مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس دوره هفدهم، شماره ۱، سال ۱۳۹٦



اثر مؤلفه قائم زلزله روى تقاضاي لرزهاي قابهاي بتني ميانمرتبه

رضا وهدانی'، مختار انصاری*'، 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

تاریخ دریافت: ۹٤/۰۷/۲۰

*Ansari@buqaen.ac.ir

تاريخ پذيرش: ٩٥/٣/١٩

چکیده- با توجه به خسارتهای سازهای به وجود آمده در زمین لرزههای نزدیک گسل اخیر که به مؤلفهی قائم زمین لرزه نسبت داده می شود و بروز آسیبهای متعدد در ستونهای بتنی که باعث تخریب پیشرونده نیز می شود، 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 مولفه قائم و افقی زلزله و تحریک مولفه 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 مؤلفه ی 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 می دهد که نیروی کششی و بروز کشش در ستونهای کناری بحرانی تر از ستونهای میانی، خواهد بود. حضور مؤلفهی قائم باعث کمه نیروی فشاری کو کششی و بروز کشش در ستونهای کناری بحرانی تر از ستونهای میانی به صورت مجزا به دست آمد. نتایج نشان می دهد که نیروی حکت می و بروز کشش در ستونهای کناری بحرانی تر از ستونهای میانی، خواهد بود. حضور مؤلفهی قائم باعث کاهش نیروی فشاری کمینه و می شود به ست آمد. نتایج نشان می شود که این مقداری بحرانی ترین حالت، به صورت مجزا به دست آمد. نتایج نشان می دهد که نیروی مرکت به سمت کشش می شود که این مقدار در بحرانی ترین حالت، به صورت میانگین بین شتاب نگاشتهای نزدیک گسل به ۲۵/ کاهش می رسد. حضور مؤلفهی قائم باعث افزایش نیاز به ظرفیت برشی می شود و در بیشترین حالت به ۳۵٪ افزایش نسبت نیاز به ظرفیت برشی

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

۱ – مقدمه

سازه ا بیشتر در مواجهه با زمین لرزه ها در سه جهت تحریک می شوند. در چند دهه ی اخیر تحریک های افقی زمین لرزه ها به طور گسترده بررسی شده و در شیوه های طراحی مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند، اما مؤلفه ی قائم بیشتر در طراحی نادیده گرفته شده است [1-3] یا فقط در اعضای خاصی بنا به توصیه ی برخی آیین نامه ها مانند 8-EC و 356 FEMA، در طراحی در نظر گرفته شده اند 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

این موضوع می تواند غیر واقع گرایانه 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 لرزه ای قاب خمشی بتنی، در دو بخش مجزای رکوردهای نزدیک گسل و دور از گسل و تفاوتهای آنها با هم پرداخته می شود. انواع پاسخها و پارامترهای لرزهای، و حساسیت و همبستگی آنها بر حضور

تحریک قائم در تحلیل، شده است.

۲- تاریخچه پژوهشها

در زمین لرزههای حوزه نزدیک به لحاظ فاصله کوتاه بـین محل شكست (منبع توليد موج) و محل دريافت أن، فرصتی برای میرا شدن فرکانس،ای بالا نبوده، از همین رو تاريخچه زماني شـتاب آنها محتواي فركانسي بـالايي دارنـد، همچنین بررسی ها نشان داده است که در حوزهی نزدیک گسل شتاب نگاشت، ادارای مؤلف می قائم شدیدتری نسبت به حوزهی دور از گسل خواهند بود [8-9]. به صورت معمول مؤلفهي قائم محتواي انرژي كمترى نسبت به مؤلفهي افقى 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 سازه هایی که زمان تناوب قائمشان در این دامنه قرار می گیرد، می شود. میرایی کمتر سازه ها در جهت قائم هم در این موضوع نقشی خواهد داشت. پس از مشخص شدن آثار مخرب مؤلف می قائم، پژوهش های مختلفی حول این موضوع انجام گرفت، ارائهي طيف قائم با استفاده طيف افقي، ارائهی طیف قائم مستقل، بررسی آثار مؤلف می 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 پژوهش ها بود که نمود آيين نامهاي پيدا نكرد [10-12].

۳- مشخصات قابهای بتنی و رکوردهای استفاده شده در تحلیل تاریخچه زمانی

در این مقاله قاب خمشی بتنی ۱۲ طبقه با ارتفاع طبقات ۲/۲ متر و دارای سه دهانهی ۷ متری در تحلیل ها 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 ویژگی های مقاطع و فولاد گذاری در شکل (۱) مشاهده می شود. مدل بر اساس آیین نامه O.318 ISL برای شتاب مبنای طرح 0.359 با شکل پذیری متوسط در منطقه با

خطر نسبی خیلی زیاد و خاک نوع ۲ طراحی شده است [13]. سیستم سقف تیر و دال است و تیرها در نرم افزار بـه صورت تیر T شکل مـدل شـدهاند. T-a-b-c در شـکل (۱) مقطعی بـا ضخامت جان a و ارتفاع کل d و عرض بال c ضخامت بـال در همه تیرها ۱۵ سانتی متر است. بارگذاری مدلها بـه 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.





٤- مدلسازی قابهای بتنی با روش فایبر

برنامـه اجـزا محـدود ZeusNL قـادر اسـت پاسـخ تغييـر شکل های بزرگ قاب های سهبعدی را تحت بارهای دینامیکی و استاتیکی، با احتساب آثار غیرخطی هندسی و رفتار غیر ارتجاعي مصالح، پيش بينے 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 می شود 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 می شود. المانهای استفاده شده برای مدلسازی، المانهای تیر – ستون غیرخطی مبتنی بر جابهجایی هستند. مدلهای با خاصیت غیر خطی توزیع شده، رفتار غیرارتجاعی اعضای بتن مسلح را با دقت بهتری توصیف مىكنند [15–19]. در مقايسه بـا روش پلاستيسـيته متمركـز، در روش پلاستیسیته گسترده، ویژگی غیرخطی مصالح در هر مقطع یی از المان ممکن است رخ دهد و رفتار عضو از انتگرالگیری وزنی پاسخ مقطع بدست می آید. در عمل، از آنجا که انتگرالهای المان به صورت عددی محاسبه می شود، تنها رفتار برخی از مقاطع در نقاط انتگرالگیری، بررسی میشود. تغییرشکل ها و نیروهای المان که مجهولات اولیه مدل است، از طریق توابع درونیابی مناسب به ترتیب از روی جابـهجاییها و نیروهای المان در مختصات کلی به دست می آیند. در این پژوهش از روش پلاستیسیته گسترده و المانهای تیر-ستون غیرخطی مبتنی بر جابہجایی با روش انتگرالگیری گوس-لژاندر برای مدلسازی رفتار غیرخطی اعضای بتنی استفاده مي شود [20–23].

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

0- بحث و بررسی نتایج تحلیل های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی تحت شتاب

يكسان باش*د*.

مشخصات شتاب نگاشتها در جدول (۱) ارائه شده است.

گسل	ر نزدیک	دور و	شتابنگاشتهای	مشخصات	(1)	جدول
-----	---------	-------	--------------	--------	-----	------

Far Fault Records									
Rec Num	Earthquake Name	Year	Mn	Closest Distance (km)	H ₁ Scaled pga(g)	V Scaled			
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			
f3	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			
f5	Northridge-01 1994-01-17 12:31	1994	6.69	53.94	0.35	0.19			
f6	Northridge-01 1994-01-17 12:32	1994	6.69	59.62	0.35	0.09			
f7	Chi-Chi, Taiwan 1999- 09-20	1999	7.62	28.17	0.35	0.22			
f8	Chi-Chi, Taiwan 1999- 09-20	1999	7.62	44.76	0.35	0.09			
f9	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)			
\mathbf{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			
n4	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			
n7	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			
n9	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

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









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





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

۵-۱- بررسی تقاضای نیروی محوری بیشینه فشاری ستون شکلهای (۳ و ٤) نیروی محوری بیشینهی 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 شکلهای (۳ و ٤) مشخص است که در همه موارد حضور مؤلفهی قائم باعث افزایش نیروی فشاری ستون می شود که مقدار افزایش برای ستونهای میانی و طبقات بالاتر، شدیدتر است. همچنین مقادیر افزایش برای شتاب نگاشتهای نزدیک گسل بزرگتر است.

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



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



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

۵-۴- 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 (٥) نیروی محوری کمینه ی فشاری تحت اثر شتاب نگاشت های



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



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

۵-۳- 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 زمین لرزههای نزدیک گسل و دور از گسل نمایش میدهد. نتایج مانند نتایج قبل افزایش بیشتر نوسان در ستونهای میانبی، طبقات بالاتر و حوزه ی نزدیک گسل را نشان میدهد. با توجه به روابط فوق و خروجی های تحلیل دینامیکی غیرخطی نسبت بیشترین نیروی برشی به کمترین ظرفیت برشی در ستون های مختلف، در دو حالت تحریک با و بدون مؤلف می قائم، به دست می آید و اثر مؤلفه یقائم در تغییرات نسبت نیاز به ظرفیت برشی، مشخص می شود. شکل های (۱۰ و ۱۱) نسبت نیاز به ظرفیت برشی را برای ستون های کناری و میانی به ترتیب برای زمین لرزه های نزدیک و دور از گسل نمایش می دهد.



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



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

۲- نتیجه گیری

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 نیـروی محـوری فشـاری بیشینه در دو حالت تحریک، کـه نماینـدهی اثـر مؤلفـهی قـائم



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 می شود. 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 ستون ها تحت تحریک قائم دچار تغییر خواهد ظرفیت برشی ستون ها تحت تحریک قائم دچار تغییر خواهد شد. ظرفیت برشی ستون از مجموع ظرفیت برشی بتن و خاموت به دست می آید که با توجه به ابعاد بزرگ مقاطع ناشی از سیستم باربر جانبی قاب خمشی، در طراحی ظرفیت برشی مقطع وجود دارد. تنش برشی مجاز بتن از روابط (۱ و ۲) به ترتیب برای حالت نیروی محوری فشاری و کششی به دست می آید. و رابطهی (۳) ظرفیت برشی خاموت حداقل را نشان

$$V_{c} = (1 + \frac{N_{u}}{14A_{g}})(\frac{\sqrt{f_{c}'}}{6})b_{w}d$$
(1)

$$V_{c} = (1 + \frac{0.3N_{u}}{A_{g}})(\frac{\sqrt{f_{c}'}}{6})b_{w}d \ge 0$$
^(Y)

$$V_{s})_{\min} = (\frac{A_{v}}{s})_{\min}f_{yt}d = \frac{1}{16}\sqrt{f_{c}}b_{w}d$$
(7)

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

است، بیشتر می شود.

اضافه شدن مؤلفهی قائم به تحریک، کاهش مقادیر نیروی فشاری و حرکت به سمت کشش را ایجاد میکند، که این تـ أثیر برای زمین لرزههای نزدیک گسل نسبت به زمین لرزه های 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 محتمل تر 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 پایین تر اتفاق میافتد؛ همچنین در ستونهای کنار در حالت تحریک افقی و در حوزهی دور از گسل نیز کشش رخ می دهد 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 ناحیه ی کشش نزدیک تر می شود 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 بحرانی تر 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 استباط می شود که وقوع کشش در ستونهای طبقات پایین، بیشتر 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 الت 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 می شود و اثر مؤلفهی قائم نمایان می شود. 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، تغیرات 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 منطقه ی 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 MCR به طور کلی بزرگتر از مقادیر متناظر در ستونهای کناری است به جز مورد ستون کناری طبقه اول که مقادیر MCR بزرگ ناشی از نیروی برشی بزرگ به وجود آمده در تحلیل تاریخچه ی زمانی، دارد. همچنین مقادیر MCR در اثر تحریکات شتاب نگاشتهای نزدیک گسل به صورت کلی بزرگتر از مقادیر متناظر دور از گسل هستند. حضور مؤلفه ی قائم در همه ی موارد باعث بزرگتر شدن نسبت MCR می شود. درصد افزایش نسبت MCR برای ستونهای میانی نسبت به ستونهای کناری و برای شتاب نگاشتهای نزدیک گسل نسبت به ستونهای کناری و برای شتاب [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.

بسیار 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 دهانه ی تیرها خواهد شد، که مقدار افزایشها برای تیرهای دهانه ی 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] Somervile; 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 mediumrise 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 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.