

## یادداشت تحقیقاتی:

# تأثیر زلزله نزدیک و دور از گسل بر ضریب کاهش مقاومت و نسبت تغییر شکل غیر ارتجاعی به ارتجاعی با رویکرد تقاضای شکل پذیری

نوید سیاه پلو\*<sup>۱</sup>، محسن گرامی<sup>۲</sup>، رضا وهدانی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان

۲- دانشیار، گروه مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۳- استادیار، گروه مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

n\_siahpolo@yahoo.com

تاریخ پذیرش: [۹۴/۱۲/۲۰]

تاریخ دریافت: [۹۴/۰۶/۲۴]

**چکیده** - مطالعه خسارت‌های زلزله‌های قبل مؤید ورود پاسخ سازه به ناحیه غیرخطی است. در این حالت نیروی برش پایه و تغییر مکان سازه نسبت به حالت الاستیک تفاوت دارد. چنانچه زلزله نزدیک گسل باشد، این تفاوت‌ها می‌تواند چشمگیرتر باشد. به همین دلیل در این پژوهش دو ضریب کاهش مقاومت در اثر شکل‌پذیری ( $R_{II}$ ) و نسبت تغییر شکل غیر الاستیک به الاستیک ( $C_R$ ) برای مؤلفه‌های موازی و عمود بر گسل زلزله نزدیک و دور از گسل محاسبه شده‌اند. همچنین حساسیت این دو پارامتر به ضریب کرنش سخت شدگی ( $\alpha$ ) و میرایی بررسی شد.  $C_R$  به دست آمده با  $C_1$  پیشنهادی در فیما ۴۴۰-مقایسه شد. در پایان ضریب بزرگنمایی تغییر مکان به ضریب رفتار برای سطوح مختلف شکل‌پذیری محاسبه شده است. برای محاسبه نتایج در مجموع ۱۰۶۴۰۰ تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی انجام گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که  $R_{II}$  زلزله نزدیک می‌تواند با مقدار متناظر حاصل از زلزله دور تفاوت داشته باشد. همچنین  $C_R$  چندان به نوع رکورد وابسته نبوده و با افزایش پریود به یک همگرا می‌شود. حساسیت  $R_{II}$  و  $C_R$  در برابر  $\alpha$  قابل توجه نیست. به علاوه با افزایش ضریب میرایی، نمودارهای  $R_{II}$  و  $C_R$  از حالت مضرخارج شده و هموارتر می‌شود. در پایان استفاده از  $C_1$  متناسب با نوع رکورد و دوره تناوب سازه می‌تواند محافظه‌کارانه یا غیر محافظه‌کارانه باشد.

**کلمات کلیدی:** ضریب کاهش مقاومت، تغییر شکل غیر ارتجاعی، زلزله نزدیک گسل، فیما ۴۴۰، مؤلفه موازی و عمود بر گسل.

## ۱- مقدمه

بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که ضریب مذکور وابسته است به درجه غیرخطی شدن اعضا، میرایی، رفتار چرخه‌ای و اضافه مقاومت سازه. اشکال مهم وارد بر این ضریب این است که برای سازه با ترازهای عملکردی مختلف ثابت فرض شده و نمی‌تواند تصویر مناسبی از سطوح غیرخطی شدگی سازه و اجزا آن ارائه نماید. به‌طور نمونه اگر ضریب رفتار سازه کمتر از مقدار ضریب رفتار واقعی آن در نظر گرفته شود، تراز نیروهای وارد بر سازه بیشتر در نظر گرفته شده و می‌تواند به غیراقتصادی شدن طرح بیانجامد. در مقابل اگر ضریب رفتار انتخابی بیشتر از مقدار واقعی آن انتخاب شود، تراز نیروی برش پایه کمتر از مقدار واقعی محاسبه می‌شود. در این حالت

تجربه زمین‌لرزه‌های پیشین نشان می‌دهد که بسته به شدت و محتوای زلزله، پاسخ سازه وارد ناحیه غیرخطی می‌شود. بررسی پاسخ‌های غیرخطی سازه نشان می‌دهد که نیازهای نیروی برش پایه در این حالت کاهش می‌یابد. کاهش در نیروی ارتجاعی و تبدیل آن به نیروی برش پایه غیر ارتجاعی، در بسیاری از کدهای لرزه‌ای با ضریب رفتار (ضریب کاهش مقاومت) تعریف شده است. این ضرایب بیشتر بر اساس مطالعات تجربی به دست آمده‌اند. وظیفه این ضرایب در گرفتن تمام آثار غیرخطی سازه است. یکی از شاخص‌ترین آثار غیرخطی، تغییر مکان غیرخطی در سازه است.

پریودهای متوسط بیشتر است. از طرفی هم‌پایه سازی پریود با پریود پالس غالب از پراکندگی نتایج کم می‌کند. به‌علاوه تأثیر استفاده از MIV به جای PGV بر محاسبه CR بیشتر بوده و به‌کارگیری مدل رفتاری باقابلیت زوال سختی و مقاومت بحرانی‌ترین نتایج را برای زلزله‌های نزدیک نسبت به دور از گسل به همراه دارد [15].

با این مقدمه از آنجاکه نتایج ضریب رفتار نیاز به‌شدت وابسته است به محتوا و نوع زلزله انتخابی، به نظر می‌رسد برای رکوردهای مختلف می‌تواند به نتایج مختلفی بیانجامد. در این حالت استفاده از میانگین‌گیری میسر است. به همین دلیل به نظر می‌رسد که ضریب رفتار نیاز در سازه‌های تک درجه (SDOF) و برای زلزله‌های نزدیک گسل نسبت به زلزله‌های دور متفاوت باشند. این موضوع کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. برای زلزله‌های نزدیک گسل آناز جهت پذیری پیش‌رونده از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین مؤلفه عمود بر گسل نسبت به مؤلفه موازی از اثرات تخریبی بیشتری برخوردار است؛ بنابراین در این مقاله ضریب کاهش مقاومت به دلیل آثار شکل‌پذیری در سیستم SDOF محاسبه می‌شود. این ضریب در بیشتر ادبیات فنی با  $R_{II}$  معرفی شده است. از آنجاکه این ضریب به نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی و به دنبال آن به نوع زلزله انتخابی وابسته است، برای محاسبه  $R_{II}$  از رکوردهای دور و نزدیک گسل استفاده شده است. بدین ترتیب می‌توان مقایسه‌ای بین  $R_{II}$  زلزله دور و نزدیک گسل (دو مؤلفه موازی و عمود بر گسل) انجام داد و این سؤال اساسی پاسخ داده می‌شود که نوع محتوای رکورد زلزله تا چه اندازه بر ضریب  $R_{II}$  تأثیرگذار است. در ادامه با انجام تحلیل حساسیت بر  $R_{II}$  اثر عوامل مختلفی همچون شیب ناحیه کرنش-سخت شدگی و میرایی بررسی خواهد شد. بدین منظور طیف گسترده‌ای از سازه‌های تک درجه آزاد (از پریود ۰/۲ تا ۴ ثانیه) برای چهار سطح شکل‌پذیری (۲، ۳، ۴ و ۵) در نظر گرفته شده‌اند. سپس CR برای زلزله‌های دور و نزدیک گسل (مؤلفه عمود و موازی گسل) محاسبه شده و نسبت به هم مقایسه شده‌اند. در انتها برای مؤلفه عمود بر گسل زلزله نزدیک، حساسیت CR به اثر عواملی شیب ناحیه کرنش-سخت شدگی و میرایی بررسی شده است. برای تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی از نرم‌افزار Opensees استفاده شده است [16]. شیب ناحیه سخت شدگی کرنشی ۳٪ و ضریب میرایی ۵٪ انتخاب شده است. مدل رفتاری سازه نیز از نوع دوخطی فرض شده است. با تغییر در مقاومت تسلیم،  $F_y$  سیستم‌های SDOF، شکل‌پذیری هدف تأمین شده است.

به نظر می‌رسد با ورود سازه به ناحیه غیرخطی، نیازهای تغییر کلی بیشتر از ظرفیت اعضا شود و به دنبال آن خرابی در سازه شکل گیرد. با وجود اینکه در تمامی کدهای لرزه‌ای، ضریب رفتار پیشنهادی بر مبنای مطالعات تجربی محاسبه شده است، اما تلاش‌های گسترده-ای نیز برای محاسبه ضریب رفتار به کمک روابط تئوری صورت گرفته است. در این بین محاسبه ضریب کاهش مقاومت یا  $R_{II}$  بعنوان اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار بر ضریب رفتار بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. آثار عواملی همچون درجه غیرخطی شدن اعضا، میرایی، نوع مدل غیرخطی، شرایط ساختگاه، دوره تناوب و پارامترهای جنبش نیرومند زمین مانند زمان تداوم، فاصله کانونی، بزرگی بر این ضریب از اهمیت بیشتری در مطالعات قبل برخوردار است [1-7]. در بحث تأثیر زلزله‌های نزدیک گسل نیز مطالعات محدودی صورت گرفته است. برای نمونه Jalali و Trifunac (۲۰۰۸) نشان دادند که  $R_{II}$  به‌شدت به بزرگی زلزله وابسته است. همچنین استفاده از منحنی‌های طراحی کلاسیک موجود برای  $R_{II}$  برای حرکت‌های پالسی شکل عمود بر گسل مقادیر محافظه‌کارانه‌ای را نتیجه می‌دهد درحالی‌که برای مؤلفه به‌موازات گسل، قوانین طراحی رایج غیر محافظه‌کارانه است. ایشان همچنین پیشنهاد نمودند که برای تمامی مؤلفه‌های حرکت زمین در حالت نزدیک گسل،  $R_{II}$  باید ثابت و برابر  $\mu$  در نظر گرفته شود [7].

یکی دیگر از ضرایبی که در تحلیل سیستم SDOF مدنظر قرار گرفته است، نسبت پیشینه تغییر مکان غیر الاستیک به الاستیک سیستم SDOF است که در این پژوهش با CR نمایش داده می‌شود. این ضریب در دستورالعمل FEMA440 با  $C_1$  معرفی شده است. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که این ضریب به عواملی همچون بسامد، شرایط ساختگاه، فاصله تا گسل، طول گسلش، بزرگای گشتاوری، مدل رفتاری و شاخص خرابی وابسته است [8-15]. برای نمونه Ruiz-Garcia (۲۰۱۱) نسبت CR را برای دو دسته مدل رفتاری با و بدون زوال سختی محاسبه نمود. این نسبت برای زلزله‌های نزدیک گسل با اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده به شکل طیف CR در برابر دوره تناوب هم‌پایه شده با پریود غالب پالس ارائه شد تا بدین ترتیب پراکندگی نتایج بین هر رکورد کاهش یابد. ایشان در نهایت رابطه‌ای برای تعیین CR ویژه زلزله دارای آثار جهت‌پذیری پیشنهاد نمود [10]. همچنین Wen و همکاران (۲۰۱۴) اثر زلزله نزدیک گسل پالس‌گونه، دوره تناوب هم‌پایه شده، سرعت پیشینه فراینده (MIV)، PGV و مدل‌های رفتاری را بر CR بررسی نمودند. مطالعات نشان داد اثر زلزله‌های نزدیک پالس‌گونه بر CR در

## ۲- شتاب‌نگاشت‌های پژوهش

یکی از موضوعاتی که در چند سال اخیر به آن توجه ویژه شده است، نوع رکورد زلزله از نظر فاصله مرکز تا ساختگاه است. در این حالت دو دسته زلزله نزدیک و دور از گسل قابل تفکیک و طبقه‌بندی است. بیشتر مطالعات پیشین بر زلزله‌های دور از گسل تمرکز داشته‌اند. در این زلزله‌ها به دلیل محتوای فرکانسی قابل‌توجه، انرژی زلزله در زمان طولانی‌تری به‌صورت تجمعی به سازه وارد می‌شود. پس موضوع خستگی سیکل کم و خسارت‌های تجمعی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در مقابل چنانچه زلزله نزدیک گسل باشد، مقادیر قابل‌توجهی انرژی زلزله در یک‌زمان کوتاه بر سازه وارد می‌شود. بنابراین سازه فرصت کافی برای عکس‌العمل به چنین ارتعاشی را ندارد. همین مسئله باعث می‌شود تقاضای نیرو و تغییر مکان به مراتب بیشتر از زلزله‌های دور باشد. یک مفهوم جدی در زلزله نزدیک گسل، ناحیه دارای آثار جهت‌پذیری پیش‌رونده است. منظور منطقه‌ای است که در آن راستای حرکت گسل به سمت ساختگاه بوده و سرعت انتشار گسلش در آن ناحیه نزدیک به سرعت موج‌برشی است. در چنین وضعیتی نگاشت سرعت و برخی موارد شتاب‌نگاشت دارای یک پالس مشهود با پررود طولانی و دامنه بزرگ است. در این بین مطالعات مختلف نشان می‌دهد که مؤلفه عمود بر گسل نسبت به مؤلفه به‌موازات گسل از قابلیت تخریب بیشتری برخوردار است. از آنجاکه در مطالعات پیشین ضرایب کاهش نیرو در اثر شکل‌پذیری و نسبت تغییر شکل غیر الاستیک به الاستیک یا برای زلزله‌های دور و یا نزدیک گسل به تفکیک محاسبه شده‌اند، در این مطالعه تلاش شده است تا آثار این نوع زلزله هم‌زمان در نظر گرفته شوند. از طرفی برای نخستین موضوع درجه اهمیت مؤلفه عمود (SN) و موازی (SP) گسل برای این ضرایب بررسی شده است. بدین منظور تعداد ۲۱ شتاب‌نگاشت در سه دسته ۷ تایی که معرف زلزله‌های دور از گسل با شناسه OR، زلزله نزدیک گسل-مؤلفه عمود با شناسه NF-SN و زلزله نزدیک گسل-مؤلفه موازی با شناسه NF-SP انتخاب شده‌اند. شایان گفتن است هر زوج مؤلفه موازی و عمود بر گسل زلزله نزدیک مربوط به یک رخداد مشابه است. زلزله‌های نزدیک گسل بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده در مطالعه Baker و همکاران (۲۰۰۷) انتخاب شده است [17]. دلیل انتخاب ۳ دسته ۷ تایی شتاب این است که بتوان میانگین آماری را برای پارامترهای  $R_{II}$  و CR ارائه نمود. مشخصات زلزله‌های انتخابی در جدول (۱) نمایش داده شده‌اند. به جز رکورد شماره ۱ زلزله نزدیک گسل، محدوده PGV انتخابی با خاک نوع III استاندارد

۲۸۰۰ ایران همخوانی دارد. در پایان لازم به گفتن است از آنجاکه دو فاکتور  $R_{II}$  و CR وابسته به نسبت نیاز غیر الاستیک به الاستیک است، پس کلیه شتاب‌نگاشت‌ها با همان PGA واقعی خود در نظر گرفته شده و تنظیم  $F_y$  برای تأمین شکل‌پذیری هدف در حقیقت معادل مقیاس سازی PGA رکودها برای تأمین همان شکل‌پذیری است.

## ۳- روش تحقیق

از آنجاکه در این مطالعه، هدف اولیه بررسی تاثیر نوع رکورد (اعم از دور و نزدیک) بر دو پارامتر  $R_{II}$  و CR است، بنابراین لازم است کالبد اصلی این پژوهش بر محاسبه این دو فاکتور پایه‌ریزی شود. به همین خاطر در این قسمت از مقاله، مراحل اصلی این پژوهش تعریف و ارائه شده است. دو ضریب  $R_{II}$  و CR وابسته هستند به نوع زلزله، میرایی، شیب ناحیه کرنش سخت‌شدگی، دوره تناوب و سطح غیرخطی شدن مصالح. در مدل‌های این پژوهش، دوره تناوب الاستیک از ۰/۲ ثانیه تا ۴ ثانیه (با گام زمانی ۰/۲ ثانیه) انتخاب شده است. دلیل انتخاب این محدوده قرارگیری بیشتر سازه‌های متعارف در این ناحیه است. از طرفی ضریب شکل‌پذیری نیز مقادیر ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ در نظر گرفته شده است. از طرفی کلیه مدل‌ها به صورت یک سازه تک درجه آزادی (SDOF) مدل‌سازی شده‌اند. در این سازه جرم واحد انتخاب شده و سختی المان به گونه‌ای تنظیم شده است تا دوره تناوب موردنظر تأمین شود. برای مدل‌سازی المان سازه SDOF از المان با طول صفر استفاده شده است. این المان در نرم‌افزار Opensees تعریف شده است برای تعریف سختی پسا تسلیم از شیب ۳٪ برای ناحیه کرنش-سخت‌شدگی ( $\alpha=3\%$ ) استفاده شده است. البته در بخش تحلیل حساسیت برای  $\alpha$  علاوه بر ۳٪، مقادیر ۰٪، ۵٪ و ۱۰٪ نیز انتخاب شده است. برای کلیه مدل‌ها ضریب میرایی ذاتی سازه ۵٪ فرض شده است. این ضریب در بخش تحلیل حساسیت به مقادیر ۲، ۱۰ و ۲۰٪ علاوه بر مقدار اولیه ۵٪ نیز تغییر یافته‌اند. برای حل معادله تاریخچه زمانی غیرخطی از روش بتای-نیومارک استفاده شده است. در مجموع برای محاسبه دو فاکتور  $R_{II}$  و CR در اثر زلزله‌های دور و نزدیک به‌طور متوسط ۸۴۰۰۰ تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شده است. برای مطالعه تحلیل حساسیت فاکتورهای  $R_{II}$  و CR در اثر زلزله نزدیک گسل - مؤلفه عمود بر گسل نیز به‌طور متوسط ۲۲۴۰۰ تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی انجام گرفته است. برای آشنایی با روند کلی پژوهش، فلوچارت شکل (۱) نمایش داده شده است.

جدول (۱) - مشخصات زلزله‌های نزدیک گسل (NF) برای دو مؤلفه موازی (SP) و عمود (SN) به همراه زلزله‌های دور از گسل (OR)

Record No.	Earthquake Name	Year	Station Name	PGV (cm/s)	Mw	R	T <sub>p</sub>	Preferred Vs30 (m/s)
<i>(a) Ordinary Recordings (OR)</i>								
1	Chi Chi	1999	CHY065	13.8	7.62	83.43	0.56	272.6
2	Chi Chi	1999	TAP095	26.6	7.62	109.01	0.98	215
3	Loma Prieta	1989	CDMG58224	35.5	6.93	72.20	0.32	306.5
4	Kobe	1995	HIK	15.2	6.10	95.72	0.60	256
5	Manjil	1990	Qazvin	11.5	7.37	49.97	0.16	274.5
6	Northridge	1994	CDMG13122	6.9	6.70	72.32	0.38	308.6
7	Tabas	1978	Ferdows	7.9	7.35	91.14	0.24	274.5
<i>(b) Near Fault Recordings (Strike-Normal, SN and Parallel, SP)</i>								
1	Loma Prieta	1989	LGPC	92.5	6.93	9.96	4.39	477.7
2	Northridge-01	1994	Newhall - Fire Sta	120.26	6.69	5.92	1.03	269.1
3	Northridge-01	1994	Newhall - W Pico Canyon Rd.	82.88	6.69	5.48	2.40	285.9
4	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	167.2	6.69	6.50	1.23	282.3
5	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	113.57	6.69	5.19	3.52	370.5
6	Kobe, Japan	1995	KJMA	89.1	6.90	0.96	0.95	312
7	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	72.64	6.90	0.27	1.42	312

Table 1. Characteristics of near-field earthquakes (NF) for parallel (SP) and perpendicular (SN) components with far-field earthquakes (OR)

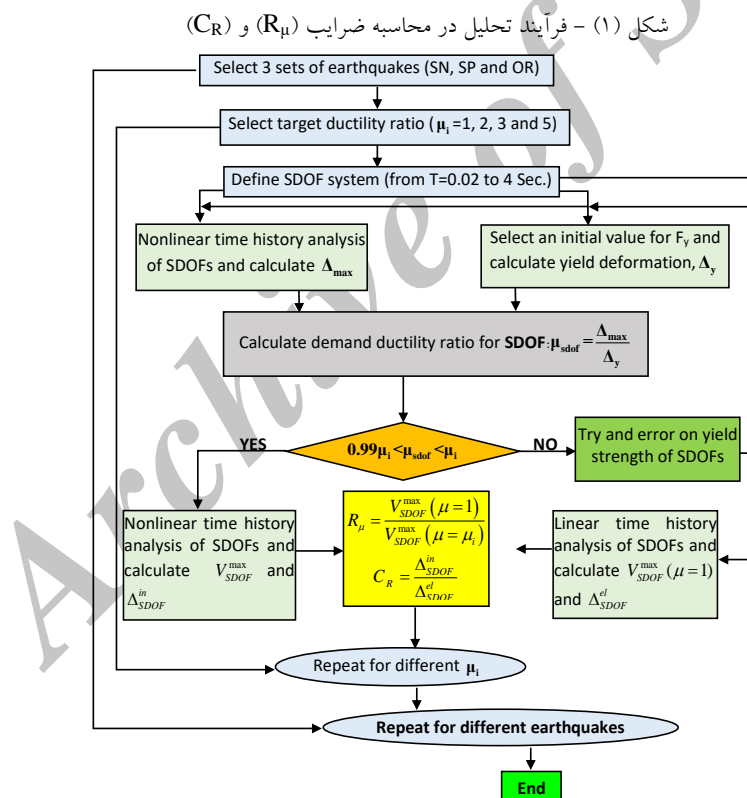


Fig. 1. The analysis process in calculating factors  $(R_{\mu})$  and  $(C_R)$ .

ضریب رفتار محاسبه شود؛ بنابراین محاسبه ضریب  $R_{\mu}$  از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این قسمت از مقاله  $R_{\mu}$ ، برای سه نوع شتاب‌نگاشت NF-SN، NF-SP، OR و برای چهار تقاضای شکل‌پذیری (۲، ۳، ۴ و ۵) محاسبه شده است. نتایج حاصل از  $R_{\mu}$  برای سه دسته ۷ تایی رکورد در شکل (۲) نمایش داده شده‌اند.

## ۴- بحث و بررسی نتایج

### ۴-۱- ضریب کاهش شکل‌پذیری $(R_{\mu})$

برای محاسبه ضریب رفتار قاب‌های MDOF طبق روش یوآنگ [18] می‌توان ضریب کاهش شکل‌پذیری  $(R_{\mu})$  سیستم SDOF معادل را محاسبه نموده و با اعمال ضرایب اضافه مقاومت و طراحی،

ثانیه است. این مرز برای رکوردهای حوزه نزدیک موازی و عمود بر گسل (SN و SP) به ترتیب ۰/۲۵ و ۱ ثانیه محاسبه شد. برای درک بهتر از روند تغییرات  $R_{\mu}$  در برابر T برای سطوح مختلف شکل پذیری، میانگین نتایج حاصل به تفکیک برای هر سه رکورد در شکل (۴) نمایش داده شده است. به استناد شکل (۳)، چنانچه ضریب شکل پذیری یا  $\mu$  کوچک باشد (۲ و ۳)، نمودار  $R_{\mu}$ -T مضرس است. با افزایش  $\mu$  نمودار هموارتر می شود. به عبارت دیگر برای شکل پذیری کم، حساسیت  $R_{\mu}$  در برابر تغییرات دوره تناوب قابل توجه تر است. همچنین تا دوره تناوب ۰/۵ ثانیه،  $R_{\mu}$  زلزله های مختلف نزدیک به هم برآورد شده است. با افزایش دوره تناوب تا ۱/۲ ثانیه،  $R_{\mu}$  زلزله دور (OR) بیشتر از دو مؤلفه نزدیک گسل است. در این محدوده کمترین  $R_{\mu}$  مربوط به مؤلفه موازی گسل زلزله حوزه نزدیک است. برای سازه با پریود بزرگ تر از ۱/۵ ثانیه، بیشترین  $R_{\mu}$  مربوط به NF-SP است. در این محدوده،  $R_{\mu}$  زلزله های NF- و SN نزدیک به هم برآورد شده است.

بر اساس شکل (۲) برای هر سه نوع شتاب نگاشت، با افزایش دوره تناوب،  $R_{\mu}$  ابتدا با شیب تند افزایش یافته و سپس ثابت باقی می ماند. از طرفی مادامی که پریود سازه کوتاه باشد،  $R_{\mu}$  برای سطوح مختلف شکل پذیری نزدیک به هم است. به عبارتی، در این محدوده تغییرات  $R_{\mu}$  در برابر T کم است. همچنین در محدوده پریود بلند، برای پریود ثابت، با افزایش ضریب شکل پذیری،  $R_{\mu}$  افزایش می یابد. از طرفی برای شکل پذیری ۲، برای هر سه حالت رکورد، با افزایش دوره تناوب  $R_{\mu}$  به ضریب شکل پذیری ( $\mu$ ) همگرا می شود. این موضوع برای زلزله های معمولی پیشتر به وسیله پژوهشگران مختلف اثبات شده است. نتایج حاصل در حوزه مدل ها و فرضیه های این پژوهش نشان داد که روند تغییرات  $R_{\mu}$  در برابر T برای زلزله های حوزه نزدیک نیز از همین رویه تبعیت می کند. به علاوه، با افزایش هم زمان T و  $\mu$  مقادیر بزرگ تری از  $R_{\mu}$  در مقایسه با  $\mu$  به دست می آید. در پایان بررسی (شکل ۲) نشان داد که ناحیه انتقالی (مرز بین ناحیه افزایش  $R_{\mu}$  و قسمت ثابت آن) برای زلزله های معمولی نزدیک ۰/۵

شکل (۲) - ضریب کاهش شکل پذیری ( $R_{\mu}$ ) برای زلزله های نزدیک گسل (مؤلفه عمود و موازی) و زلزله دور برای چهار سطح شکل پذیری

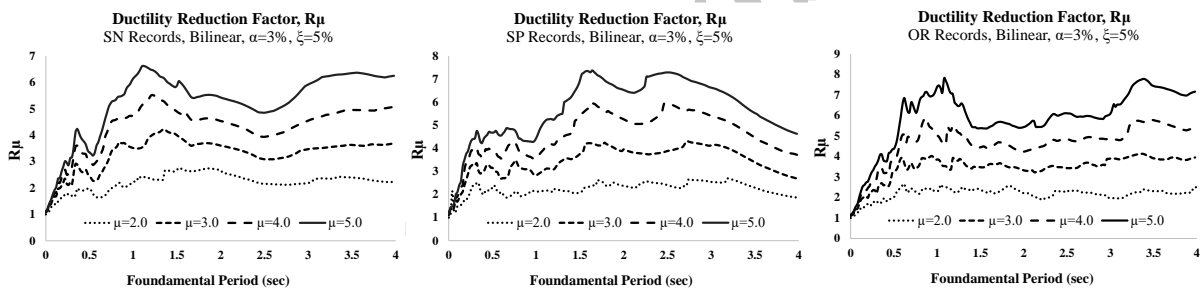


Fig. 2. Ductility reduction factor ( $R_{\mu}$ ) for near-field earthquakes (parallel and normal components) and far-field earthquake for four levels of ductility

شکل (۳) - ضریب کاهش شکل پذیری ( $R_{\mu}$ ) به تفکیک سطوح مختلف شکل پذیری

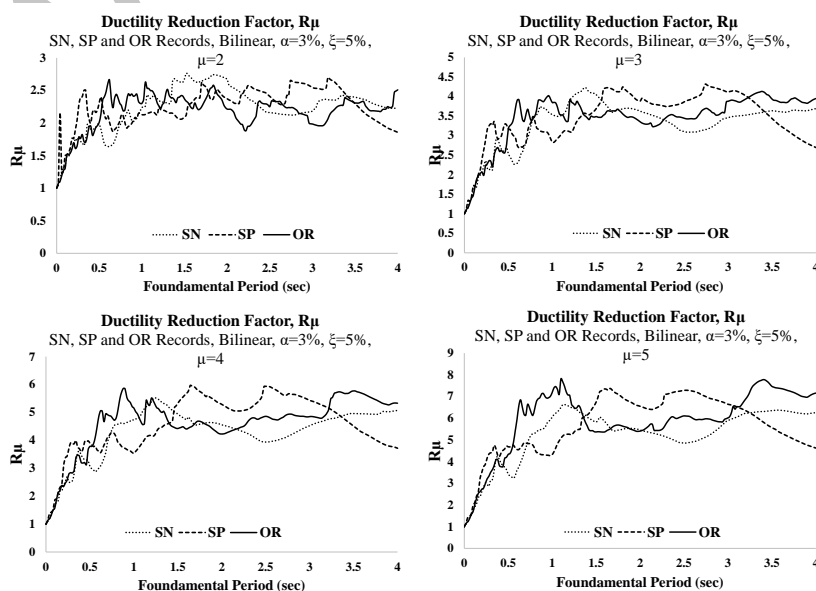


Fig. 3. Ductility reduction factor ( $R_{\mu}$ ) for different levels of ductility

شکل (۴) - نسبت میانگین  $R_{\mu}$  حاصل از SN و SP به مقدار متناظر حاصل از OR،  $\alpha=3\%$ ،  $\xi=5\%$

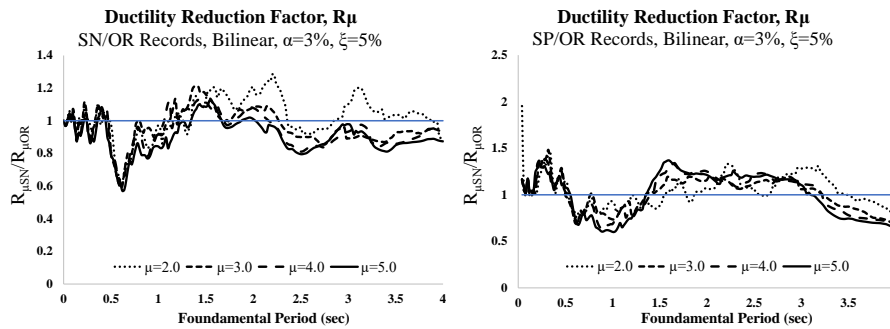


Fig. 4. The ratio of mean  $R_{\mu}$  obtained from SN and SP to corresponding value obtained from OR,  $\alpha=3\%$ ,  $\xi=5\%$

شکل (۵) - تأثیر ضریب میرایی  $\xi$  بر  $R_{\mu}$  میانگین حاصل از رکوردهای SN،  $\alpha=3\%$

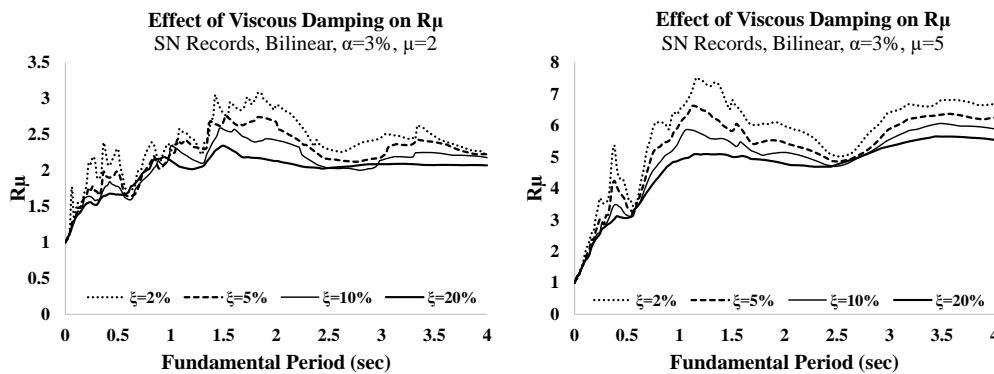


Fig. 5. The effect of damping ratio on  $R_{\mu}$ , mean values of NF-SN,  $\alpha=3\%$

حساسیت این بخش و سایر قسمت‌های مقاله، تنها از میانگین نتایج زلزله حوزه نزدیک، مؤلفه عمود بر گسل یا SN، استفاده شده است. ارزیابی شکل (۵) نشان داد که افزایش  $\xi$  باعث کاهش  $R_{\mu}$  می‌شود. همچنین در پیوندهای کوتاه، کمتر از  $0/6$  ثانیه، تغییرات  $R_{\mu}$  برای سطوح مختلف شکل‌پذیری بسیار مضر بوده و نسبت به تغییرات  $T$  بسیار حساس است. همچنین با افزایش شکل‌پذیری ( $\mu$ )، تغییرات  $R_{\mu}-T$  هموارتر می‌شود. به علاوه با افزایش  $T$  (بیشتر از  $2/7$  ثانیه) از اثر  $\xi$  بر کاهش  $R_{\mu}$  در مقایسه با پیوند کمتر از  $2/7$  ثانیه کم می‌شود. به عبارت دیگر  $T=2/7$ ، نقطه همگرایی مقادیر مختلف  $R_{\mu}$  برای  $\xi$ ‌های مختلف است.

در بخش‌های قبل، ضریب کرنش سخت‌شدگی،  $\alpha$ ، نمودار دو-خطی مصالح، ۳ درصد فرض شد. این مقدار برای مصالح فولادی رایج است. از آنجاکه ممکن است تغییرات  $\alpha$  بر  $R_{\mu}$  تأثیر داشته باشد، در این بخش تأثیر این ضریب بر  $R_{\mu}$  برای چهار مقدار ۰، ۳، ۵ و ۱۰٪ ارزیابی شده است. نتایج حاصل برای دو سطح شکل‌پذیری ۲ و ۵ در (شکل ۶) نمایش داده شده‌اند. بررسی شکل (۶) نشان می‌دهد که برای سطوح شکل‌پذیری کم ( $\mu=2$ )، افزایش  $\alpha$  تأثیری بر  $R_{\mu}$

برای درک بهتر از اختلاف  $R_{\mu}$  رکوردهای مختلف، نسبت مقادیر حاصل از مؤلفه‌های SN و SP به مقدار متناظر حاصل از زلزله OR محاسبه و در شکل (۴) نمایش داده شده است. با نگاه به شکل (۴) مشخص می‌شود که برای زلزله SN، افزایش شکل‌پذیری باعث کاهش نسبت موردنظر می‌شود. از طرفی در بیشتر محدوده پیوند سازه نسبت  $R_{\mu SN}/R_{\mu OR}$  کمتر از یک است؛ بنابراین استفاده از  $R_{\mu OR}$  برای مؤلفه عمود بر گسل زلزله‌های حوزه نزدیک می‌تواند غیر محافظه‌کارانه باشد. درحالی‌که اولاً برای زلزله SP، چنانچه  $T < 1.20$  باشد، افزایش شکل‌پذیری باعث کاهش  $R_{\mu SP}/R_{\mu OR}$  موردنظر می‌شود. در مقابل، برای  $T > 1.20$  این رویه برعکس است. از طرفی برای  $1.20 < T < 3.0$ ، همواره میانگین ضریب  $R_{\mu SP}$  بیشتر از  $R_{\mu OR}$  است. پس در این محدوده استفاده از  $R_{\mu OR}$  برای مؤلفه موازی گسل زلزله‌های حوزه نزدیک می‌تواند محافظه‌کارانه باشد.

از آنجاکه نیروی برش پایه الاستیک و غیرالاستیک به ضریب میرایی وابسته است در این بخش از مقاله حساسیت  $R_{\mu}$  به مقادیر مختلف ضریب میرایی (۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد) بررسی و در شکل (۵) نمایش داده شده است. لازم به گفتن است که در تحلیل

تساوی تغییر مکان معروف است. به منظور بررسی  $C_R$  مربوط به مؤلفه‌های  $SN$  و  $SP$  زلزله‌های نزدیک گسل، تغییرات  $C_R$  در برابر  $T$  در شکل (۷) نمایش داده شده است. بررسی کیفی این شکل نشان می‌دهد که تغییرات  $C_R$  مؤلفه‌های  $SN$  و  $SP$  نیز شبیه زلزله دور یا  $OR$  است با این تفاوت که برای  $SP$ ، چنانچه  $T > 1/5$ ، مقادیر کوچک‌تری برای  $C_R$  نسبت به  $SN$  و  $OR$  محاسبه شد. اگرچه در این محدوده پیرو،  $C_R$  به یک همگرا می‌شود. پس به نظر می‌رسد استفاده از  $C_R$  زلزله‌های  $OR$  برای  $SN$  و  $SP$  محافظه‌کارانه باشد. از طرفی برای  $T < 1/5$ ،  $C_R$  به دست آمده از  $SN$  بیشتر از دو حالت دیگر است. همچنین در این محدوده، افزایش تراز شکل‌پذیری باعث می‌شود  $C_R$  به شکل قابل ملاحظه‌ای برای هر سه حالت زلزله افزایش یابد. از طرفی، افزایش  $\mu$  باعث شد نمودار  $C_R-T$  هموارتر شود.

ندارد. با افزایش  $\alpha$ ،  $R_{\mu}$  نیز افزایش می‌یابد. به علاوه نتایج این بخش نشان داد که برای  $T < 0.6$  و  $T > 3$ ، تغییر  $\alpha$  تأثیری بر  $R_{\mu}$  نخواهد داشت.

۲-۴- نسبت تغییر شکل غیر الاستیک به الاستیک یا ( $C_R$ ) یکی از ضرایب کاربردی که در طراحی بر اساس عملکرد و در محاسبه تغییر مکان هدف (نقطه توقف تحلیل) استفاده می‌شود، نسبت تغییر مکان غیر الاستیک به الاستیک است که در این مقاله با  $C_R$  نام‌گذاری شده است. مطالعات گذشته نشان داد که  $C_R$  در اثر زلزله‌های دور از گسل در برابر تغییرات پیرو، به دو شکل قابل تعریف است. برای پیروهای کوتاه،  $C_R$  به مراتب بزرگ‌تر از یک است. در حالی که با افزایش دوره تناوب، این نسبت به یک همگرا می‌شود؛ بنابراین برای سازه‌های نرم، بیشینه تغییر مکان غیر الاستیک مساوی با تغییر مکان الاستیک است. این موضوع به قضیه

شکل (۶) - تأثیر ضریب کرنش سخت شدگی ( $\alpha$ ) بر  $R_{\mu}$  میانگین حاصل از رکوردهای  $SN$ ،  $\alpha=3\%$

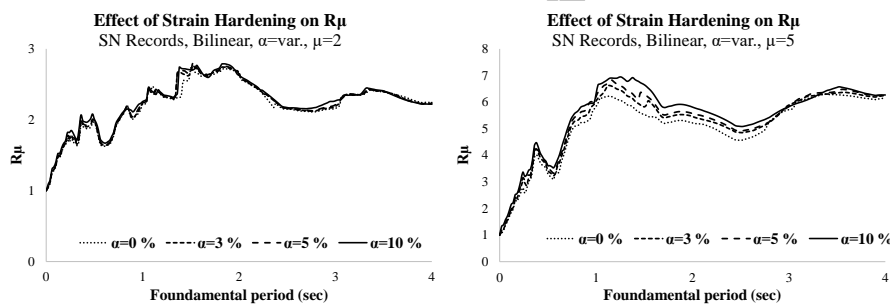


Fig. 6. The effect of strain hardening ratio on  $R_{\mu}$ , mean values of  $NF-SN$ ,  $\xi=5\%$

شکل (۷) - نسبت تغییر شکل غیر الاستیک به الاستیک ( $C_R$ ) به تفکیک سطوح مختلف شکل‌پذیری

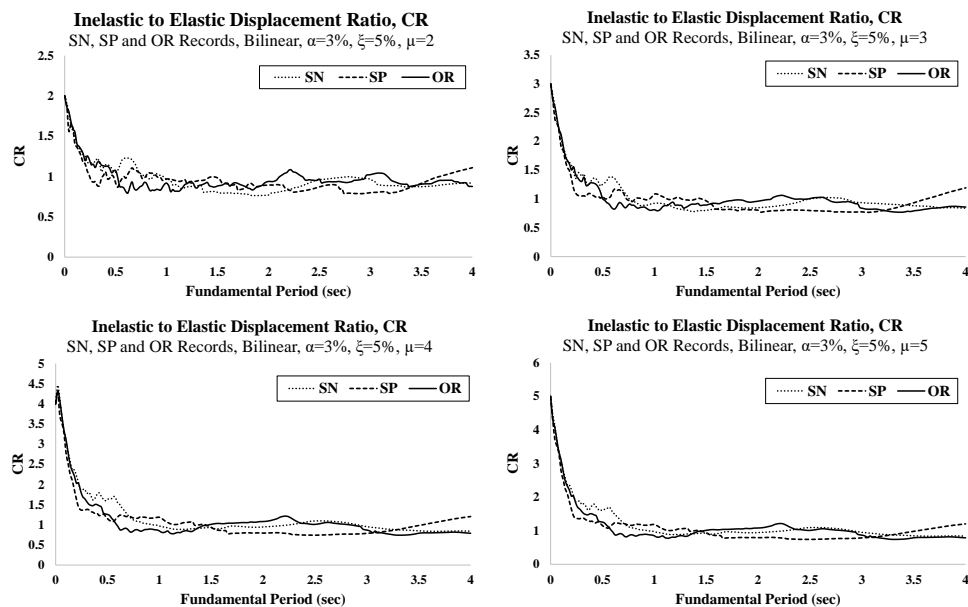


Fig. 7. Inelastic to elastic deformation ratio ( $C_R$ ) for four levels of ductility

شکل (۸) - نسبت میانگین  $C_R$  حاصل از SN و SP به مقدار متناظر حاصل از OR،  $\alpha=3\%$ ،  $\xi=5\%$

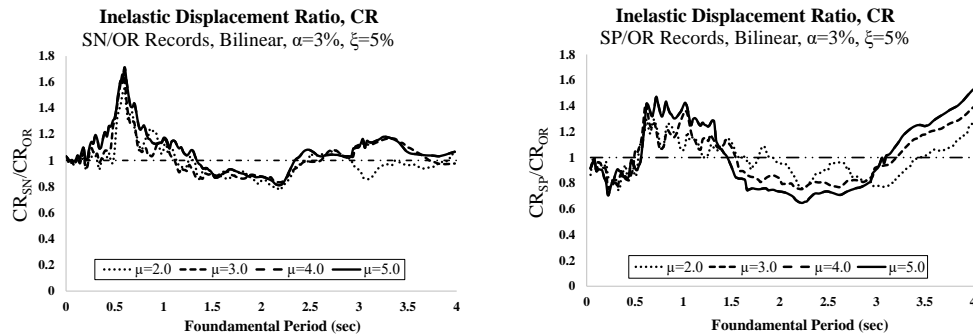


Fig. 8. The mean ratio of CR obtained from SN and SP to the corresponding value of OR,  $\alpha=3\%$ ,  $\xi=5\%$

شکل (۹) - تأثیر ضریب میرایی  $\xi$  بر  $C_R$  میانگین حاصل از رکوردهای SN،  $\alpha=3\%$ ،  $\xi=5\%$

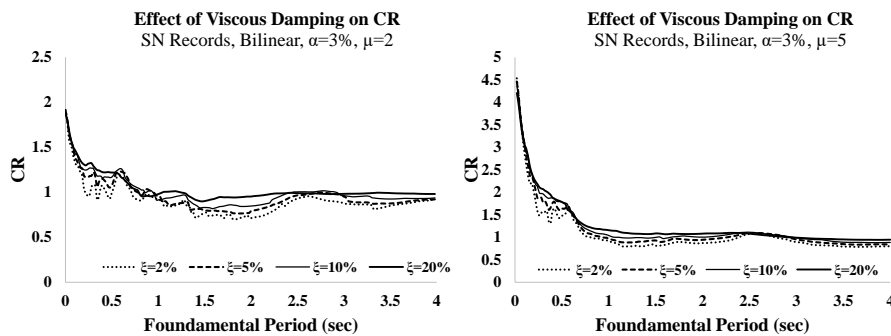


Fig. 9. Effect of damping ratio  $\xi$  on CR, mean values resulted from SN records,  $\alpha=3\%$ ,  $\xi=5\%$

میرایی و کرنش سخت شدگی ( $\xi$  و  $\alpha$ )، مشابه مقادیری است که برای تحلیل حساسیت  $R_{\mu}$  استفاده شد. در این قسمت نیز تنها حساسیت  $C_R$  برای زلزله SN محاسبه شده است. بررسی شکل (۹) نشان می‌دهد که تأثیر میرایی در پریودهای کوتاه ( $T < 0.6$ ) محسوس‌تر است. از طرفی هر چه تراز شکل‌پذیری سازه کوچک‌تر باشد، میرایی تأثیر بیشتری بر  $C_R$  خواهد داشت. به گونه‌ای که با افزایش ضریب میرایی،  $C_R$  متناظر با دوره تناوب ثابت، افزایش می‌یابد. نکته دیگر اینکه هر چه تراز شکل‌پذیری افزایش یابد، ناحیه انتقالی  $C_R$  (مرز بین  $C_R$ های بزرگ و نزدیک به یک) به سمت پریود کوچک‌تری حرکت می‌کند. به عبارت دیگر، نمودار در بازه بزرگ‌تری از  $T$  به سمت یک همگرا شده است. افزایش میرایی سبب شد از درجه مضرس بودن نمودار  $C_R$  کم شود. در ادامه برای بررسی آثار  $\alpha$  بر تغییرات  $C_R$  از شکل (۱۰) استفاده شده است. در این بخش تأثیر این ضریب بر  $C_R$  برای چهار مقدار ۰، ۳، ۵ و ۱۰٪ ارزیابی شده است. ارزیابی شکل (۱۰) نشان می‌دهد که به‌طور کیفی تغییرات  $\alpha$  تأثیر ناچیزی بر  $C_R$  خواهد داشت اگرچه با افزایش  $\mu$  و پریودهای کوتاه، افزایش  $\alpha$  باعث کاهش  $C_R$  شده است.

در شکل (۸) نسبت  $C_R$  حاصل از رکوردهای SN و SP نسبت به OR ترسیم شده است. ارزیابی شکل حاصل نشان می‌دهد با افزایش  $\mu$  نسبت  $C_R/SN/C_R/OR$  افزایش می‌یابد. همچنین برای  $T < 1/5$ ، این نسبت بزرگ‌تر از یک است؛ بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از  $C_R/OR$  به جای استفاده از  $C_R/SN$  به مقادیر غیر محافظه‌کارانه‌ای بیانجامد. از طرفی برای  $1/5 < T < 3$ ، این نسبت کمتر از یک برآورد شد. به علاوه برای  $T > 3$ ، متناظر با سطوح مختلف شکل‌پذیری، نسبت  $C_R/SN/C_R/OR$  به یک همگرا می‌شود. در مقابل بررسی  $C_R/SP/C_R/OR$  نشان داد که برای  $T < 1/5$ ، نسبت مذکور عموماً بزرگ‌تر از یک است. با افزایش شکل‌پذیری برای  $1/5 < T$ ، نسبت موردنظر کاهش یافته به گونه‌ای که برای شکل‌پذیری ۵، به ۰/۷ نزدیک می‌شود. نکته دیگر اینکه نسبت  $C_R/SP/C_R/OR$  برای  $T > 3$ ، رشد قابل‌توجهی داشته در نتیجه در این محدوده از پریود، استفاده از  $C_R$  زلزله دور نمی‌تواند محافظه‌کارانه باشد.

برای بررسی حساسیت  $C_R$  به ضریب میرایی و کرنش سخت‌شدگی، تغییرات  $C_R$  برای دو سطح شکل‌پذیری ۲ و ۵ در شکل (۹ و ۱۰) ترسیم شده است. لازم به گفتن است که مقادیر



مطالعات تکمیلی در FEMA440 نشان داد که برای  $C_1$  می توان از رابطه زیر به جای رابطه ۱ الی ۳ استفاده نمود [20].

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{\alpha T^2} \quad (5)$$

در این رابطه ضریب  $\alpha$  برای خاک نوع B، C و D به ترتیب برابر است با ۱۳۰، ۹۰ و ۶۰. از طرفی برای سازه با زمان تناوب کمتر از ۰/۲ ثانیه این ضریب ۰/۲ و برای سازه با زمان تناوب بزرگتر از ۱ ثانیه، برابر یک است. در ادامه نسبت  $C_R$  حاصل از رکوردهای نزدیک گسل (SN و SP) به  $C_1$  پیشنهادی در FEMA440 محاسبه و در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. با توجه به شکل مذکور مشخص است که برای سطوح شکل پذیری کم (۲ و ۳)، نسبت گفته شده کوچکتر از یک است؛ یعنی استفاده از  $C_1$  برای زلزله های نزدیک برای اطمینان است. این در حالی است که برای زلزله های SN چنانچه  $T < 0.7$ ، برای شکل پذیری ۴ و ۵ ضریب  $CR_{SN}$  به طور متوسط ۴۰ درصد بیشتر از  $C_1$  فیما برآورد شده است. همچنین برای  $T > 0.7$  در SN و  $T > 1.5$  در SP، نسبت گفته شده نزدیک به ۰/۸ محاسبه شد. در این محدوده حساسیت این نسبت به شکل پذیری برای حالت SN بیشتر از SP است؛ بنابراین به نظر می رسد استفاده از  $C_1$  در این ناحیه برای زلزله های نزدیک گسل محافظه کارانه باشد.

### ۳-۴- مقایسه $(C_R)$ با $C_1$ پیشنهادی FEMA440

در روش ضرایب مندرج در FEMA35 و FEMA440، برای محاسبه تغییر مکان هدف از ضرایب اصلاحی استفاده می شود که اثر عوامل مختلفی را در پاسخ SDOF در نظر گرفته و آن را به بیشینه تغییر مکان غیر ارتجاعی بام سازه MDOF تبدیل می کند. این ضریب در فیما، با  $C_1$  معرفی شده است. مطالعات مختلف نشان می دهد که  $C_1$  به دوره تناوب سازه و تقاضای شکل پذیری (ضریب کاهش مقاومت در اثر شکل پذیری) وابسته است. این ضریب برای زلزله های دور از گسل به شکل زیر پیشنهاد شده است [19]:

$$\begin{aligned} T_e > T_0; & \quad C_1 = 1.0 \\ T_e \leq T_0; & \quad C_1 = \frac{1.0 + (R-1)T_0/T_e}{R} \quad (1) \text{ الی (۳)} \\ T_e < 0.1; & \quad C_1 = 1.50 \end{aligned}$$

جایی که  $T_0$  پریود بین ناحیه شتاب ثابت و سرعت ثابت طیف و  $T_e$  پریود مؤثر سازه است. این نقطه در استاندارد ۲۸۰۰ با  $T_s$  نمایش داده شده است. از طرفی ضریب کاهش مقاومت R عبارت است از:

$$R = \frac{S_a/g}{V_y/W} \times \frac{1}{C_1} \quad (4)$$

شکل (۱۰) - تأثیر ضریب کرنش سخت شدگی ( $\alpha$ ) بر  $C_R$ ، میانگین حاصل از رکوردهای SN،  $\alpha=3\%$ ،  $\xi=5\%$

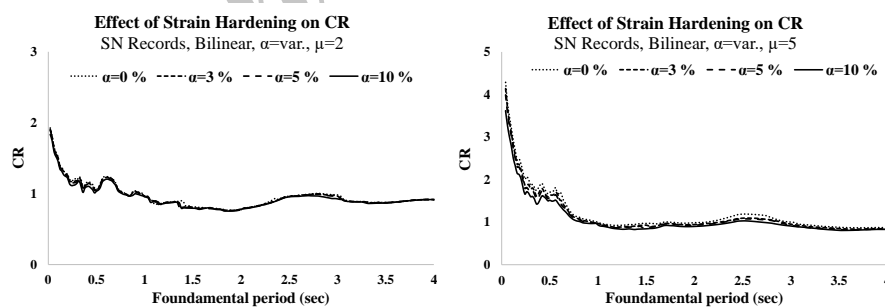


Fig. 10. Effect of strain-hardening factor ( $\alpha$ ) on  $C_R$ , mean values resulted from SN records,  $\alpha = 3\%$ ,  $\xi = 5\%$

شکل (۱۱) - مقایسه میانگین  $C_R$  با  $C_1$  پیشنهادی FEMA440، حاصل از رکوردهای SN و SP،  $\alpha=3\%$ ،  $\xi=5\%$

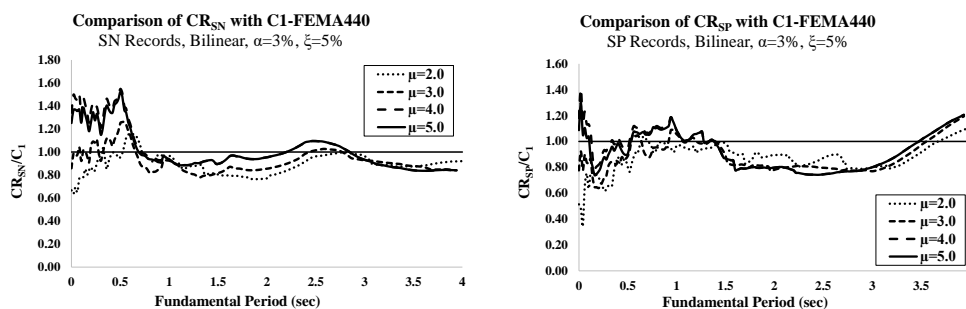


Fig. 11. Comparison of  $C_R$  with  $C_1$  suggested by FEMA440, obtained from SN and SP-records,  $\alpha=3\%$ ,  $\xi=5\%$

شکل (۱۲) - تغییرات میانگین نسبت  $C_d/R_u$  حاصل از رکوردهای مختلف،  $\alpha=3\%$ ،  $\xi=5\%$

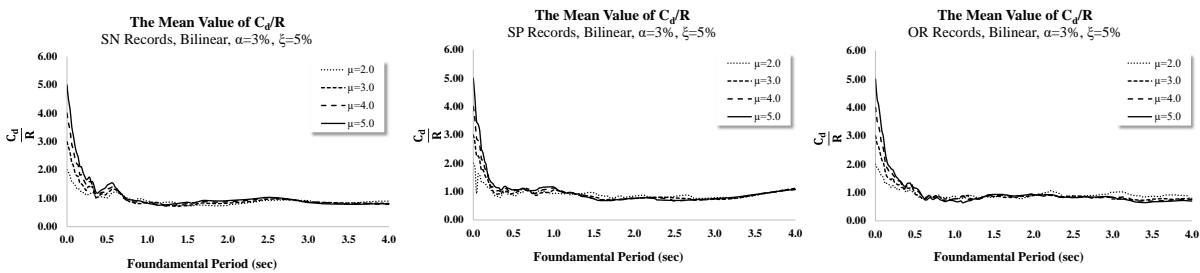


Fig. 12. The ratio of  $C_d/R_u$  obtained from different records,  $\alpha=3\%$ ,  $\xi=5\%$

شکل پذیری وابسته است به گونه‌ای که با افزایش شکل پذیری، این نسبت برای یک پرپود ثابت، افزایش می‌یابد. به علاوه با کاهش پرپود در هر سه شکل،  $C_d/R_u$  به شدت افزایش می‌یابد. از طرفی برای  $T > 1$ ، در هر سه حالت نسبت  $C_d/R_u$  به یک همگرا شده است. نقطه متناظر با همگرایی  $C_d/R_u$  به یک در رکوردهای SP کمتر از SN و OR است.

#### ۵- نتیجه گیری

بررسی تأثیر زلزله‌های حوزه نزدیک و دور بر ضرایب کاهش مقاومت در اثر شکل‌پذیری ( $R_{\mu}$ ) و نسبت تغییر مکان غیر الاستیک به الاستیک ( $C_R$ ) برای محاسبه ضریب رفتار سازه چند درجه آزادی و تخمین دقیق‌تر از تغییر مکان هدف مورد نیاز در فرآیند طراحی بر اساس عملکرد ضروری است. به همین دلیل در این مقاله، دو ضریب  $R_{\mu}$  و  $C_R$  برای ۳ دسته رکورد نزدیک گسل-مؤلفه عمود (NF-SN)، نزدیک گسل-مؤلفه موازی (NF-SP) و دور از گسل (OR) ارزیابی شده است. تأثیر عواملی همچون تقاضای شکل‌پذیری، دوره تناوب، میرایی و ضریب کرنش سخت شدگی نیز بر این دو ضریب تعیین شد. همچنین  $C_R$  به دست آمده با مقدار پیشنهادی فیما ۴۴۰ (C1) مقایسه شد. بررسی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در هر سه دسته زلزله، با افزایش دوره تناوب ( $T$ )، ابتدا  $R_{\mu}$  افزایش یافته و سپس ثابت می‌ماند. برای شکل‌پذیری ( $\mu$ ) کوچک، افزایش  $T$  باعث می‌شود که  $R_{\mu}$  به  $\mu$  همگرا شود. در حوزه نزدیک گسل، مادامی که  $T$  و  $\mu$  افزایش یابد،  $R_{\mu}$  بزرگ‌تر از  $\mu$  برآورد می‌شود. از طرفی مرز ناحیه‌ای که تغییرات  $R_{\mu}$ - $T$  ثابت می‌شود برای زلزله نزدیک نسبت به زلزله دور تفاوت دارد. اگر پرپود سازه خیلی کوچک باشد،  $R_{\mu}$  چندان به تقاضای شکل‌پذیری وابسته نیست. از طرفی برای پرپود بزرگ، بیشترین  $R_{\mu}$  مربوط به مؤلفه SP زلزله نزدیک است. همچنین مطالعات نشان داد استفاده از  $R_{\mu}$  زلزله دور

۴-۴- تأثیر شکل‌پذیری بر ضریب بزرگ‌نمایی تغییر شکل ( $C_d$ ) در بسیاری از کدهای لرزه‌ای مانند استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴، نیروی طراحی از تقسیم نیروی برش الاستیک بر ضریب رفتار سازه، به دست آمده می‌آید. از آنجاکه در روش‌های خطی، تغییر مکان محاسبه شده با مقدار واقعی آن تفاوت دارد، لازم است ضریب بزرگ‌نمایی تغییر مکان برای محاسبه بیشینه تغییر مکان غیرخطی قابل انتظار از سازه تعریف شود. در ویرایش ۴ استاندارد ۲۸۰۰، رابطه زیر برای تعیین بیشینه تغییر مکان جانبی واقعی طرح،  $\Delta_{II}$  پیشنهاد شده است:

$$\Delta_{II} = C_d \Delta_e \quad (6)$$

در رابطه بالا،  $C_d$  ضریب بزرگ‌نمایی تغییر شکل است که وابسته به نوع سیستم مقاوم جانبی تعریف می‌شود. از طرفی  $\Delta_e$  تغییر شکل الاستیک سازه است. لازم به گفتن است با استفاده از نمودار پاسخ برش پایه-تغییر مکان سازه می‌توان بین ضریب  $R_{\mu}$ ،  $\mu$  و  $C_d$  رابطه زیر را تعریف نمود:

$$\frac{C_d}{R_u} = \frac{\mu}{R_{\mu}} \quad (7)$$

در رابطه بالا،  $R_{\mu}$  ضریب رفتار نهایی سازه MDOF است که برابر است با:

$$R_u = R_{\mu} \times R_s \quad (8)$$

در رابطه بالا  $R_s$  ضریب اضافه مقاومت است و طبق تعریف اختلاف تراز نهایی نیرو نسبت به تراز تشکیل اولین مفصل پلاستیک است. برای تعیین وابستگی  $C_d/R_u$  به نوع رکورد، سطح شکل‌پذیری و دوره تناوب، در (شکل ۱۲) تغییرات  $C_d/R_u$  برای سه نوع زلزله پژوهش ارائه شده است. بررسی کیفی شکل (۱۲) نشان می‌دهد که نسبت  $C_d/R_u$  در پرپودهای کوتاه به سطوح

- [4]. Miranda E., 1993 Site-dependent strength reduction factors. *Journal of Structure Engineering*, ASCE, **119**(12), 3503–3519.
- [5]. Tiwari A. K., Gupta V. K., 2000 Scaling of ductility and damage-based strength reduction factors for horizontal motions. *Earthquake Engineering Structure Dynamics*, **29**(7), 969–987.
- [6]. Chakraborti A., Gupta V. K., 2005 Scaling of strength reduction factors for degrading elasto-plastic oscillators. *Earthquake Engineering Structure Dynamics*, **34**(2), 189–206.
- [7]. Jalali R., Trifunac M.D., 2007 Strength-Reduction factors for structures subjected to near-source differential strong ground motions. *ISSET Journal of Earthquake Technology*, **44**(1), 285–304.
- [8]. Miranda E., 1999 Approximate seismic lateral deformation demands in multistory buildings. *Journal of Structure Engineering*, **125**(4), 417–425.
- [9]. Baez, J.L., Miranda E., 2000 Amplification factors to estimate inelastic displacement demands for the design of structures in the near field. In: *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand.
- [10]. Ruiz-Garcia J., Miranda, E., 2003 Inelastic displacement ratios for evaluation of existing structures. *Journal of Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **32**(8), 1237–1258.
- [11]. Chopra A.K., Chintanapakdee C., 2004 Inelastic deformation ratios for design and evaluation of structures: Single-Degree-of-Freedom Bilinear Systems. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **130**(9), 1309–1319.
- [12]. Parsaeeian M., Hoseini Hashemi, B., & Sarvghadmoghadam A. R., 2012 Inelastic Displacement Ratios for Structures on Firm Soil Sites Subjected to Iran Earthquakes Records. *Moddaress Civil Engineering*, **12**(4), 11-25 (In Persian).
- [13]. Ruiz-Garcia J., 2011 Inelastic displacement ratios for seismic assessment of structures subjected to forward-directivity near-fault ground motions. *Journal of Earthquake Engineering*, **15**(3), 449–468.
- [14]. Zhai C.H., Wen W.P., Zhu T.T., Li S., & Xie L.L., 2013 Inelastic displacement ratios for design of structures with constant damage performance. *Engineering Structures*, **52**, 53–63.
- [15]. Wen W. P., Zhai C.H., Li S., Chang Z., & Xie L. L. 2014 Constant damage inelastic displacement ratios for the near-fault pulse-like ground motions. *Engineering Structures*, **59**, 599–607.
- [16]. McKenna F. Fenves G., *Open System for Earthquake Engineering Simulation*. University of California, Berkeley. <http://opensees.berkeley.edu>, 2000.
- [17]. Baker J., 2007 Quantitative classification of near-field ground motion using wavelet analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **97**(5), 1486–1501.
- [18]. Uang C. M., Maarouf A., 1993 Safety and economy consideration of UBC seismic force reduction factors. In: *Proceedings of the 1993 National Conference*, Central United States Earthquake Consortium, 121–130.
- [19]. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings FEMA 356* 2000. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, USA.
- [20]. *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedure FEMA 440* 2005. Federal Emergency Management Agency, Washington DC, USA.

به جای حوزه نزدیک می‌تواند به نتایج غیر محافظه‌کارانه‌ای بیانجامد. بررسی تأثیر میرایی بر  $R_{\mu}$  نشان داد با افزایش میرایی،  $R_{\mu}$  کاهش می‌یابد و تغییرات  $R_{\mu}$  نسبت به دوره تناوب هموارتر می‌شود. مطالعه اثر ضریب کرنش سخت شدگی نشان داد که این ضریب تأثیر زیادی بر  $R_{\mu}$  نخواهد داشت. برای ضریب  $C_R$ ، نتایج نشان داد که برای پریود بزرگ‌تر از ۱ ثانیه،  $C_R$  مؤلفه SP کمتر از دو حالت دیگر است. از طرفی با افزایش پریود،  $C_R$  به یک همگرا می‌شود. در پریودهای کم،  $C_R$  به شدت به  $\mu$  و T وابسته است. استفاده از  $C_R$  رکورد معمولی به جای SN و SP در پریود کمتر از ۱/۵ غیر محافظه‌کارانه است. از طرفی برای پریود بزرگ‌تر از ۳ ثانیه،  $C_R$  مؤلفه SP به مراتب بزرگ‌تر از OR است. از نظر تأثیر میرایی بر  $C_R$  مطالعات نشان داد که در پریودهای کوچک، با کاهش تقاضای شکل‌پذیری، تأثیر میرایی محسوس‌تر است. برای پریود و شکل‌پذیری ثابت، با افزایش میرایی،  $C_R$  افزایش یافته و حساسیت آن به دوره تناوب کاهش می‌یابد. به علاوه ضریب کرنش سخت شدگی نیز بر  $C_R$  بی‌تأثیر است. مقایسه  $C_R$  با  $C_1$  پیشنهادی فیما ۴۴۰ نشان داد استفاده از  $C_1$  برای زلزله‌های نزدیک گسل در سطوح پایین شکل‌پذیری برای اطمینان است. از طرفی در پریودهای کوتاه و تقاضای شکل‌پذیری بزرگ (۴ و ۵) در این پژوهش،  $C_R$  متناظر با مؤلفه SN به‌طور متوسط ۴۰٪ بیشتر از  $C_1$  به دست آمده آمد. در نتیجه استفاده از  $C_1$  فیما ۴۴۰ در این حالت خلاف اطمینان است. ارزیابی نسبت ضریب افزایش تغییر مکان به ضریب رفتار،  $C_d/R_{\mu}$ ، نشان داد برای پریود بزرگ‌تر از ۱ ثانیه، این ضریب به یک همگرا می‌شود. در پریودهای کوتاه،  $C_d/R_{\mu}$  به شدت به T وابسته است. از طرفی در این محدوده، به کارگیری  $C_d/R_{\mu}$  حاصل از زلزله دور از گسل به جای حوزه نزدیک به نتایج غیر محافظه‌کارانه‌ای می‌انجامد. به‌طور نمونه، با افزایش دوره تناوب،  $C_d/R_{\mu}$  مربوط به مؤلفه SN بیشتر می‌شود.

## References

## ۷- مراجع

- [1]. Riddell R., Newmark N. M., 1979 *Statistical analysis of the response of nonlinear systems subjected to earthquakes*. Structural Research Series No. 468, Dept. of Civil Eng. Univ. of Illinois, Urbana, IL, USA.
- [2]. Peng M. H., Elghadamsi F., & Mohraz B. 1988 *A stochastic procedure for nonlinear response spectra*. Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, Japan.
- [3]. Krawinkler H., Nassar A., 1990 *Strength and ductility demands for SDOF and MDOF systems subjected to Whittier narrows earthquake ground motions*. CSMIP-1990, California Dept. of Conservation, Sacramento, CA, USA

# Effect of Near and Far Field Earthquakes on Strength Reduction Factor and Inelastic to Elastic Displacement Ratio: Demand Ductility Concept

Navid Siahpolo<sup>1\*</sup>, Mohsen Gerami<sup>2</sup>, Reza Vahdani<sup>3</sup>

1. Assist. Prof., Civil Engineering Department, ACECR Institute for Higher Education, Khuzestan, Iran
2. Assoc. Prof., Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Iran
3. Assist. Prof., Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Iran

n\_siahpolo@yahoo.com

## Abstract

The experience of previous earthquakes shows that the inelastic response of structure is related to the intensity and content of ground motion. In this case, the evaluation of nonlinear response of structure demonstrates the reduction in the base shear force. This reduction which leads to inelastic base shear is defined by Behavior Factor (strength reduction factor) in seismic codes. One of the important parts in R factor is ductility reduction factor  $R_{\mu}$ . While  $R_{\mu}$  is related to the type of earthquake, it seems that for near fault motions there would be a different value in comparison to ordinary earthquakes. For the near fault earthquakes, due to the direction of fault rupture from the site, the directivity effect becomes an important parameter. Previous researches show that for forward directivity effect, there would be two components for earthquakes. One is normal strike and the other is parallel strike. In this paper, these components are regarded as SN and SP. Also, in the concept of performance-based design, the ratio between inelastic and elastic response of structure is an important index in calculating the target displacement. This ratio is called  $C_R$ , hereafter. It is good to mention that  $C_R$  factor is defined as  $C_1$  coefficient in FEMA440. In previous researches, the evaluation of  $C_R$  for near and far fault motions has less been considered.

To evaluate  $R_{\mu}$  and  $C_R$ , the extended number of SDOF systems (from 0.2 to 4 Sec.) are considered for four levels of target ductility (2, 3, 4 and 5). Accordingly,  $R_{\mu}$  and  $C_R$  are calculated for near field (normal and parallel component) and far fault earthquakes. The normal strike component is traced by a sensitivity analysis, changing the strain hardening ratio and inherent damping. To perform the analysis, the nonlinear time history analysis was selected in Opensees. The steel material was also defined to be bilinear. To set the required ductility with the prescribed target ductility -during trial and error procedure- the yield strength of SDOF was changed, since the target ductility was achieved. To solve the inelastic equation of motion, the Newmark-Beta method was selected. The inelasticity in Opensees was modeled with distributed plasticity using the fiber element. Finally, to calculate  $R_{\mu}$  and  $C_R$  for near and far field motions, approximately 84000 nonlinear time history analyses were carried out. In addition, to study the sensitivity of  $R_{\mu}$  and  $C_R$  to damping and strain hardening ratio for the normal strike earthquake, approximately 22400 nonlinear time history analyses were carried out.

The results show that for all three sets of earthquake, the  $R_{\mu}$  increases up to a specific value and after that, becomes constant while the fundamental period (T) increases. For small values of ductility ( $\mu$ ), increase in T may lead to convergence of  $R_{\mu}$  to target ductility. In the near field, when the values of T and  $\mu$  are increased,  $R_{\mu}$  becomes almost greater than  $\mu$ . However, for small values of T,  $R_{\mu}$  is not dependent on demand  $\mu$ . The study shows that: using far field value of  $R_{\mu}$  for near field motions may lead to a non-conservative value. Furthermore, while T increases, the  $C_R$  value converges to the unit. In the short period,  $C_R$  depends on  $\mu$  and T, severely. Using  $C_R$  of far field against SN component leads to Non-conservative result. For a constant value of  $\mu$  and T, increase in damping may increase  $C_R$ . Using  $C_1$  for near field motions is non-conservative for near field motions. Also, for short periods and high ductility demand,  $C_R$ , corresponding to SN component is about 40% greater than  $C_1$ . Evaluation of the ratio of displacement modification factor to behavior factor shows that the  $C_d/R$  ratio for T -greater than 1 Sec.- converged to the unit. For small period values, this ratio is significantly dependent on the duration. Also, using  $C_d/R$  of far field for near field motions may lead to inaccurate results.

**Keywords:** Near field motions, ductility, nonlinear time history analysis, behavior factor, FEMA440.