeusNL—a system for inelastic analysis of structures"; Mid-America Earthquake Center; University of Illinois at Urbana-Champaign. [CD-Release 04-01], 2004.

[15] Filippou; F.C; Issa; A; "Nonlinear analysis of reinforced concrete frames under cyclic load reversals"; EERC report 88-12. Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, 1988.

[16] Taucer; F.F; Spacone; E; and Filippou; F.C; "A Fiber Beam-Column Element for Seismic Response of Reinforced Structures"; Report number UCB/EERC-91/17, Earthquake Engineering Research Center, 1991.

[17] Filippou; F.C; D'Ambrisi; A; and Issa; A; "Nonlinear static and dynamic analysis of reinforced concrete subassemblages"; Report No. UCB/EERC-92/08, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 1992.

[18] Kwak; H.G; Filippou; F.C; "Nonlinear FE Analysis of R/C Structures under Monotonic loads"; Journal of Computers & Structures;65(1), 1997, 1-16.

[19] Spacone; E; Filippou; F.C; and Taucer; F.F; "Fibre Beam-Column Model for Non-linear Analysis of R/C frames: part I. formulation"; Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics; 25, 1996, 711-725.

[20] Beery; P.M; Eberhand; O.M; "Performance Modeling Strategies for Modern Reinforced Concrete Bridge Column"; PEER-2007/07, Pacific Earthq. Engrg. Res. Center; Univ. of California at Berkeley, California, 2007.

[21] Hachem; M.M; Mahin; S.A; and Moehle; J.P; "Performance of Circular Reinforced Concrete Bridge Columns Under Bidirectional Earthquake Loading"; PEER-2003/06, Pacific Earthquake Engineering Research Center; Univ. of California at Berkeley, California, 2003.

[22] Ranf; T.R; Eberhand; M; "Model Selection for Performance-Based Earthquake Engineering of Bridges"; Ph.D thesis; University of Washington, 2007.

سیار بزرگ‌تر است و در بیشترین حالت برای ستون میانی طبقه نهم و زمین لرزه‌های نزدیک گسل ۳۵٪ افزایش نسبت نیاز به ظرفیت برشی به وجود خواهد آمد.

حضور مؤلفه‌ی قائم باعث افزایش لنگر خمشی و نوسان لنگر خمشی وسط دهانه‌ی تیرها خواهد شد، که مقدار افزایش‌ها برای تیرهای دهانه‌ی میانی و برای شتاب نگاشت‌های نزدیک گسل بیشتر خواهد بود و در بیشترین حالت ۱۰۰٪ افزایش لنگر در وسط دهانه‌ی تیر خواهیم داشت. افزایش طول دهانه باعث افزایش لنگر خمشی بیشینه و بیشترین نوسان لنگر خمشی می‌شود، اما میزان افزایش برای تیرهای دهانه‌های میانی و شتاب نگاشت‌های نزدیک گسل بیشتر است و با افزایش طول دهانه‌ی تیر، به صورت تصاعدی با شیب رو به افزایش، رشد می‌کند.

References

۷- مراجع

- [1] Elnashai; A. S; Papazoglou; A. J; "Vertical earthquake ground motion - Evidence, effects and simplified analysis procedures"; Research Report ESEE-95/6; Imperial College, December, 1995.
- [2] Elnashai; A. S; Papazoglou; A. J; "PROCEDURE AND SPECTRA FOR ANALYSIS OF RC STRUCTURES SUBJECTED TO STRONG VERTICAL EARTHQUAKE LOADS"; Journal of Earthquake Engineering; 1(1), 1997, 121-155.
- [3] Broderick; B. M; Elnashai; A. S; Ambraseys; N. N; Barr; J. Goodfellow; R; and Higazy; M; "The Northridge (California) earthquake of 17 October 1994; observations, strong-motion and correlative response analyses"; Engineering Seismology and Earthquake Engineering; Report No. ESEE 4/94, 1994.
- [4] Kim; S. J; Elnashai; A. S; "Seismic assessment of RC structures considering vertical ground motion"; MAE center report; no. 08-03. USA: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2008.
- [5] Kim; S.J; Holub; C.J; Elnashai; A.S; "Experimental investigation of the behavior of RC bridge piers subjected to Horizontal and vertical earthquake motion" ;Engineering Structures; 33(7), 2011, 2221-2235.
- [6] Kim; S.J; Holub; C.J; Elnashai; A.S; "Analytical assessment of the effect of vertical earthquake motion on RC bridge piers"; ASCE J StructEng; 137(2), 2011, 252–60.
- [7] Kim; S.J; Elnashai; A.S; "Characterization of shaking intensity distribution and Seismic assessment of RC buildings for the Kashmir (Pakistan) earthquake of October 2005"; Journal EngStruct; 31(12), 2009, 2998–3015.
- [8] Somerville; P.G; Graves; R; "Conditions that give rise to unusually large long period ground motion"; The Structural Design of tall building;2(3), 1993, 211-232.

Effect of Vertical Component of Earthquake on Seismic Demand of Medium-Rise Concrete Frames

R. Vahdani¹, M. Ansari^{2*}, M. Ansari³

1- Assistant Prof., Earthquake Eng. Dept., Faculty of Civil Eng., Semnan University

2- Assistant professor of Engineering, Faculty of Civil Eng, Bozorgmehr university of Qaenat

3- PhD of Structural Engineering, Faculty of Civil Eng, Tarbiat Modares University

* Ansari@buqaen.ac.ir

Abstract:

According to the observations after the recent near-field earthquakes, structural damages are mostly attributed to the vertical component of the ground motion, i.e. concentration of the damages in column members leading to progressive structural collapse. This is why investigation of ground motion's vertical component effect has been widely regarded in recent studies. In seismic design, this component is considered less than other components of earthquake. However, in near fault earthquakes, large vertical acceleration components cause extensive damages compared to the ones with horizontal acceleration. Failure and damage in concrete columns is among the examples of the negative effects of vertical component. Vertical component of earthquake is considered in the design of specific members on the recommendation of seismic codes such as EC-8 and FEMA 356. The design is intended to use the scaled horizontal component, where this can result in incorrect answers due to lack of stimulation because of the specific characteristics of vertical component of earthquake and structural properties in the vertical direction. Also, the vertical component of earthquake is less studied in seismic risk analyses. In this study, the effects of vertical earthquake excitations on medium-rise concrete moment frames are investigated in two separate stages including near field and far field records. In this research, various structural models, representative of real structures and designed in accordance to seismic codes and under actual gravitational loads have been subjected, simultaneously, to horizontal and vertical components of near- and far-field ground motion records at two stages. Nonlinear time history and progressive dynamic analyses have been performed in this regard. Furthermore, the effect of elevation or reduction of initial gravitational forces as well as columns' initial axial forces have been investigated by applying differing gravitational loading coefficients. Structural response parameters including tensional and compressional axial loads of the columns as fluctuating forces, columns' uplift forces at various plan positions and under various gravitational coefficients, the interactive axial-flexural forces of the columns at different gravitational coefficients, shear demand-to-capacity of columns, axial deformation of the columns in presence and absence of vertical component of the earthquake, have been comparatively investigated and the effect of vertical ground motion component has been assessed, separately, for far- and near-field acceleration records and for external and internal columns placed at different stories.

The obtained results reveal that tensional uplift forces are more critical in external columns than the internal ones. This is mainly true for lower stories, while at the upper stories the tensional forces experienced by internal columns are seen to be more critical. The existence of vertical component of earthquake leads the minimum compression forces to increase and change toward tension range. The amount of this reduction has been witnessed to reach to 84% in the more extreme case. It was also seen that for smaller gravitational coefficients, tensional axial forces are more frequently observed. The presence of earthquake's vertical component has been shown to amplify the columns' shear demand by the values reaching to 31% at the most extreme cases.

Keywords: Vertical Component of Earthquake , Axial Force, Shear Demand VS Capacity, Near-Field earthquake.