

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^{۱*}، محسن گرامی^۲، رضا وهدانی^۳

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 دریافت: [۹۴/۰۶/۲۴]

تاریخ پذیرش: [۹۴/۱۲/۲۰]

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_H) 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 (α) و میرایی بررسی شد. C_R به‌دست‌آمده 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_H 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_H و C_R در برابر α قابل توجه نیست. به علاوه با افزایش ضریب میرایی، نمودارهای R_H 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 اجزای 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 گرفته‌شده 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 دست‌آمده‌اند. 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 هم پایه سازی پریود با پریود پالس غالب از پراکندگی نتایج کم می‌کند. به علاوه تأثیر استفاده از MIV به جای PGV بر محاسبه C_R بیشتر بوده و به کارگیری مدل رفتاری با قابلیت 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 به شدت 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 آثار 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 C_R 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 C_R 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} به شدت 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 به موازات 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 μ 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 C_R 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 C_R 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 C_R 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 C_R ویژه زلزله دارای آثار جهت‌پذیری پیشنهاد نمود [10]. همچنین Wen و همکاران (۲۰۱۴) اثر زلزله نزدیک گسل پالس گونه، دوره تناوب هم‌پایه شده، سرعت پیشینه فزاینده (MIV)، PGV و مدل‌های رفتاری را بر C_R بررسی نمودند. مطالعات نشان داد اثر زلزله‌های نزدیک پالس گونه بر C_R 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 قابل توجه، انرژی زلزله در زمان طولانی‌تری به صورت 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 قابل توجهی انرژی زلزله در یک زمان 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 پرید طولانی و دامنه بزرگ است. در این بین مطالعات مختلف نشان می‌دهد که مؤلفه عمود بر گسل نسبت به مؤلفه به موازات 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_{μ} و C_R 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_{μ} و C_R 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_{μ} و C_R 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_{μ} و C_R وابسته هستند به نوع زلزله، میرایی، شیب ناحیه کرنش سخت شدگی، دوره تناوب و سطح غیرخطی شدن مصالح. در مدل‌های این پژوهش، دوره تناوب الاستیک از ۰/۲ ثانیه تا ۴ ثانیه (با گام زمانی ۰/۰۲ 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 مورد نظر 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 α 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 تاریخیچه زمانی غیرخطی از روش بتای-نیومارک استفاده شده است. در مجموع برای محاسبه دو فاکتور R_{μ} و C_R در اثر زلزله‌های دور و نزدیک به‌طور متوسط ۸۴۰۰۰ تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی انجام شده است. برای مطالعه تحلیل حساسیت فاکتورهای R_{μ} و C_R در اثر زلزله نزدیک گسل-مؤلفه عمود بر گسل نیز به‌طور متوسط ۲۲۴۰۰ تحلیل تاریخیچه 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 _p	Preferred Vs30 (m/s)
(a) Ordinary Recordings (OR)								
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
(b) Near Fault Recordings (Strike-Normal, SN and Parallel, SP)								
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)

شکل (۱) - فرآیند تحلیل در محاسبه ضرایب (R_{μ}) و (C_R)

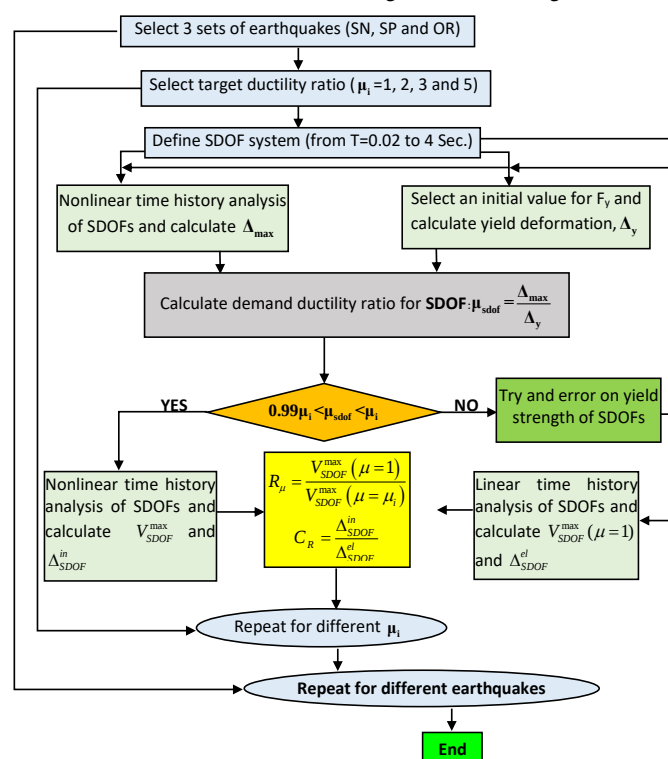


Fig. 1. The analysis process in calculating factors (R_{μ}) and (C_R).

۴- بحث و بررسی نتایج

۴-۱- ضریب کاهش شکل‌پذیری (R_{μ})

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

ضریب رفتار محاسبه شود؛ بنابراین محاسبه ضریب R_{μ} از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این قسمت از مقاله R_{μ} 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_{μ} برای سه دسته ۷ تایی رکورد در شکل (۲) نمایش داده شده‌اند.

بر اساس شکل (۲) برای هر سه نوع شتاب‌نگاشت، با افزایش دوره تناوب، R_{μ} ابتدا با شیب تند افزایش یافته و سپس ثابت باقی می‌ماند. از طرفی مادامی‌که پریود سازه کوتاه باشد، R_{μ} برای سطوح مختلف شکل‌پذیری نزدیک به هم است. به عبارتی، در این محدوده تغییرات R_{μ} در برابر T کم است. همچنین در محدوده پریود بلند، برای پریود ثابت، با افزایش ضریب شکل‌پذیری، R_{μ} افزایش می‌یابد. از طرفی برای شکل‌پذیری ۲، برای هر سه حالت رکورد، با افزایش دوره تناوب R_{μ} به ضریب شکل‌پذیری (μ) همگرا می‌شود. این موضوع برای زلزله‌های معمولی پیشتر به وسیله پژوهشگران مختلف اثبات شده است. نتایج حاصل در حوزه مدل‌ها و فرضیه‌های این پژوهش نشان داد که روند تغییرات R_{μ} در برابر T برای زلزله‌های حوزه نزدیک نیز از همین رویه تبعیت می‌کند. به علاوه، با افزایش هم‌زمان T و μ مقادیر بزرگ‌تری از R_{μ} در مقایسه با μ به دست می‌آید. در پایان بررسی (شکل ۲) نشان داد که ناحیه انتقالی (مرز بین ناحیه افزایش R_{μ} و قسمت ثابت آن) برای زلزله‌های معمولی نزدیک ۰/۵

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_{μ} در برابر T برای سطوح مختلف شکل‌پذیری، میانگین نتایج حاصل به تفکیک برای هر سه رکورد در شکل (۴) نمایش داده شده است. به استناد شکل (۳)، چنانچه ضریب شکل‌پذیری یا μ کوچک باشد (۲ و ۳)، نمودار R_{μ} - T مضرس است. با افزایش μ نمودار هموارتر می‌شود. به عبارت دیگر برای شکل‌پذیری کم، حساسیت R_{μ} در برابر تغییرات دوره تناوب قابل‌توجه‌تر است. همچنین تا دوره تناوب ۰/۵ ثانیه، R_{μ} زلزله‌های مختلف نزدیک به هم برآورد شده است. با افزایش دوره تناوب تا ۱/۲ ثانیه، R_{μ} زلزله دور (OR) بیشتر از دو مؤلفه نزدیک گسل است. در این محدوده کمترین R_{μ} مربوط به مؤلفه موازی گسل زلزله حوزه نزدیک است. برای سازه با پریود بزرگ‌تر از ۱/۵ ثانیه، بیشترین R_{μ} مربوط به NF-SP است. در این محدوده، R_{μ} زلزله‌های NF- و NF-SP نزدیک به هم برآورد شده است.

شکل (۲) - ضریب کاهش شکل‌پذیری (R_{μ}) برای زلزله‌های نزدیک گسل (مؤلفه عمود و موازی) و زلزله دور برای چهار سطح شکل‌پذیری

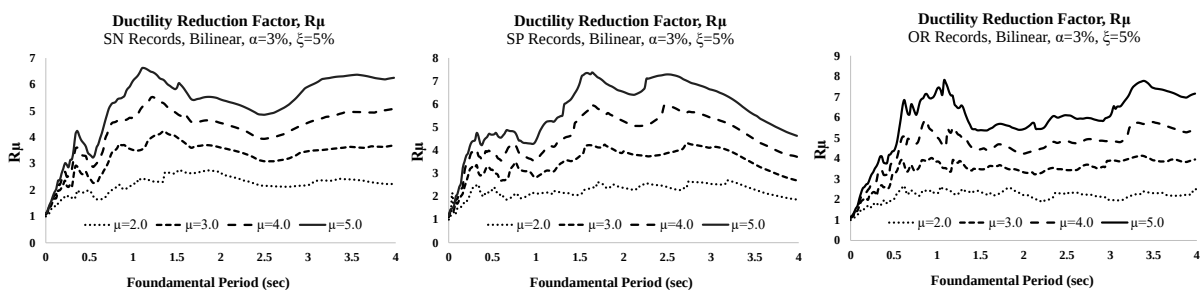


Fig. 2. Ductility reduction factor (R_{μ}) for near-field earthquakes (parallel and normal components) and far-field earthquake for four levels of ductility

شکل (۳) - ضریب کاهش شکل‌پذیری (R_{μ}) به تفکیک سطوح مختلف شکل‌پذیری

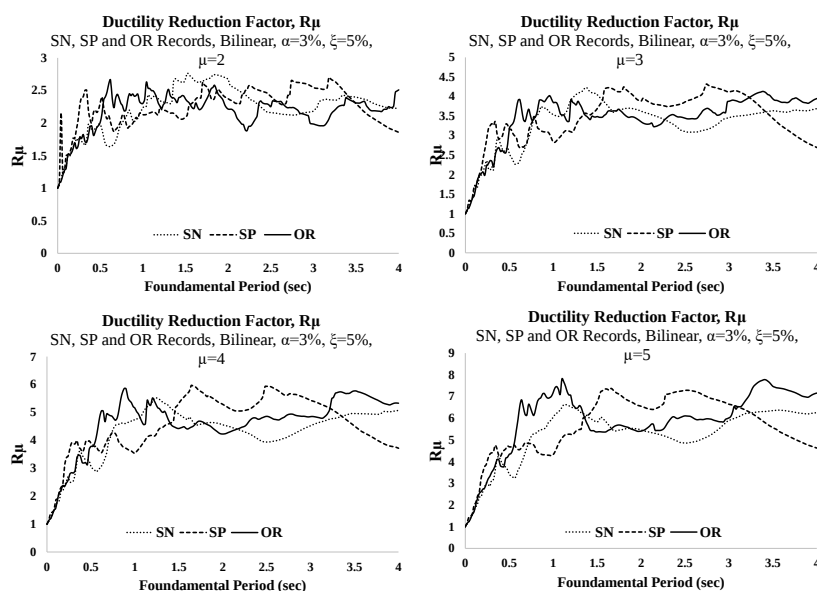


Fig. 3. Ductility reduction factor (R_{μ}) for different levels of ductility

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

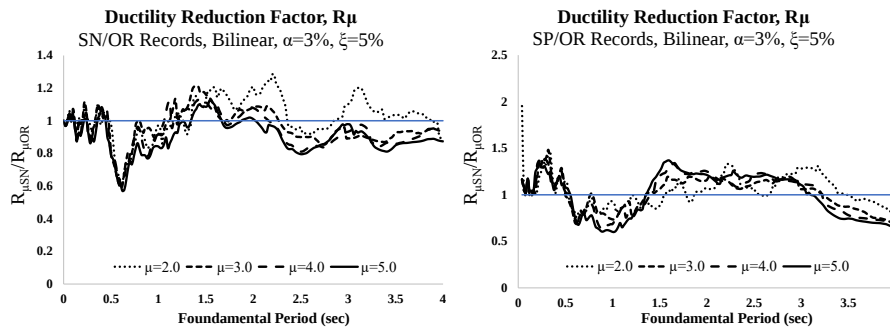


Fig. 4. The ratio of mean R_{μ} obtained from SN and SP to corresponding value obtained from OR, $\alpha=3\%$, $\xi=5\%$

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

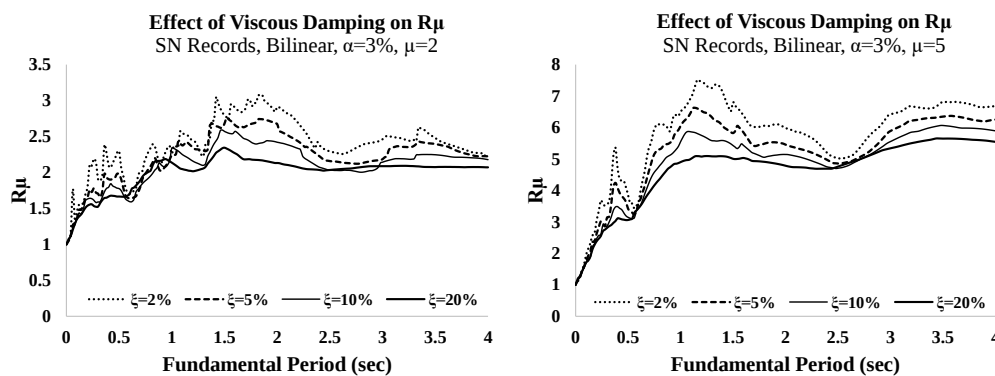


Fig. 5. The effect of damping ratio on R_{μ} , mean values of NF-SN, $\alpha=3\%$

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 ξ باعث کاهش R_{μ} می‌شود. همچنین در پریودهای کوتاه، کمتر از 0.6 ثانیه، تغییرات R_{μ} برای سطوح مختلف شکل‌پذیری بسیار مضر بوده و نسبت به تغییرات T بسیار حساس است. همچنین با افزایش شکل‌پذیری (μ)، تغییرات $R_{\mu}-T$ هموارتر می‌شود. به علاوه با افزایش T (بیشتر از $2/7$ ثانیه) از اثر ξ بر کاهش R_{μ} در مقایسه با پریود کمتر از $2/7$ ثانیه کم می‌شود. به عبارت دیگر $T=2/7$ ، نقطه همگرایی مقادیر مختلف R_{μ} برای ξ های مختلف است.

در بخش‌های قبل، ضریب کرنش سخت شدگی، α ، نمودار دو-خطی مصالح، ۳ درصد فرض شد. این مقدار برای مصالح فولادی رایج است. از آنجاکه ممکن است تغییرات α بر R_{μ} تأثیر داشته باشد، در این بخش تأثیر این ضریب بر R_{μ} 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 α تأثیری بر R_{μ}

برای درک بهتر از اختلاف R_{μ} 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 پریود 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_{μ} 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 CR 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 μ باعث شد نمودار C_R -T هموارتر شود.

ندارد. با افزایش α ، R_{μ} نیز افزایش می‌یابد. به علاوه نتایج این بخش نشان داد که برای $T < 0.6$ و $T > 3$ ، تغییر α تأثیری بر R_{μ} 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 پیوندهای 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 (α) بر R_{μ} میانگین حاصل از رکوردهای SN، $\alpha=3\%$

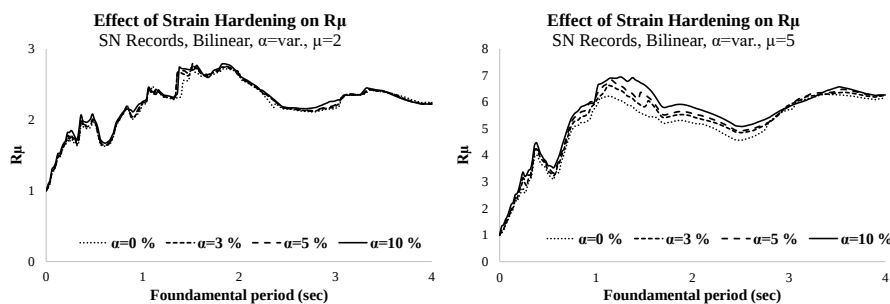


Fig. 6. The effect of strain hardening ratio on R_{μ} , mean values of NF-SN, $\xi=5\%$

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

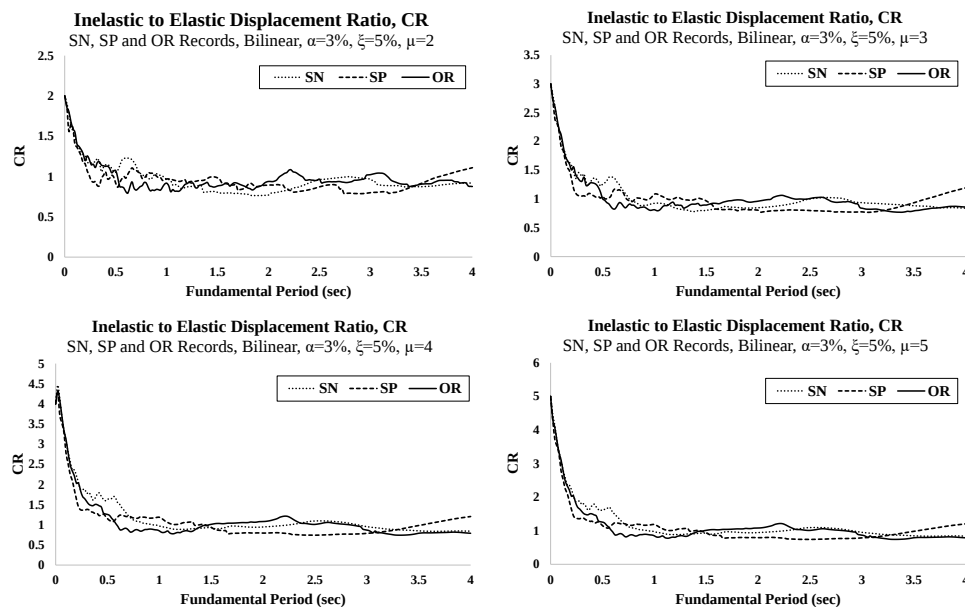


Fig. 7. Inelastic to elastic deformation ratio (C_R) for four levels of ductility

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

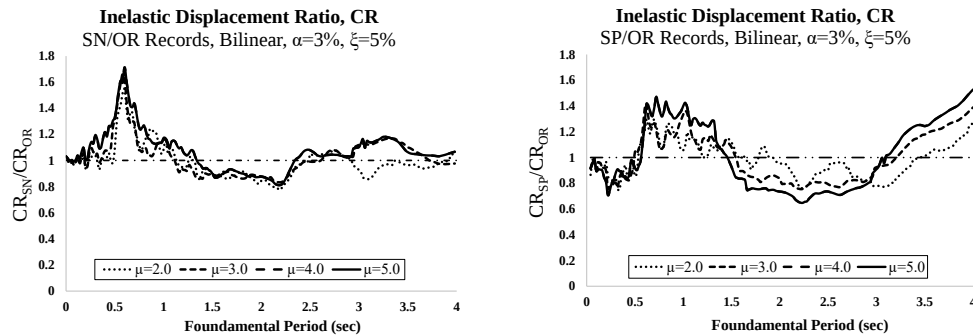


Fig. 8. The mean ratio of CR obtained from SN and SP to the corresponding value of OR, $\alpha=3\%$, $\xi=5\%$

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

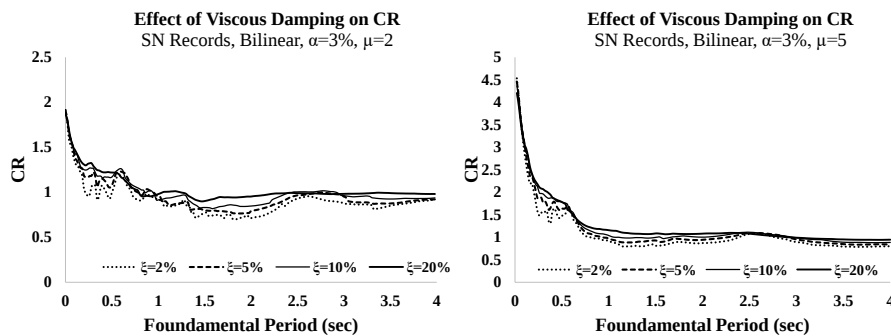


Fig. 9. Effect of damping ratio ξ on CR, mean values resulted from SN records, $\alpha=3\%$, $\xi=5\%$

میرایی و کرنش سخت شدگی (ξ و α)، مشابه مقادیری است که برای تحلیل حساسیت R_μ 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 α 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 به طور کیفی تغییرات α تأثیر ناچیزی بر C_R خواهد داشت اگرچه با افزایش μ و پریودهای کوتاه، افزایش α 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 μ 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 $T < 1/5$ ، 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 α 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 (α) بر C_R ، میانگین حاصل از رکوردهای SN، $\alpha=3\%$ ، $\xi=5\%$

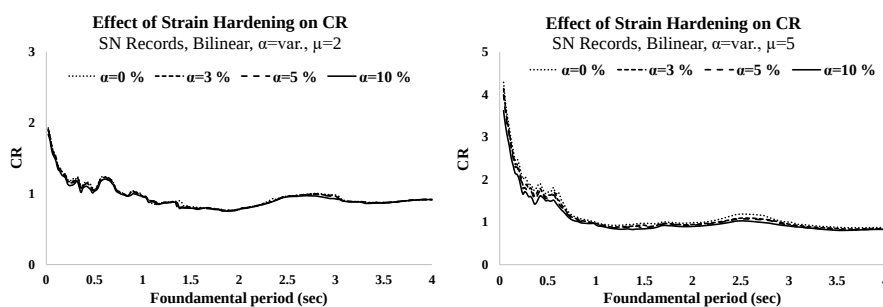


Fig. 10. Effect of strain-hardening factor (α) on C_R , mean values resulted from SN records, $\alpha=3\%$, $\xi=5\%$

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

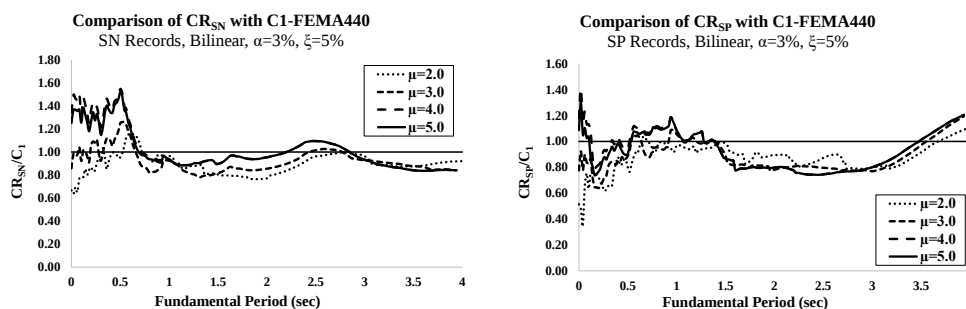


Fig. 11. Comparison of C_R with C_1 suggested by FEMA440, obtained from SN and SP-records, $\alpha=3\%$, $\xi=5\%$

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

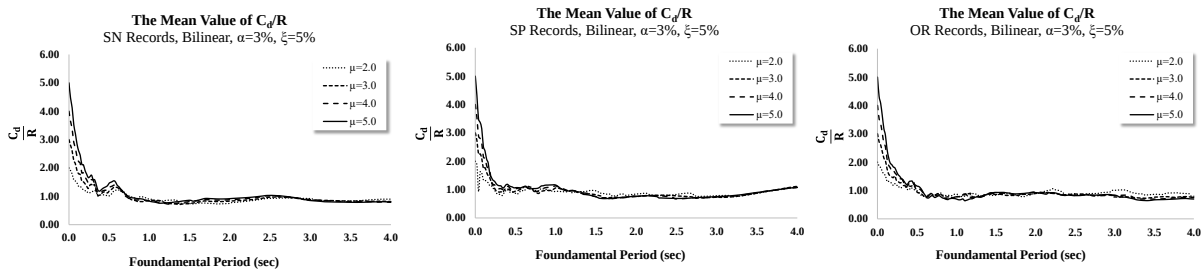


Fig. 12. The ratio of C_d/R_u obtained from different records, $\alpha=3\%$, $\xi=5\%$

شکل پذیری وابسته است به گونه‌ای که با افزایش شکل پذیری، این نسبت برای یک پریود ثابت، افزایش می‌یابد. به علاوه با کاهش پریود 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 شکل پذیری (R_{μ}) و نسبت تغییر مکان غیر الاستیک به الاستیک (GR) 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_{μ} 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 شکل پذیری، 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)، R_{μ} ابتدا افزایش یافته و سپس ثابت می‌ماند. برای شکل پذیری (μ) کوچک، افزایش T باعث می‌شود که R_{μ} به μ همگرا شود. در حوزه نزدیک گسل، مادامی که T و μ افزایش یابد، R_{μ} بزرگ‌تر از μ برآورد می‌شود. از طرفی مرز ناحیه‌ای که تغییرات R_{μ} - T ثابت می‌شود برای زلزله نزدیک نسبت به زلزله دور تفاوت دارد. اگر پریود سازه خیلی کوچک باشد، R_{μ} چندان به تقاضای شکل پذیری وابسته نیست. از طرفی برای پریود بزرگ، بیشترین R_{μ} مربوط به مؤلفه SP زلزله نزدیک است. همچنین مطالعات نشان داد استفاده از R_{μ} زلزله دور

۴-۴- تأثیر شکل پذیری 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، R ، 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، Δ_u ، پیشنهاد شده است:

$$\Delta_u = C_d \Delta_e \quad (6)$$

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

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

در رابطه بالا، R_u 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 شکل پذیری 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 پریودهای 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. *ISCT 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.I., 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]. Parsaeian M., Hoseini Hashemi, B., & Sarvaghadmoghadam 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 می تواند به نتایج غیر محافظه کارانه ای بیانجامد. بررسی تأثیر میرایی بر R_{μ} نشان داد با افزایش میرایی، R_{μ} کاهش می یابد و تغییرات R_{μ} نسبت به دوره تناوب هموارتر می شود. مطالعه اثر ضریب کرنش سخت شدگی نشان داد که این ضریب تأثیر زیادی بر R_{μ} 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 می شود. در پریودهای کم، C_R به شدت به μ و T وابسته است. استفاده از C_R رکورد معمولی به جای SN و SP در پریود کمتر از ۱/۵ غیر محافظه کارانه 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 شکل پذیری، تأثیر میرایی محسوس تر است. برای پریود و شکل پذیری ثابت، با افزایش میرایی، C_R افزایش یافته و حساسیت آن به دوره تناوب کاهش می یابد. به علاوه ضریب کرنش سخت شدگی نیز بر C_R بی تأثیر است. مقایسه C_R با C_1 پیشنهادی فیما ۴۴۰ نشان داد استفاده از C_1 برای زلزله های نزدیک گسل در سطوح پایین شکل پذیری برای اطمینان است. از طرفی در پریودهای کوتاه و تقاضای شکل پذیری بزرگ (۴ و ۵ در این پژوهش)، C_R متناظر با مؤلفه SN به طور 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_{μ} نشان داد برای پریود بزرگتر از ۱ ثانیه، این ضریب به یک همگرا می شود. در پریودهای کوتاه، C_d/R_{μ} به شدت به T وابسته است. از طرفی در این محدوده، به کارگیری C_d/R_{μ} حاصل از زلزله دور از گسل به جای حوزه نزدیک به نتایج غیر محافظه کارانه ای می انجامد. به طور نمونه، با افزایش دوره تناوب، C_d/R_{μ} مربوط به مؤلفه SN بیشتر می شود.

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 narrow 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^{1*}, Mohsen Gerami², Reza Vahdani³

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_μ . While R_μ 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_μ 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_μ 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_μ 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_μ 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_μ increases up to a specific value and after that, becomes constant while the fundamental period (T) increases. For small values of ductility (μ), increase in T may lead to convergence of R_μ to target ductility. In the near field, when the values of T and μ are increased, R_μ becomes almost greater than μ . However, for small values of T, R_μ is not dependent on demand μ . The study shows that: using far field value of R_μ 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 μ and T, severely. Using C_R of far field against SN component leads to Non-conservative result. For a constant value of μ 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.