

در باب تاثیر زلزله نزدیک و دور از گسل بر ضریب کاهش مقاومت و نسبت تغییر شکل غیر ارتجاعی به ارتجاعی با رویکرد تقاضای شکل‌پذیری

نوید سیاه پلو

دانشجوی دکتری مهندسی زلزله، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

n_siahpolo@yahoo.com

محسن گرامی

دانشیار گروه مهندسی زلزله، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

mgerami@semnan.ac.ir

رضا وهدانی

استادیار گروه مهندسی زلزله، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

reza.vahdani2001@gmail.com

کلید واژه‌ها: ضریب کاهش مقاومت، تغییر شکل غیر ارتجاعی، زلزله نزدیک و دور

چکیده

در اکثر کدهای لرزه ای بجای تحلیل غیرخطی سازه، از تحلیل ارتجاعی استفاده شده و اثرات غیرخطی شدن در ضریب رفتار وارد می‌گردد. ضریب رفتار متاثر از عوامل مختلفی همچون، ضریب کاهش مقاومت در اثر شکل‌پذیری (R_{μ})، ضریب اضافه مقاومت، میرایی، دوره تناوب و نوع زلزله می‌باشد. در این بین اهمیت R_{μ} بیشتر از سایر عوامل است. یک دیگر از ویژگی‌های غیرخطی که بکمک نتیجه تحلیل ارتجاعی بدست می‌آید نسبت تغییر شکل غیر الاستیک به الاستیک (CR) می‌باشد که بطور نمونه در فیما ۴۴۰ با C1 معرفی شده است. از آنجاکه دو فاکتور R_{μ} و CR متاثر نوع زلزله است، بهمین دلیل در این پژوهش دو ضریب مذکور برای مولفه‌های موازی و عمود بر گسل زلزله نزدیک و دور از گسل محاسبه شده‌اند. همچنین حساسیت این دو پارامتر به ضریب کرنش سخت‌شدگی و میرایی بررسی گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که R_{μ} زلزله نزدیک می‌تواند با مقدار متناظر حاصل از زلزله دور تفاوت داشته باشد. همچنین CR چندان به نوع رکورد وابسته نبوده و با افزایش پریود به یک همگرا می‌شود. حساسیت R_{μ} و CR در برابر قابل توجه نیست. بعلاوه با افزایش ضریب میرایی، نمودارهای R_{μ} و CR از حالت مضرس خارج شده و هموارتر می‌گردد. در نهایت استفاده از C1 متناسب با نوع رکورد و دوره تناوب سازه می‌تواند محافظه کارانه یا غیر محافظه کارانه باشد.

مقدمه

تجربه زمین لرزه‌های 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. علی‌الرغم اینکه در تمامی کدهای لرزه‌ای، ضریب رفتار پیشنهادی بر مبنای مطالعات تجربی محاسبه شده است، اما تلاش‌های گسترده‌ای نیز برای محاسبه ضریب رفتار بکمک روابط تئوری صورت گرفته است. ضریب رفتار بر مبنای مطالعات تحلیلی در دو رده ضریب رفتار نیاز و ظرفیت تقسیم‌بندی می‌گردد. ضریب رفتار نیاز غالباً به کمک نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی محاسبه می‌گردد. این ضریب در حقیقت نشان‌دهنده نیاز نیروی غیرالاستیک وارد بر سازه در اثر زلزله می‌باشد. از آنجاکه نتایج ضریب رفتار نیاز به شدت وابسته است به محتوا و نوع زلزله انتخابی، بنظر می‌رسد برای رکوردهای مختلف می‌تواند به نتایج مختلفی بیانجامد. بهمین دلیل به نظر می‌رسد که ضریب رفتار نیاز در سازه‌های تک‌درجه (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 اثرات جهت‌پذیری پیشرونده از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین مولفه عمود بر گسل نسبت به مولفه موازی از اثرات تخریبی بیشتری برخوردار است. بنابراین در این مقاله ضریب کاهش مقاومت بدلیل اثرات شکل‌پذیری در سیستم SDOF محاسبه می‌گردد. این ضریب در اکثر ادبیات فنی با R_{μ} معرفی شده است. از آنجا که این



ضریب به نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی و نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی و بدنبال آن به نوع زلزله انتخابی وابسته است. برای محاسبه R_{μ} از رکوردهای دور و نزدیک گسل استفاده شده است. بدین ترتیب می‌توان مقایسه‌ای بین R_{μ} زلزله دور و نزدیک گسل (دو مولفه موازی و عمود بر گسل) انجام داد. در ادامه با انجام تحلیل حساسیت بر R_{μ} ، اثر عوامل مختلفی همچون شیب ناحیه کرنش‌سخت‌شدگی، میرایی و نسبت پرپود غالب پالس بر پرپود اصلی سازه بررسی خواهد شد. یکی دیگر از ضرایبی که در تحلیل سیستم SDOF مد نظر قرار گرفته است، نسبت بیشینه تغییرمکان غیر الاستیک به الاستیک سیستم SDOF است که در این تحقیق با CR نمایش داده می‌شود. این ضریب در دستوراعمل FEMA440 با C1 معرفی شده است. بدین منظور طیف گسترده‌ای از سازه‌های تک درجه آزاد (از پرپود ۰/۲ تا ۴ ثانیه) برای چهار سطح شکل‌پذیری (۲، ۳، ۴ و ۵) مد نظر گرفته شده‌اند. تامین شکل‌پذیری هدف، بکمک سعی و خطا، مقاومت تسلیم سازه SDOF بنحوی تغییر داده شده است برای یک زلزله مشخص، نیاز شکل‌پذیری با شکل‌پذیری هدف یکی گردد. بدیهی است که منظور از شکل‌پذیری واحد، تضمین بقای سازه در حوزه الاستیک است. از طرفی کلیه مدل‌ها بصورتیک سازه تک‌درجه‌آزادی (SDOF) مدلسازی شده‌اند. در این سازه جرم واحد انتخاب شده و سختی المان بنحوی تنظیم شده است تا دوره تناوب مورد نظر تامین گردد. در این المان میبایست مقادیر سختی اولیه، سختی فراتسلیم و نوع مصالح تعریف گردد. برای تعریف سختی پساتسلیم از شیب ۳٪ برای ناحیه کرنش-سخت‌شدگی (۳٪) استفاده شده است. البته در بخش تحلیل حساسیت برای 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. از طرفی اثرات غیر-خطی شدن نیز با مدل-سازی رفتاری فیبر تعریف شده که از قابلیت‌های نرم‌افزار اپنسیس در مدلسازی‌های عددی است.

مروری بر ادبیات فنی

تا بحال مطالعات بسیار گسترده‌ای در خصوص محاسبه R_{μ} و CR و تاثیر عوامل مختلف بر آن انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آخرین نتایج بدست آمده مرتبط با موضوع این مقاله اشاره شده است. Miranda و Ruiz-Garcia (۲۰۰۳) نشان دادند اگر نسبت تغییرمکان ارتجاعی به تغییرمکان تسلیم سازه کمتر از ۴ باشد، نسبت بیشینه تغییرمکان غیر ارتجاعی به مقدار ارتجاعی متناظر با آن چندان به طبقه‌بندی ساختگاه، بزرگای زلزله و طول گسلش وابسته نیست. Chopra و Chakraborti (۲۰۰۵) از روشی مشابه استفاده نموده و نشان دادند که مشخصات کاهش و زوال سختی و مقاومت تنها برای نیازهای شکل‌پذیری بزرگ دارای اهمیت است. همچنین با مطالعه آماری R_{μ} نتیجه گرفتند که این فاکتور به بزرگا، پرپود غالب زلزله، مدت زمان تداوم زلزله و شرایط ساختگاه وابسته است. Chopra و Chintanapakdee (۲۰۰۴) در مطالعه خود ضریب CR را برای سطوح مختلف شکل‌پذیری محاسبه نمودند. نتایج در این بخش نشان داد نسبت تغییرشکل غیر ارتجاعی به ارتجاعی وابسته است به بزرگای گشتاوری زلزله، فاصله تا ایستگاه ثبت رکورد و شرایط ساختگاه رکوردهای دور و نزدیک گسل. Karmakar و Gupta (۲۰۰۶) ضمن مطالعه R_{μ} با اثر عواملی همچون بزرگا، زمان تداوم، شرایط ساختگاه، فاصله تا سایت نتیجه گرفتند که زمان تداوم زلزله تاثیر ناچیزی بر R_{μ} دارد. از طرفی بیشترین تاثیر مربوط به بزرگای زلزله است. Jalali و Trifunac (۲۰۰۸) نشان دادند که R_{μ} به شدت به بزرگای زلزله وابسته است. همچنین استفاده از منحنی‌های طراحی کلاسیک موجود برای R_{μ} برای حرکت‌های پالسی شکل عمود بر گسل مقادیر محافظه کارانه‌ای را نتیجه می‌دهد در حالی که برای مولفه به موازات گسل، قوانین طراحی رایج غیر محافظه کارانه است. ایشان همچنین پیشنهاد نمودند که برای تمامی مولفه‌های حرکت زمین در حالت نزدیک گسل، R_{μ} می‌بایست ثابت و برابر μ در نظر گرفته شود. این رابطه برای پرپودهای بلند قابل استفاده است (پرپود بیشتر از ۱ ثانیه) در حالی که برای پرپودهای کمتر از ۱ ثانیه، این ضریب می‌بایست به طور متوسط ۳۰ تا ۴۰٪ کاهش یابد (jalali و Trifunac (۲۰۰۷)). در مطالعه پارساییان و همکاران بر روی نسبت بیشینه تغییرمکان غیر الاستیک به الاستیک سازه‌های تک‌درجه آزادی مستقر بر خاک یک، دو و سه استاندارد ۲۰۰۸ از رکوردهای زلزله ایران (۲۰۴ شتاب نگاشت بین سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۷ مستخرج از دستگاه SSA2) استفاده گردید و ضریب CR که معرف نسبت تغییرمکان غیرالاستیک به الاستیک متناظر با ضریب کاهش مقاومت R است، ارائه شد. ایشان ضمن بررسی اثر عواملی همچون بزرگای گشتاوری، فاصله تا کانون زلزله و جنس خاک، رابطه CR زلزله‌های ایران را با آنچه که در FEMA440 پیشنهاد شده است مقایسه نمودند. این مقایسه نشان داد که برای زمان تناوب بزرگتر از ۱ ثانیه، نسبت مذکور برابر یک بدست آمد که نشان می‌دهد C1 و CR با هم یکی می‌باشند. برای زمان تناوب کمتر از یک ضریب پیشنهادی FEMA440 برای زلزله‌های ایران نتایج محافظه کارانه‌تری را ارائه می‌کند که با کاهش زمان تناوب این اختلاف بیشتر می‌گردد.

معرفی زلزله های دور و نزدیک گسل پژوهش حاضر

یکی از موضوعاتی که در چند سال اخیر بدان 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. اکثر مطالعات پیشین بر زلزله‌های دور از گسل تمرکز داشته‌اند. یک مفهوم جدی در زلزله نزدیک گسل، ناحیه دارای اثرات 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 موج برشی است. در چنین وضعیتی نگاشت سرعت و برخی موارد شتاب نگاشت دارای یک پالس مشهود با پرپود طولانی و دامنه بزرگ است. در این بین مطالعات مختلف نشان می‌دهد که مولفه عمود بر گسل نسبت به مولفه به موازات



گسل از قابلیت تخریب بیشتری برخوردار است. از آنجا که در مطالعات پیشین ضرایب کاهش نیرو در اثر شکل‌پذیری، و نسبت تغییرشکل غیر الاستیک به الاستیک، یا برای زلزله‌های دور و یا نزدیک گسل به تفکیک محاسبه شده‌اند، در این مطالعه تلاش شده است تا اثرات این نوع زلزله هم‌زمان در نظر گرفته شوند. از طرفی برای نخستین موضوع درجه اهمیت مولفه عمود (SN) و موازی (SP) گسل برای این ضرایب بررسی شده است. بدین منظور تعداد ۲۱ شتاب نگاشت در سه دسته ۷ تایی که معرف زلزله‌های دور از گسل با شناسه OR، زلزله نزدیک گسل-مولفه عمود با شناسه NF-SN و زلزله نزدیک گسل-مولفه موازی با شناسه NF-SP انتخاب شده‌اند. زلزله‌های نزدیک گسل بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده در مطالعه Baker و همکاران (۲۰۰۶) انتخاب شده است. دلیل انتخاب ۳ دسته ۷ تایی شتاب این است که بتوان میانگین آماری را برای پارامترهای R_{μ} و CR ارائه نمود. مشخصات زلزله‌های انتخابی در جدول (۱) نمایش داده شده‌اند.

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

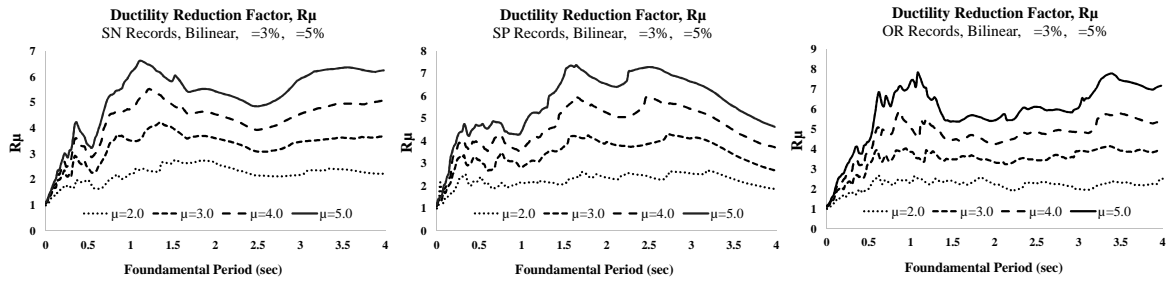
Earthquake Component	Record number	NGA Record Sequence Number	Earthquake Name	Year	Station Name	PGV(cm/sec)	Magnitude	Closest Distance	Pulse Period	Preferred Vs30 (m/s)
NF-SN	1	763	Loma Prieta	1989	Gilroy - Gavilan Coll.	14.96	6.93	9.96	1.799	729.7
	2	1044	Northridge-01	1994	Newhall - Fire Sta	120.26	6.69	5.92	1.036	269.1
	3	1045	Northridge-01	1994	Newhall - W Pico Canyon Rd.	82.88	6.69	5.48	2.408	285.9
	4	1063	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	167.2	6.69	6.5	1.232	282.3
	5	1085	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	113.57	6.69	5.19	3.528	370.5
	6	1106	Kobe, Japan	1995	KJMA	89.1	6.9	0.96	0.952	312
	7	1119	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	72.64	6.9	0.27	1.428	312
NF-SP	1	763	Loma Prieta	1989	Gilroy - Gavilan Coll.	14.96	6.93	9.96	1.799	729.7
	2	1044	Northridge-01	1994	Newhall - Fire Sta	120.26	6.69	5.92	1.036	269.1
	3	1045	Northridge-01	1994	Newhall - W Pico Canyon Rd.	82.88	6.69	5.48	2.408	285.9
	4	1063	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	167.2	6.69	6.5	1.232	282.3
	5	1085	Northridge-01	1994	Sylmar - Converter Sta East	113.57	6.69	5.19	3.528	370.5
	6	1106	Kobe, Japan	1995	KJMA	89.1	6.9	0.96	0.952	312
	7	1119	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	72.64	6.9	0.27	1.428	312
OR	1	1221	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY065	13.8	7.62	83.43	0.56	272.6
	2	1456	Chi-Chi, Taiwan	1999	TAP095	26.6	7.62	109.01	0.98	215
	3	784	Loma Prieta	1989	CDMG58224	35.5	6.93	72.2	0.32	306.3
	4	1105	Kobe, Japan	1995	HIK	15.2	6.9	95.72	0.6	256
	5	1636	Manjil, Iran	1990	Qazvin	11.5	7.37	49.97	0.16	274.5
	6	972	Northridge	1994	CDMG13122	6.9	6.69	82.32	0.38	308.6
	7	140	Tabas, Iran	1978	Ferdows	7.9	7.35	91.14	0.24	274.5

ضریب کاهش شکل‌پذیری (R_{μ})

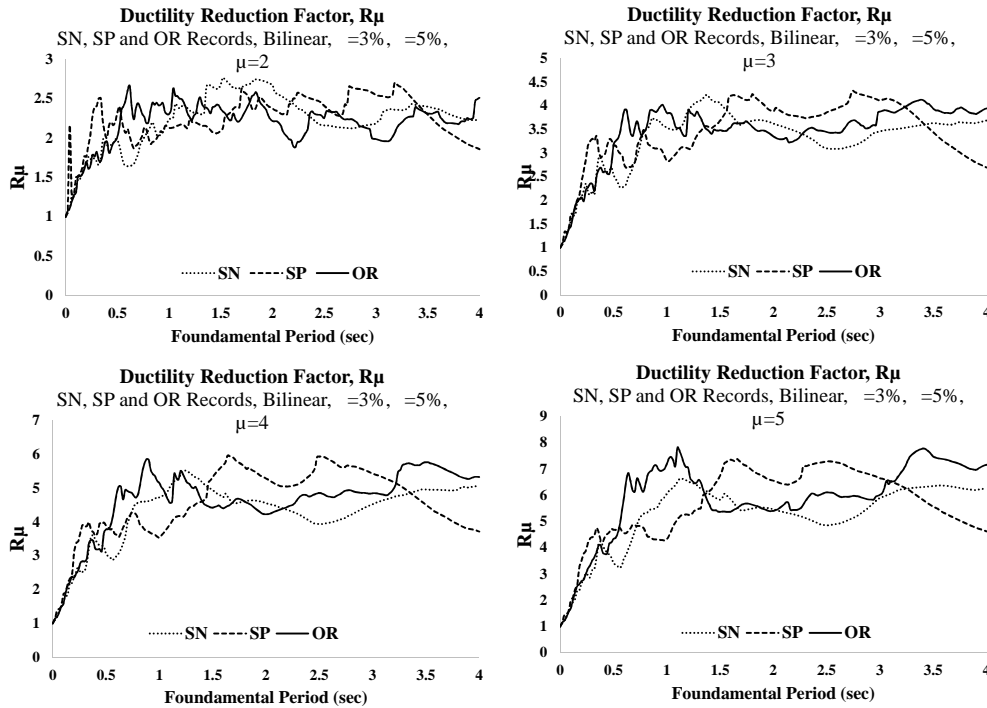
برای محاسبه ضریب رفتار قاب‌های MDOF طبق روش یوآنگ می‌توان ضریب کاهش شکل‌پذیری (R_{μ}) سیستم SDOF معادل را محاسبه نموده و با اعمال ضرایب اضافه مقاومت و طراحی، ضریب رفتار محاسبه گردد. بنابراین محاسبه ضریب R_{μ} از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این قسمت از مقاله R_{μ} برای سه نوع شتاب‌نگاشت NF-SN، NF-SP، 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 (۱) نمایش داده شده‌اند.

بر اساس شکل (۱) برای هر سه نوع شتاب‌نگاشت، با افزایش دوره تناوب، R_{μ} ابتدا با شیب تند افزایش یافته و سپس تقریباً ثابت باقی می‌ماند. از طرفی مادامی‌که پیرو سازه کوتاه باشد، R_{μ} برای سطوح مختلف شکل‌پذیری نزدیک به هم می‌باشد. به عبارتی، در این محدوده تغییرات R_{μ} در برابر T کم می‌باشد. همچنین در محدوده پیرو بلند، برای پیرو 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 قبلاً توسط محققین مختلف اثبات شده است. نتایج حاصل در حوزه مدل‌ها و فرضیات 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 بدست می‌آید. در نهایت بررسی شکل (۱) نشان داد که ناحیه انتقالی (مرز بین ناحیه افزایش R_{μ} و قسمت ثابت آن) برای زلزله‌های معمولی نزدیک ۰/۵ ثانیه می‌باشد. این مرز برای رکوردهای حوزه نزدیک موازی و عمود بر گسل (SP و SN) به ترتیب ۰/۲۵ و ۱ ثانیه محاسبه گردید. 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 (۲) نمایش داده شده است. به استناد شکل ۴، چنانچه ضریب شکل‌پذیری یا μ کوچک باشد (۲ و ۳)، نمودار R_{μ} -T مضرس است. با افزایش μ نمودار هموارتر می‌گردد. به عبارتی برای شکل‌پذیری کم، حساسیت R_{μ} در برابر تغییرات دوره تناوب قابل توجه‌تر می‌باشد. 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 مولفه نزدیک گسل است. در این محدوده کمترین R_{μ} مربوط به مولفه موازی گسل زلزله حوزه نزدیک است. برای سازه با پیرو بزرگتر از ۱/۵ ثانیه، بیشترین R_{μ} مربوط به NF-SP است. در این محدوده، R_{μ} زلزله‌های OR و NF-SN نزدیک به هم برآورد شده است.



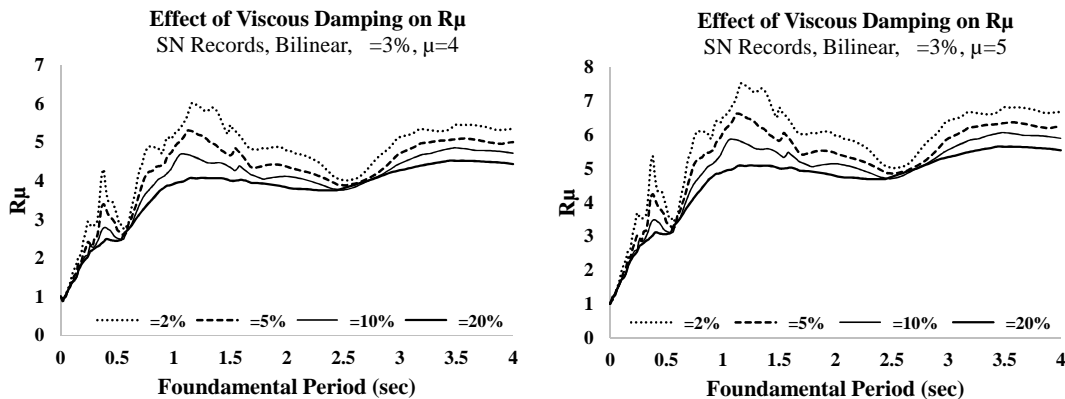


شکل (1) - ضریب کاهش شکل پذیری (R_{μ}) برای زلزله‌های نزدیک گسل (مولفه عمود و موازی) و زلزله دور برای چهار سطح شکل پذیری



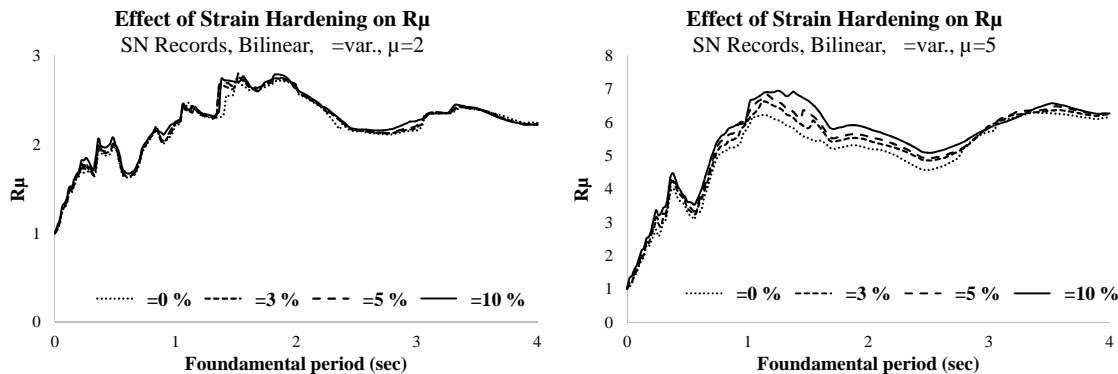
شکل (2) - ضریب کاهش شکل پذیری (R_{μ}) به تفکیک سطوح مختلف شکل پذیری

از آنجا که نیروی برش پایه الاستیک و غیر الاستیک 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 (۳) نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در تحلیل حساسیت این بخش و سایر قسمت‌های مقاله، تنها از میانگین نتایج زلزله حوزه نزدیک، مولفه عمود بر گسل یا SN، استفاده شده است. ارزیابی شکل (۳) نشان داد که افزایش ξ باعث کاهش R_{μ} می‌گردد. همچنین در پرونده‌های کوتاه، کمتر از ۰/۶ ثانیه، تغییرات R_{μ} برای سطوح مختلف شکل پذیری بسیار مضر بوده و نسبت به تغییرات T بسیار حساس است. همچنین با افزایش شکل پذیری (μ)، تغییرات R_{μ} -T هموارتر می‌گردد. به علاوه با افزایش T (بیشتر از ۲/۷ ثانیه) از اثر ξ بر کاهش R_{μ} در مقایسه با پرورد کمتر از ۲/۷ ثانیه کم می‌شود. به عبارتی $T=2/7$ ، نقطه همگرایی مقادیر مختلف R_{μ} برای ξ های مختلف می‌باشد.



شکل (۳) - تاثیر ضریب میرایی ξ بر R_{μ} ، میانگین حاصل از رکوردهای SN، $\alpha=3\%$

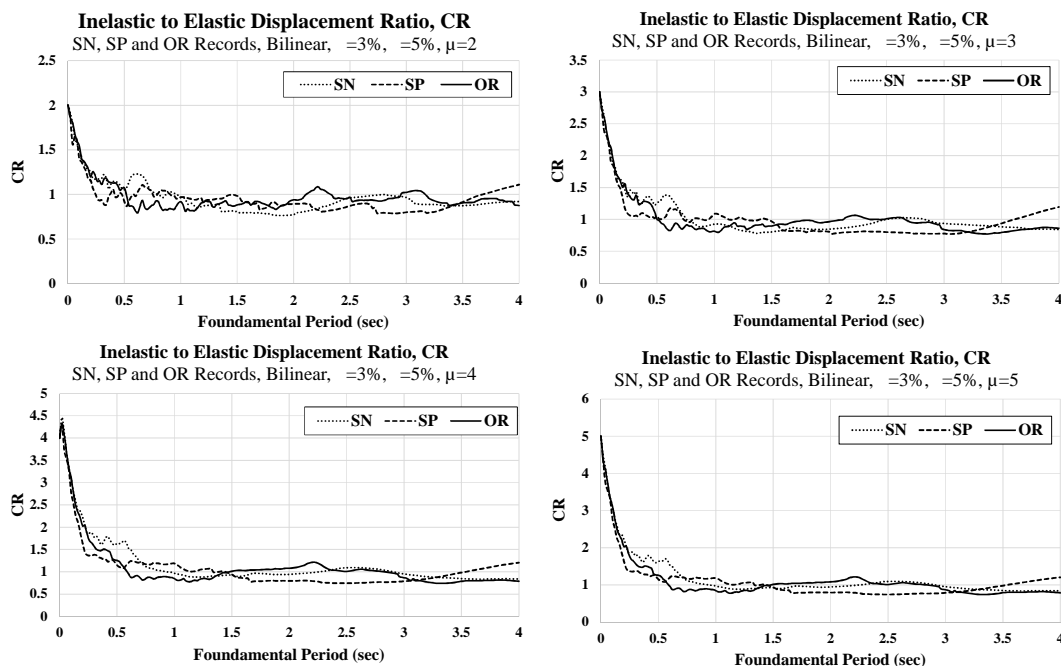
در بخش‌های قبل، ضریب کرنش سخت‌شدگی، α ، نمودار دوحطی مصالح، ۳ درصد فرض شد. این مقدار برای مصالح فولادی رایج است. از آنجا که ممکن است تغییرات α بر R_{μ} تاثیر داشته باشد، در این بخش تاثیر این ضریب بر R_{μ} برای چهار مقدار ۰، ۳، ۵ و ۱۰٪ ارزیابی شده است. نتایج حاصل برای دو سطح شکل‌پذیری ۲ و ۵ در شکل (۶) نمایش داده شده‌اند. بررسی شکل (۴) نشان می‌دهد که برای سطوح شکل‌پذیری کم ($\mu=2$)، افزایش α تاثیری بر R_{μ} ندارد. با افزایش α ، R_{μ} نیز افزایش می‌یابد. به‌علاوه نتایج این بخش نشان داد که برای $T < 0.6$ و $T > 3$ ، تغییر α تاثیری بر R_{μ} نخواهد داشت.



شکل (۴) - تاثیر ضریب میرایی ξ بر R_{μ} ، میانگین حاصل از رکوردهای SN، $\alpha=3\%$

نسبت تغییر شکل غیر الاستیک به الاستیک یا (CR)

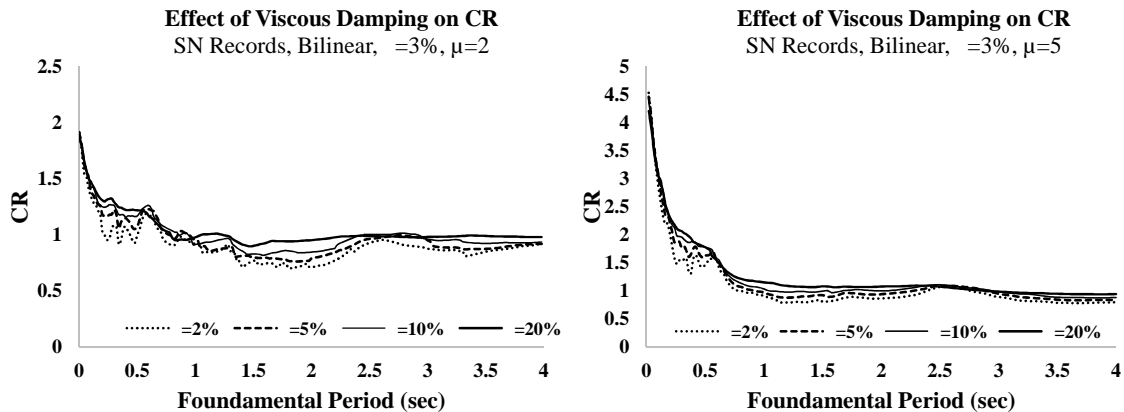
یکی از ضرایب کاربردی که در طراحی بر اساس عملکرد و در محاسبه تغییرمکان هدف (نقطه توقف تحلیل) استفاده می‌شود، نسبت تغییرمکان غیر الاستیک به الاستیک است که در این مقاله با CR نام‌گذاری شده است. مطالعات گذشته نشان داد که CR در اثر زلزله‌های دور از گسل در برابر تغییرات پیرو، به دو شکل قابل تعریف است. برای پیروهای کوتاه، CR به مراتب بزرگتر از یک است. در حالی که با افزایش دوره تناوب، این نسبت به یک همگرا می‌شود. بنابراین برای سازه‌های نرم، بیشینه تغییرمکان غیر الاستیک مساوی با تغییرمکان الاستیک می‌باشد. این موضوع به قضیه تساوی تغییرمکان معروف است. به‌منظور بررسی CR مربوط به مولفه‌های SN و SP زلزله‌های نزدیک گسل، تغییرات CR در برابر T در شکل (۵) نمایش داده شده است. بررسی کیفی این شکل نشان می‌دهد که تغییرات CR مولفه‌های SN و SP نیز شبیه زلزله دور یا OR است با این تفاوت که برای SP، چنانچه $T > 1$ ، مقادیر کوچکتری برای CR نسبت به SN و OR محاسبه گردید. اگر چه در این محدوده پیرو، CR به یک همگرا می‌شود. پس به‌نظر می‌رسد استفاده از CR زلزله‌های OR برای SN و SP محافظه‌کارانه باشد. از طرفی برای $T < 1$ ، CR بدست آمده از SN بیشتر از دو حالت دیگر است. همچنین در این محدوده، افزایش تراز شکل‌پذیری باعث می‌شود CR به شکل قابل ملاحظه‌ای برای هر سه حالت زلزله افزایش یابد. از طرفی، افزایش μ باعث شد نمودار CR-T هموارتر شود.



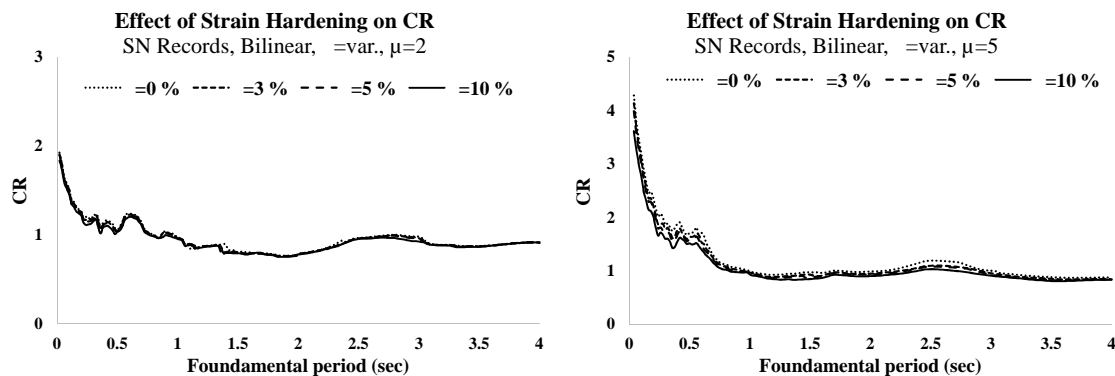
شکل (۵) - نسبت تغییر شکل غیر الاستیک به الاستیک (CR) به تفکیک سطوح مختلف شکل‌پذیری



برای بررسی حساسیت CR به ضریب میرایی و کرنش سخت‌شدگی، تغییرات CR برای دو سطح شکل‌پذیری ۲ و ۵ در شکل ۶ و ۷ ترسیم شده است. لازم به ذکر است که مقادیر میرایی و کرنش سخت‌شدگی (ξ و α)، مشابه مقادیری است که برای تحلیل حساسیت R_p استفاده شد. در این قسمت نیز تنها حساسیت CR برای زلزله SN محاسبه شده است. بررسی شکل (۶) نشان می‌دهد که تاثیر میرایی در پریودهای کوتاه ($T < 0.6$) محسوس‌تر است. از طرفی هر چه تراز شکل‌پذیری سازه کوچکتر باشد، میرایی تاثیر بیشتری بر CR خواهد داشت. به نحوی که با افزایش ضریب میرایی، CR متناظر با دوره تناوب ثابت، افزایش می‌یابد. نکته دیگر اینکه هر چه تراز شکل‌پذیری افزایش یابد، ناحیه انتقالی CR (مرز بین CRهای بزرگ و نزدیک به یک) به سمت پریود کمتری حرکت می‌کند. به عبارتی، نمودار در بازه بزرگتری از T به سمت یک همگرا شده است. افزایش میرایی سبب شد از درجه مضرس بودن نمودار CR کم شود. در ادامه برای بررسی اثرات α بر تغییرات CR از شکل (۷) استفاده شده است. در این بخش تاثیر این ضریب بر CR برای چهار مقدار ۰، ۳، ۵ و ۱۰٪ ارزیابی شده است. ارزیابی شکل (۷) نشان می‌دهد که به‌طور کیفی تغییرات α تاثیر ناچیزی بر CR خواهد داشت اگرچه با افزایش μ و پریودهای کوتاه، افزایش باعث کاهش CR شده است.



شکل (۶) - تاثیر ضریب میرایی ξ بر CR، میانگین حاصل از رکوردهای SN، $\alpha=3\%$ ، $\mu=5\%$



شکل (۷) - تاثیر ضریب کرنش سخت‌شدگی (α) بر CR، میانگین حاصل از رکوردهای SN، $\alpha=3\%$ ، $\mu=5\%$

مقایسه (CR) با C1 پیشنهادی FEMA440

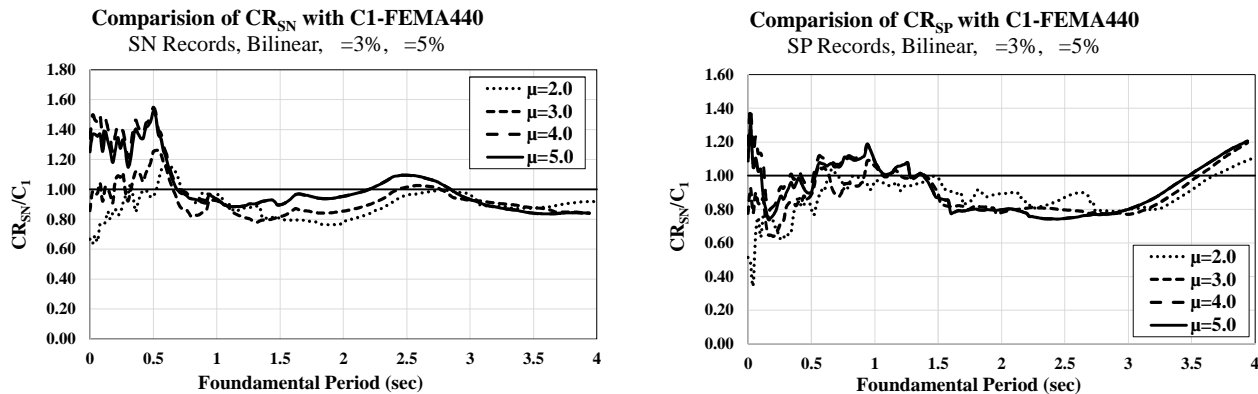
در روش ضرایب FEMA440، برای محاسبه تغییرمکان هدف از ضرایب اصلاحی استفاده می‌شود که اثر عوامل مختلفی را در پاسخ SDOF در نظر گرفته و آن را به حداکثر تغییرمکان غیر ارتجاعی بام سازه MDOF تبدیل می‌کند. این ضریب در فیما، با C1 معرفی شده است. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که C1 به دوره تناوب سازه و تقاضای شکل‌پذیری (ضریب کاهش مقاومت در اثر شکل‌پذیری) وابسته است. مطالعات تکمیلی در FEMA440 نشان داد که برای C1 می‌توان از رابطه (۱) استفاده نمود.

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

جاییکه

$$R = \frac{S_a/g}{V_y/W} \times \frac{1}{C_1} \quad (2)$$

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 می‌باشد. در ادامه نسبت CR حاصل از رکوردهای نزدیک گسل (SN) و SP) به C1 پیشنهادی در FEMA440 محاسبه و در شکل (۸) نمایش داده شده است. با توجه به شکل مذکور مشخص است که برای سطوح شکل پذیری کم (۲ و ۳)، نسبت مذکور کوچکتر از یک است. یعنی استفاده از C1 برای زلزله‌های نزدیک در جهت اطمینان است. این در حالی است که برای زلزله‌های SN چنانچه $T < 0.7$ ، برای شکل‌پذیری ۴ و ۵ ضریب CR_{SN} به‌طور متوسط ۴۰ درصد بیشتر از C1 فیما برآورد شده است. همچنین برای $T > 0.7$ در SN و $T > 1.5$ در SP، نسبت مذکور نزدیک به ۰/۸ محاسبه گردید. در این محدوده حساسیت این نسبت به شکل‌پذیری برای حالت SN بیشتر از SP است. بنابراین به‌نظر می‌رسد استفاده از C1 در این ناحیه برای زلزله‌های نزدیک گسل محافظه‌کارانه باشد.



شکل (۸): مقایسه میانگین CR با C1 پیشنهادی FEMA440 حاصل از رکوردهای SN و SP، $\alpha=3\%$ ، $\mu=5\%$

نتیجه‌گیری

بررسی تاثیر زلزله‌های حوزه نزدیک و دور بر ضرایب کاهش مقاومت در اثر شکل‌پذیری (R_{μ}) و نسبت تغییرمکان غیر الاستیک به الاستیک (CR) برای محاسبه ضریب رفتار سازه چند درجه آزادی و تخمین دقیق‌تر از تغییرمکان هدف مورد نیاز در فرآیند طراحی بر اساس عملکرد ضروری است. به همین دلیل در مقاله حاضر، دو ضریب R_{μ} و CR، برای ۳ دسته رکورد نزدیک گسل-مولفه عمود (NF-SN)، نزدیک گسل-مولفه موازی (NF-SP) و دور از گسل (OR) ارزیابی شده است. تاثیر عواملی همچون تقاضای شکل‌پذیری، دوره تناوب، میرایی و ضریب کرنش سخت‌شدگی نیز بر این دو ضریب تعیین گردید. همچنین CR به‌دست آمده با مقدار پیشنهادی فیما ۴۴۰ (C1) مقایسه شد. بررسی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در هر سه دسته زلزله، با افزایش دوره تناوب (T)، R_{μ} ابتدا افزایش یافته و سپس ثابت می‌ماند. برای شکل‌پذیری (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 $R_{\mu}-T$ ثابت می‌شود برای زلزله نزدیک نسبت به زلزله دور تفاوت دارد. اگر پیوند سازه خیلی کوچک باشد، R_{μ} چندان به تقاضای شکل‌پذیری وابسته نیست. از طرفی برای پیوند بزرگ، بیشترین R_{μ} مربوط به مولفه SP زلزله نزدیک است. همچنین مطالعات نشان داد استفاده از R_{μ} زلزله دور به جای حوزه نزدیک می‌تواند به نتایج غیر محافظه‌کارانه‌ای بیانجامد. بررسی تاثیر میرایی بر R_{μ} نشان داد با افزایش میرایی، R_{μ} کاهش می‌یابد و تغییرات R_{μ} نسبت به دوره تناوب هموارتر می‌شود. مطالعه اثر ضریب کرنش سخت‌شدگی نشان داد که این ضریب تاثیر بر R_{μ} نخواهد داشت. برای ضریب CR نتایج نشان داد که برای پیوند بزرگتر از ۱ ثانیه، CR مولفه SP کمتر از دو حالت دیگر است. از طرفی با افزایش پیوند، CR به یک همگرا می‌شود. ضمناً در پیوندهای کم، CR به شدت به μ و T وابسته است. استفاده از CR رکورد معمولی به جای SN در پیوند کمتر از ۱/۵ محافظه‌کارانه است در حالی که برای SP به نتایج غیر محافظه‌کارانه‌ای می‌انجامد. از طرفی برای پیوند بزرگتر از ۳ ثانیه، CR مولفه SP به مراتب بزرگتر از OR است. از نظر تاثیر میرایی بر CR مطالعات نشان داد که در پیوندهای کوچک، با کاهش تقاضای شکل‌پذیری، تاثیر میرایی محسوس‌تر است. برای پیوند و شکل‌پذیری ثابت، با افزایش میرایی، CR افزایش یافته و حساسیت آن به دوره تناوب کاهش می‌یابد. به‌علاوه ضریب کرنش سخت‌شدگی نیز بر CR بی‌تاثیر است. مقایسه CR با C1 پیشنهادی فیما ۴۴۰ نشان داد استفاده از C1 برای زلزله‌های نزدیک گسل در سطوح پایین شکل‌پذیری در جهت اطمینان است. از طرفی در پیوندهای کوتاه و تقاضای شکل‌پذیری بزرگ (۴ و ۵) در این پژوهش، CR متناظر با مولفه SN به‌طور متوسط ۴۰٪ بیشتر از C1 به‌دست آمد. در نتیجه استفاده از C1 فیما ۴۴۰ در این حالت در خلاف جهت اطمینان است.

- پارسائیان، م.، حسینی هاشمی، ب.، سروقدمقدم، ع.ر.، نسبت بیشینه تغییر مکان غیر الاستیک به الاستیک سازه‌های روی خاک سخت با استفاده از رکوردهای زلزله‌های ایران، *مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس*، دوره دوازدهم، شماره ۴، زمستان ۹۱.

Baker, J. (2007). Quantitative classification of near-field ground motion using wavelet analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 5, pp. 1486–1501.

Chakraborti, A., Gupta, V. K. (2005) Scaling of strength reduction factors for degrading elasto-plastic oscillators, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*34: 189–206.

Chopra, A.K. and Chintanapakdee, C. (2004). Inelastic Deformation Ratios for Design and Evaluation of Structures: Single-Degree-of-Freedom Bilinear Systems, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 130, No. 9, pp. 1309–1319.

FEMA440 (2005). Improvement of nonlinear static Seismic analysis procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, U.S.A.

Jalali, R. and Trifunac, M.D. (2007). Strenght-Reduction Factors for Structures Subjected to Near-Source Differential Strong Ground Motions, *ISSET Journal of Earthquake Technology*, Paper No. 486, Vol. 44, No. 1, pp. 285–304.

Karmakar, D. (2004) Design spectrum-based scaling of strength reduction factors. M. Tech. Thesis, Dept. of Civil Eng. IIT, Kanpur.

Mahmoudi, M. (2009). Determining the maximum lateral displacement due to sever earthquake without using nonlinear analysis, *World Academy of Science Engineering and Technology*, Vol. 3, pp. 849-85.

Ruiz-Garcia, J. and Miranda, E. (2003). Inelastic Displacement Ratios for Evaluation of Existing Structures, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 32, No. 8, pp. 1237–1258.

Uang, C. M. and Maarouf, A. (1993). Safety and economy consideration of UBC seismic force reduction factors,” Proceedings of the 1993 National Conference, Central United States Earthquake Consortium, pp. 121–130.