



رفتار دینامیکی غیرخطی قابهای فولادی برون محور

تحت تاثیر زلزله‌های نزدیک گسل

فرهاد دانشجو^۱، بیت ا... بدرلو^۲

چکیده

در این تحقیق رفتار قاب‌های فولادی برون محور ساختمانی (EBF) تحت تاثیر رکوردهای دور و نزدیک گسل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای این منظور قابهای فولادی ساختمان بصورت دو بعدی با تعداد طبقات ۳، ۶ و ۱۲ مدل گردیده و برای هر یک ۳ طول تیر پیوند (۰،۵ و ۰،۷ و ۰،۹) $(\frac{e}{e_{crit}})$ مختلف در نظر گرفته شده است. طراحی قابها براین اساس بوده است که در تیرهای پیوند مفصل برشی تشکیل شود.

رفتار دینامیکی غیرخطی (EBF) تحت اثر ۴ زوج رکورد دور و نزدیک گسل تحلیل گردیده‌اند. در هر دسته از قابها مقادیر تغییر مکان نسبی، تغییر مکان کلی طبقات، ضریب رفتار شکل پذیری، برش پایه و شکل پذیری مورد نیاز نظیر رکوردهای نزدیک و دور از گسل محاسبه گردیده و مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که نیاز شکل پذیری و نیاز تغییر مکانی رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از مقادیر متناظر آنها در رکوردهای دور از گسل می‌باشد و ضریب تشدید برش پایه برای قابهای ۳ و ۶ و ۱۲ طبقه مورد بررسی به ترتیب برابر ۱،۶۴، ۱،۶۵ و ۱،۸۹ می‌باشد که حاکی از افزایش این ضریب با افزایش پیوند ساختمان می‌باشد. همچنین حلقه پسماند نظیر رکوردهای نزدیک گسل در تمام قابها نشان دهنده اعمال انرژی بالا در این رکوردها در مقایسه با رکوردهای دور از گسل می‌باشد.

کلمات کلیدی:

قاب مهاربندی شده برون محور، زمین لرزه نزدیک گسل، تغییر مکان نسبی طبقات، شکل پذیری مورد نیاز، RAMPerform-3DS

Nonlinear Dynamic Behavior of Eccentric Braced Steel Frames Under the Near-Fault Earthquakes

F.Daneshjoo, B.Badarloo

ABSTRACT

In this research are investigated the behavior of EBF frames subject to far-fault and near-fault earthquakes. For this purpose two dimensional models of EBF frames with 3,6 and 12 stories and considering 3 different eccentricity/length ratio of (0.5,0.7,0.9) for each frame are modeled. Nonlinear dynamic behavior of EBF frames are investigated Under 4 pairs of far and near-fault records. Relative displacement, story displacement, coefficient R_{μ} , base shear and ductility-demand are calculated and compared for near and far fault earthquakes.

The research findings are: Ductility-demands and displacement-demands are larger for near-fault than those of far-fault. Recommended magnification factor for base shear in the 3, 6, and 12 story frames are 1.65, 1.64 and 1.89 respectively. Magnification factor of base shear is increased with an increase in structure's period. Hysteresis graphs show that more energy is applied in the near-fault earthquake with respect to far-fault earthquake.

Key words:

Eccentrically Braced Frames, Near-Fault Earthquake, Relative displacement, Ductility-Demand, RAMperform-3DS.

۱. دانشیار بخش عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران danesh f@modares.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران badarloo@modares.ac.ir

با توجه به تحقیقات انجام گرفته بر روی رکوردهای ثبت شده جنبش قوی زمین در نزدیکی گسل و تاثیر این نوع رکوردها بر روی سازه‌های مختلف نیاز توجه به این رکوردها و آثار آن بر روی سازه‌ها، در دو دهه اخیر اهمیت تحقیق بیشتری را به خود جلب نموده است. تحقیقات انجام گرفته در این زمینه عمدتاً به ۲ دسته تقسیم می‌گردد دسته اول مجموعه ای از تحقیقات است که بر روی رکوردهای ثبت شده ناشی از جنبش قوی زمین در نزدیکی گسل و مشخصات و پارامترهای مختلف مربوط به رکوردهای نزدیک گسل انجام گرفته است و با جمع‌بندی دقیق و جامع روی اطلاعات بدست آمده از رکوردهای ثبت شده زمین‌لرزه‌ها در نزدیکی گسل اطلاعات کامل و قابل استفاده ای جهت بررسی رفتار سازه‌ها تحت اثر این نوع رکوردها در اختیار محققان و کارشناسان قرار می‌دهد. دسته دوم مجموعه تحقیقاتی است که مربوط به بررسی رفتار سازه‌های مختلف تحت اثر رکوردهای نزدیک گسل می‌باشد. مشخصات زلزله‌های نزدیک گسل به دلیل خواص امواج برشی و تجمع آثار این امواج در جلوی مسیر گسیختگی تفاوتی با مشخصات زلزله‌های دور از گسل دارند. وجود حرکت پالس گونه با پیوند بلند در ابتدای رکوردها، بزرگتر بودن مولفه عمود بر جهت گسل نسبت به مولفه موازی گسل، تجمع انرژی و انتقال آن در مدت زمان کوتاه، اعمال نیروی ضربه گونه بر سازه‌های موجود در مسیر پیشرو گسیختگی، نسبت بیشینه سرعت به بیشینه شتاب بالا و وجود بیشینه شتاب و سرعت و جابجایی بالاتر از تفاوتی حائز اهمیت رکوردهای زلزله‌های نزدیک گسل می‌باشد [۱].

در زلزله‌های Northridge 1994 و Kobe 1995 بسیاری از سازه‌های مدرن دچار تخریب کلی یا آسیب دیدگی جدی شدند که پس از تحقیقات فراوان، قسمت عمده خرابی‌های ناشی از این دو زلزله به اثرات زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل نسبت داده شد. John.F.Hall در دسامبر ۱۹۹۵ گزارشی طولانی تحت عنوان «مطالعه پارامتری پاسخ قابهای خمشی

فولادی به زمین‌لرزه نزدیک گسل» با سرمایه‌گذاری آژانس مدیریت بحرانی آمریکا (FEMA) ارائه کرد [۱]. بر اساس نتایج این تحقیق معلوم گردید که تنش غیرالاستیک عموماً در تیرها ایجاد شده ولی به میزان قابل توجهی تسلیم در ستونها نیز اتفاق می‌افتد. همچنین نتایج مقادیر جابجایی نسبی تحت رکوردهای موردنظر برای هر دو قاب ۶ و ۲۰ طبقه حاکی از نیاز تغییر مکانی بالای رکوردهای مورد نظر به عنوان رکوردهای نزدیک گسل در مقایسه با محدودیت‌های آیین‌نامه‌های لرزه‌ای فعلی می‌باشد. همچنین در طی بررسی انجام شده در طی این تحقیق در خصوص تاثیر مولفه قائم این دسته از رکوردها معلوم گردید که مولفه قائم در این حالت، از تاثیر و اهمیت بیشتری برخوردار است. در پایان نتیجه گیری نموده‌اند که تاثیرات این دسته از زمین‌لرزه‌ها (رکوردهای نزدیک گسل) از تاثیرات زلزله‌های ارائه شده در آیین‌نامه‌ها بیشتر می‌باشند لذا به منظور در نظر گرفتن تاثیرات رکوردهای نزدیک گسل در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای باید سطح نیروهای طراحی آیین‌نامه‌ها برای زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل افزایش یابد [۱].

آثار زمین‌لرزه در نزدیکی گسل مخصوصاً در جهت پیشرو مسیر گسیختگی باعث بوجود آمدن خسارات شدیدی به سازه‌ها بخصوص سازه‌های با زمان تناوب بالا بعلاوه حرکت‌های پالس گونه با پیوند بلند می‌گردد که بطور تجربی نیز در زمین‌لرزه‌های Northridge، Kobe، Chi-Chi، Duzce و Kocaeli نیز مشاهده گردید و این امر باعث گردید که این عامل مهم بعنوان یکی از فاکتورهای تعیین کننده در علم شهرسازی نیز وارد گردید. بطوریکه آقایان Rauch و Smolka در مقاله‌ای که در سال ۱۹۹۶ ارائه کردند با بررسی زمین‌لرزه Northridge کالیفرنیا در سال ۱۹۹۴ و Kobe ژاپن که از شهرهای مدرن و بزرگ دنیا به حساب می‌آیند و با بررسی خسارت بوجود آمده تحت اثر این زمین‌لرزه‌ها از جمله عوامل مهم و متعدد دخیل در انتخاب و توسعه شهرهای آتی و طراحی شهرهای بزرگ آتی عامل تاثیر نزدیکی به گسل و قرارگیری ساختمانها در مسیر گسیختگی

گسل را معرفی نمود [۲].

ارائه روشهای اصلاحی کدهای آیین نامه‌ای و استفاده از روشهای آسانتر برای اصلاح طیف پاسخ سازه‌ها نیز از زمینه‌های تحقیقاتی دیگری است که تحقیقات زیادی در این زمینه انجام گرفته است از جمله تحقیقی است که Iwan در سال ۱۹۹۶ برای اصلاح طیف پاسخ جابجایی سازه‌ها ارائه کرده‌اند که در این تحقیق یک معیار جدید برای طیف تقاضای سازه‌ها تحت اثر جنبش قوی زمین تحت اثر زمین‌لرزه‌ها ارائه نموده است [۳].

آقایان Andre و Filiatrault در سال ۱۹۹۸ در تحلیل دینامیکی غیر خطی، قابلیت جذب انرژی قابهای خمشی فولادی را جهت بررسی رفتار واقعی قابهای خمشی فولادی با استفاده از یک سازه معمولی ۶ طبقه مورد تحلیل قرار داد. تحلیل انجام یافته بر روی یک سازه معمولی ۶ طبقه با قاب خمشی فولادی که بر اساس کدهای آیین نامه ای رایج طراحی شده است انجام گرفته است. سازه مذکور با دو سیستم میراگر متفاوت تحت اثر جنبش زمین که نماینده شرایط نزدیک گسل هستند تحت رکوردهای بدست آمده در منطقه لس آنجلس با یک احتمال وقوع ۱۰ درصد در ۵۰ سال قرار گرفته و رفتار هر دو سیستم برای جذب انرژی و استهلاک انرژی توسط سیستم بررسی شده است [۴].

تحقیق دیگری در سال ۱۹۹۹ توسط Allin و Nicolas Cornell بر روی گسیختگی اتصالات قابهای خمشی فولادی انجام گرفته است. در این تحقیق در ابتدا گسیختگی اتصالات قابهای خمشی تحت اثر رکوردهای جنبش زمین در نزدیکی گسل بررسی گردیده و در ادامه روشهایی برای بهبود بخشیدن رفتار اتصالات در قابهای فولادی خمشی در برابر جنبشهای زمین در نزدیکی گسل ارائه شده است [۵].

تحقیقات انجام شده در مورد پاسخ سازه در برابر زلزله‌های نزدیک گسل بیانگر این مطلب می‌باشد که آنالیز مبتنی بر تاریخچه زمانی از آنالیز طیف پاسخ بهتر است، زیرا که مشخصات حوزه فرکانسی زمین‌لرزه (طی طیف

پاسخ) فرآیندی را بیان می‌کند که دارای توزیع نسبتاً یکنواختی از انرژی در طول مدت جنبش می‌باشد. لذا زمانی که انرژی در چند پالس از حرکت متمرکز می‌شود، پدیده تشدید که تصور می‌شود طیف پاسخ بایستی ارائه دهد به قدر کافی زمان برای شکل گیری ندارد [۶].

همچنین خسارتهای ایجاد شده در سازه‌ها، در اثر زلزله‌های Northridge 1994 (Mw=6.7) و Kobe 1995 و Izmit 1999 نشان داد که اختلافات فاحشی بین پاسخ سازه‌ها در برابر زمین‌لرزه‌های دور و نزدیک گسل وجود دارد [۷].

تحقیقات و بررسی‌های انجام شده پس از وقوع زلزله‌های Northridge 1994 و Kobe 1995 نشان داد که نیاز تغییر مکانی زلزله‌های نزدیک گسل بسیار بالا می‌باشد. این امر ناشی از اعمال یک انرژی حجیم در یک مدت زمان کوتاه توسط رکوردهای نزدیک گسل می‌باشد. در این حالت رفتار سازه به گسترش موج در محیط پیوسته الاستو-پلاستیک شبیه می‌باشد [۸].

به دلیل نیاز تغییر مکانی بالای زلزله‌های نزدیک گسل سازه‌هایی که بر طبق نیروهای پایه معمولی ارائه شده در آیین نامه‌های لرزه ای فعلی طراحی شده‌اند به هیچ وجه نمی‌توانند تامین کننده این نیاز تغییر مکانی بالا باشد [۷]. لذا لزوم بررسی و شناخت رکوردهای نزدیک گسل و گنجاندن تاثیرات این رکوردها در آیین نامه‌های لرزه ای و بهبود ظرفیت سازه‌ها برای نیازهای بالای تغییر مکان حاصل از زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل موضوع تحقیقات دهه اخیر بوده است. در راستای نیاز و ضرورت مذکور، آیین نامه UBC97 تاثیرات رکوردهای نزدیک گسل را با ارائه یک سری ضرایب بزرگنمایی در نظر می‌گیرد که این سری ضرایب بزرگنمایی در نواحی نزدیک گسل در روابط مربوط به روش استاتیکی معادل و طیف طرح آیین نامه اعمال می‌گردد و ضرورت دارد که در استاندارد ۲۸۰۰ ایران نیز با انجام تحقیقات وسیع‌تری، تاثیرات این گونه زلزله‌ها گنجانده شود.

جدول (۱): نتایج طراحی قاب برون محور ۱۲ طبقه

ردیف	المان	نوع مقطع
۱	تیر پیوند طبقات ۳و۲و۱	IPE220×PL2
۲	تیرهای خارج پیوند طبقات ۳و۲و۱	IPE220×PL8
۳	تیرهای دهانه‌های کناری (دهانه‌های بادبندی نشده) طبقات ۳و۲و۱	IPE240
۴	ستونهای میانی طبقات ۳و۲و۱	IPB400
۵	ستونهای کناری طبقات ۳و۲و۱	IPB160
۶	بادبندهای طبقات ۳و۲و۱	2UPN120
۷	تیر پیوند طبقات ۴و۵و۶	IPE220×PL2
۸	تیرهای خارج پیوند طبقات ۴و۵و۶	IPE220×PL8
۹	تیرهای دهانه‌های کناری (دهانه‌های بادبندی نشده) طبقات ۴و۵و۶	IPE240
۱۰	ستونهای میانی طبقات ۴و۵و۶	IPB300
۱۱	ستونهای کناری طبقات ۴و۵و۶	IPB140
۱۲	بادبندهای طبقات ۴و۵و۶	2UPN120
۱۳	تیر پیوند طبقات ۷و۸و۹	IPE160×PL8
۱۴	تیرهای خارج پیوند طبقات ۷و۸و۹	IPE160×PL14
۱۵	تیرهای دهانه‌های کناری (دهانه‌های بادبندی نشده) طبقات ۷و۸و۹	IPE240
۱۶	ستونهای میانی طبقات ۷و۸و۹	IPB220
۱۷	ستونهای کناری طبقات ۷و۸و۹	IPB120
۱۸	بادبندهای طبقات ۷و۸و۹	2UPN100
۱۹	تیر پیوند طبقات ۱۰و۱۱و۱۲	IPE140×PL8
۲۰	تیرهای خارج پیوند طبقات ۱۰و۱۱و۱۲	IPE140×PL16
۲۱	تیرهای دهانه‌های کناری (دهانه‌های بادبندی نشده) طبقات ۱۰و۱۱و۱۲	IPE240
۲۲	ستونهای میانی طبقات ۱۰و۱۱و۱۲	IPB160
۲۳	ستونهای کناری طبقات ۱۰و۱۱و۱۲	IPB100
۲۴	بادبندهای طبقات ۱۰و۱۱و۱۲	2UPN100

این جمله که « بطور کلی باید از احداث ساختمان در مجاورت گسل‌های فعال و محل‌هایی که احتمال بوجود آمدن شکستگی در سطح زمین هنگام زلزله وجود دارد، اجتناب شود. در مواردی که احداث ساختمان در چنین مکان‌هایی اجتناب ناپذیر باشد، علاوه بر رعایت این آیین نامه باید تمهیدات ویژه‌ای که کارشناسان مشخص می‌کنند منظور شود» اکتفا می‌کند [۹].

در تحقیق حاضر رفتار قاب‌های EBF تحت تاثیر زلزله‌های نزدیک گسل در مقایسه با زلزله‌های دور از گسل بررسی و تحلیل شده است. بدین منظور قابهای مورد بررسی را توسط نرم افزار RAMperform-3DS مدل کرده و تحت اثر ۴ زوج رکورد دور و نزدیک گسل آنالیز دینامیکی غیر خطی شده‌اند. که در مورد هر دسته از قابها مقادیر تغییر مکان نسبی، تغییر مکان کلی طبقات، ضریب R_{μ} ، برش پایه و شکل پذیری مورد نیاز نظیر رکوردهای نزدیک گسل با مقادیر مربوطه در رکوردهای دور از گسل مقایسه شده و نتایج حاصل مورد بحث و تفسیر واقع شده است.

۲) مدل قابهای EBF

در این تحقیق قابهای EBF ۳ دهانه، ۳ طبقه به عنوان قابهای با تعداد طبقات پایین و ۶ طبقه به عنوان قابهای با تعداد طبقات متوسط و ۱۲ طبقه به عنوان قابهای با تعداد طبقات بالا با ارتفاع یکسان ۳ متر برای تمام طبقات انتخاب شده‌اند که هر یک از قابهای مذکور پس از مدلسازی و طراحی بر اساس اصول طرح ظرفیت و بر طبق ضوابط آیین نامه UBC-ASD97 توسط نرم افزار غیر خطی RAMperform-3DS برای ۳ طول تیر پیوند مختلف ($\frac{e}{e_{crit}} = 0.5, 0.7, 0.9, 1.0$)، که e طول تیر پیوند و e_{crit} حداکثر طول تیر پیوند است که قاب EBF می‌تواند رفتار برشی داشته باشد) تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل مورد نظر تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی شده‌اند. به عنوان نمونه هندسه و ابعاد قاب ۳ طبقه در شکل (۱) نشان داده شده است، همچنین در جداول (۱) الی (۳) مشخصات قابهای مورد بررسی ارائه شده است.

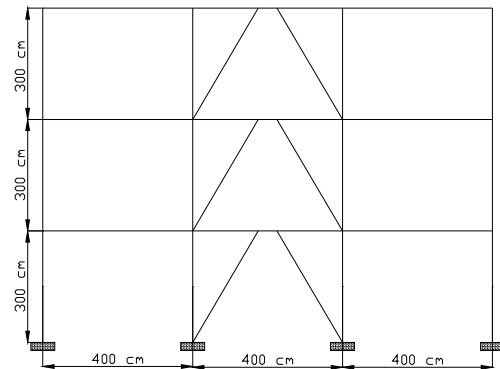
در آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰)، در مورد زلزله‌های نزدیک گسل هیچگونه تمهیداتی در نظر گرفته نشده است و تنها به بیان

جدول (۲): نتایج طراحی قاب برون محور ۳ طبقه

ردیف	المان	نوع مقطع
۱	تیر پیوند طبقات	IPE140×PL8
۲	تیرهای خارج پیوند طبقات	IPE140×PL12
۳	تیرهای دهانه‌های کناری (دهانه‌های بادی‌بندی نشده)	IPE240
۴	ستونهای میانی طبقات	IPB160
۵	ستونهای کناری طبقات	IPB100
۶	بادبندهای طبقات	2UPN100

جدول (۳): نتایج طراحی قاب برون محور ۶ طبقه

ردیف	المان	نوع مقطع
۱	تیر پیوند طبقات ۳و۲	IPE160×PL8
۲	تیرهای خارج پیوند طبقات ۳و۲	IPE160×PL12
۳	تیرهای دهانه‌های کناری (دهانه‌های بادی‌بندی نشده) طبقات ۳و۲	IPE240
۴	ستونهای میانی طبقات ۳و۲	IPB220
۵	ستونهای کناری طبقات ۳و۲	IPB120
۶	بادبندهای طبقات ۳و۲	2UPN100
۷	تیر پیوند طبقات ۶و۵و۴	IPE140×PL8
۸	تیرهای خارج پیوند طبقات ۶و۵و۴	IPE140×PL14
۹	تیرهای دهانه‌های کناری (دهانه‌های بادی‌بندی نشده) طبقات ۶و۵و۴	IPE240
۱۰	ستونهای میانی طبقات ۶و۵و۴	IPB160
۱۱	ستونهای کناری طبقات ۶و۵و۴	IPB100
۱۲	بادبندهای طبقات ۶و۵و۴	2UPN100



شکل (۱): هندسه قاب ۲ بعدی ۳ دهانه.

قابها برای طول متفاوت تیر پیوند تحلیل مودال شده‌اند که مشخصات پریودی این قابها در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴): مشخصات پریودی قابهای مورد بررسی.

تعداد طبقات	$\frac{e}{e_{crit}}$	T1	ضریب مشارکت جرمی مود اول
۳ طبقه	0.9	0.398	%88.93
	0.7	0.359	%89.64
	0.5	0.323	%90.13
۶ طبقه	0.9	0.797	%78.99
	0.7	0.734	%80.39
	0.5	0.680	%81.51
۱۲ طبقه	0.9	1.556	%69.46
	0.7	1.5	%68.89
	0.5	1.452	%68.32

۳- شتاب‌نگاشت‌های زلزله‌های دور و نزدیک گسل

۴ زوج شتاب‌نگاشت دور و نزدیک گسل انتخاب شده‌اند که همه رکوردهای مورد بررسی در خاک نوع ۲ (بر اساس تقسیم‌بندی استاندارد ۲۸۰۰ ایران) ثبت شده‌اند، که این شتاب‌نگاشت‌ها به همراه مشخصاتشان در جدول (۵) ارائه

شده‌اند. شتاب‌نگاشت‌های مذکور برای استفاده در تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی بر اساس روش ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ مقیاس شده‌اند.

جدول (۵): مشخصات رکوردهای مورد بررسی.

زلزله	فاصله (KM)	نوع زلزله	شرایط سایت	M_w	PGA $\frac{cm}{s^2}$	PGV $\frac{cm}{s}$	PGD cm
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	6.95	نزدیک گسل	Soil	7.6	949	107.5	18.6
Landers 1992/06/28 11:58	5.7	نزدیک گسل	Soil	7.3	789.7	180.2	300.5
Northridge 1994/01/17 12:31	8.2	نزدیک گسل	Soil	6.7	424.8	51.5	7.2
Tabas, Iran 1978/09/16	3	نزدیک گسل	Soil	7.4	835.8	121.4	94.6
Chi-Chi, Taiwan 1999/09/20	24.06	دور از گسل	Soil	7.6	502.3	39	14.3
Landers 1992/06/28 11:58	11.6	دور از گسل	Soil	7.3	278.6	43.2	14.5
Northridge 1994/01/17 12:31	17.7	دور از گسل	Soil	6.7	154.0	14.5	4.29
Tabas, Iran 1978/09/16	17	دور از گسل	Soil	7.4	398.3	26.5	8.75

۴- تحلیل بار افزون استاتیکی غیرخطی

روش آنالیز بار افزون امروزه به یک شیوه متداول و مطلوب جهت ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌های مختلف تبدیل گشته است. از آنالیزهای بار افزون انتظار می‌رود که اطلاعات مناسبی از نیازهای لرزه‌ای که طی زمین‌لرزه سطح طراحی به سیستم سازه‌ای و اجزای آن اعمال می‌گردند ارائه نماید. از نکات حائز اهمیت در این آنالیز، میزان دقت پیش‌بینی‌های انجام گرفته و شرایطی است که آنالیز مذکور می‌تواند تحت آنها به تخمین‌های بهتری از نیازهای لرزه‌ای اعمال شده به سازه منجر شود.

در این تحقیق برای انجام آنالیزهای بار افزون برای تعریف نقطه نهایی آنالیز، از محدودیت تغییر مکان نسبی ارائه شده توسط آیین نامه FEMA273 که برابر ۲ درصد ارتفاع طبقه می‌باشد استفاده شده است. نتایج تحلیل بار افزون برخی از قاب‌ها در شکل‌های ۲ الی ۴ به عنوان نمونه ارائه گردیده است.

نتایج نشان می‌دهد که برای قابهای با طول پیوند $0.9e_{crit}$ و $0.7e_{crit}$ محدودیت Drift ۲٪ حاکم بوده ولی برای قابهای با طول پیوند $0.5e_{crit}$ ناپایداری قاب قبل از تغییر مکان نسبی ۲٪ واقع شده و تعریف کننده نقطه نهایی بوده است.

۵- ضریب شکل پذیری کلی سازه (μ_s)

ضریب شکل‌پذیری کلی سازه که بیانگر ظرفیت

شکل‌پذیری سراسری سازه می‌باشد و به کمک نتایج آنالیز

بار افزون محاسبه می‌شود، مطابق رابطه $\mu_s = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y}$ برابر

با نسبت حداکثر تغییر مکان جانبی Δ_{MAX} به تغییر مکان حد جاری شدن Δ_y محاسبه می‌گردد. Δ_y برابر تغییر مکان جانبی معادل نقطه اتصال دو قسمت منحنی رفتاری ایده‌آل‌سازی شده می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل بار افزون در جدول (۶) ارائه شده است.

۶- تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی

مدلهای در نظر گرفته شده در این تحقیق توسط نرم‌افزار RAMPerfrom-3DS تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل انتخابی آنالیز غیرخطی تاریخچه زمانی شده‌اند. تغییر مکان کلی طبقات، تغییر مکان نسبی طبقات، ضریب زلزله، μ ، R_μ و رفتار هیستریزس قابها در این تحقیق بررسی شده و نتایج برای رکوردهای دور و نزدیک گسل مقایسه شده‌اند.

۶-۱- تغییر مکانها

نتایج تغییر مکان کلی و تغییر مکان نسبی طبقات برای تمام قابهای ۶، ۳ و ۱۲ طبقه و با نسبت $\frac{e}{e_{crit}}$ متفاوت محاسبه گردیده و نمودار تغییر مکان ماکزیمم قابها در ارتفاع برای زلزله‌های مختلف دور و نزدیک گسل ترسیم گردیده‌اند. اشکال (۵) الی (۱۰) برخی از این نمودارها را به عنوان

گسل اهمیت می‌یابد.
محدودیت تغییر مکان نسبی غیر خطی در آیین نامه
استاندارد ۲۸۰۰ ایران برابر با 0.4R برابر تغییر مکان
حاصل از تحلیل استاتیکی معادل و در آیین نامه UBC

نمونه نشان می‌دهد. از این نمودارها نتیجه می‌شود که تغییر
مکان کلی و نسبی طبقات ناشی از رکوردهای نزدیک
گسل در مقایسه با رکوردهای دور از گسل تفاوت زیادی
دارند و لذا لزوم در نظر گرفتن تاثیرات رکوردهای نزدیک

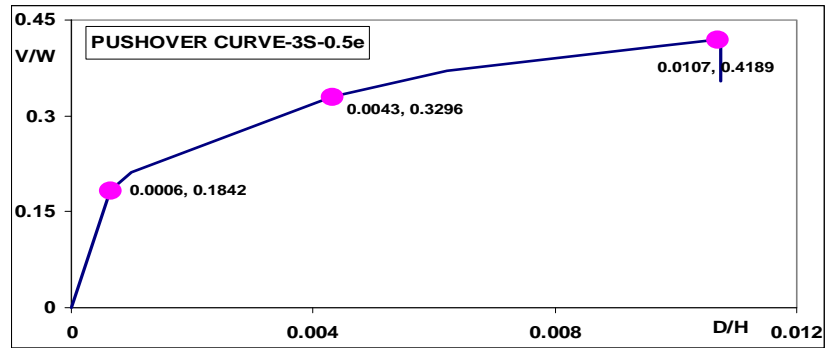
جدول (۶): نتایج شکل‌پذیری قابهای مورد بررسی.

تعداد طبقه	$\frac{e}{e_{crit}}$	Δ_s	Δ_y	Δ_{Max}	μ_s
۳ طبقه	0.9	1.035	1.587	18	11.34
	0.7	0.847	1.183	15.173	12.8
	0.5	0.699	0.976	12.038	12.3
۶ طبقه	0.9	2.647	3.898	36	9.2
	0.7	2.294	3.371	36	10.7
	0.5	2.020	2.742	27.072	9.9
۱۲ طبقه	0.9	7.199	11.895	72	6.05
	0.7	7.199	11.193	72	6.4
	0.5	7.198	10.13	56.05	5.5

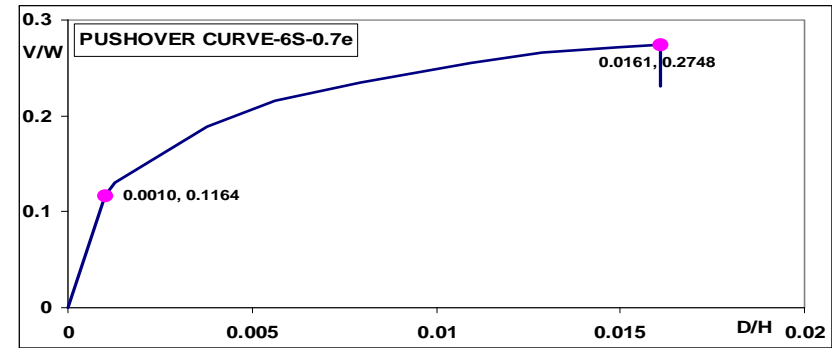
برابر با 0.7R برابر تغییر مکان حاصل از تحلیل استاتیکی
معادل می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه شده در جداول (۷)
الی (۹) مشخص است که ماکزیمم تغییر مکان نسبی در
رکوردهای نزدیک گسل برای قابهای ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به
ترتیب برابر با 3.477%، 3.963% و 2.01% و ماکزیمم
تغییر مکان نسبی در رکوردهای دور از گسل برای
قابهای ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب برابر با 1.101%، 0.853%
و 0.98% می‌باشد، همچنین ماکزیمم نسبت تغییر مکان
رکورد نزدیک گسل به رکورد دور از گسل برای
قابهای ۳، ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب برابر 8.9، 4.9 و 5.9 می
باشد که نشان دهنده نیاز تغییر مکانی بیشتر در
قابها (کوتاه، متوسط و بلند) تحت رکوردهای نزدیک گسل
در مقایسه با رکوردهای دور از گسل می‌باشد.

۶-۲- برش پایه

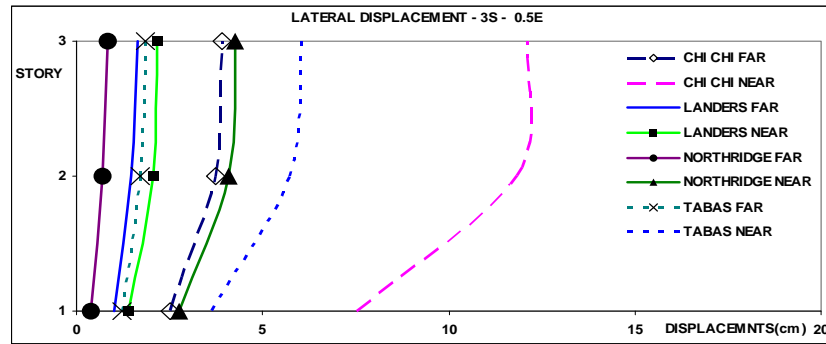
آیین‌نامه UBC97 به منظور در نظر گرفتن تاثیر رکوردهای
نزدیک گسل در روش تحلیل استاتیکی معادل اقدام به
ارائه ضرایبی نموده است که این ضرایب در جدول (۱۰)
نشان داده شده‌اند.



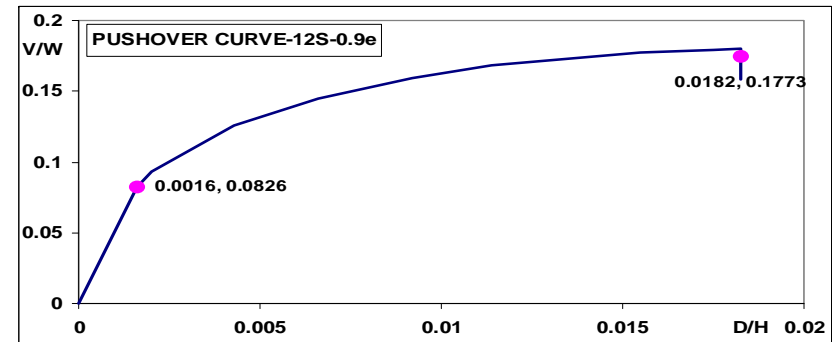
شکل (۳): نمودار پوشش آور قاب 0.5e - 0.6s.



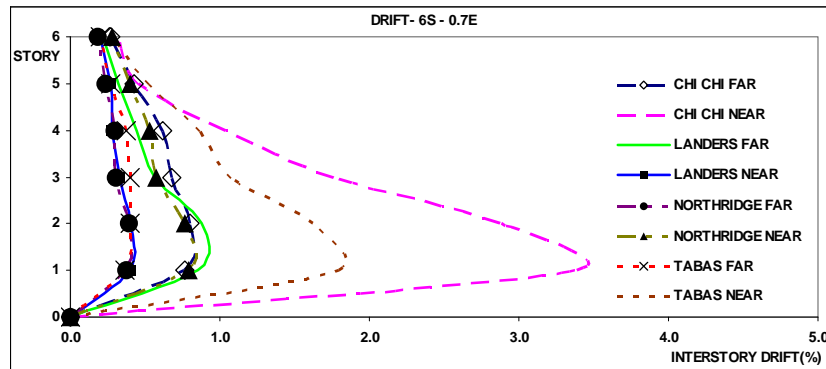
شکل (۲): نمودار پوشش آور قاب 0.5e - 0.3s.



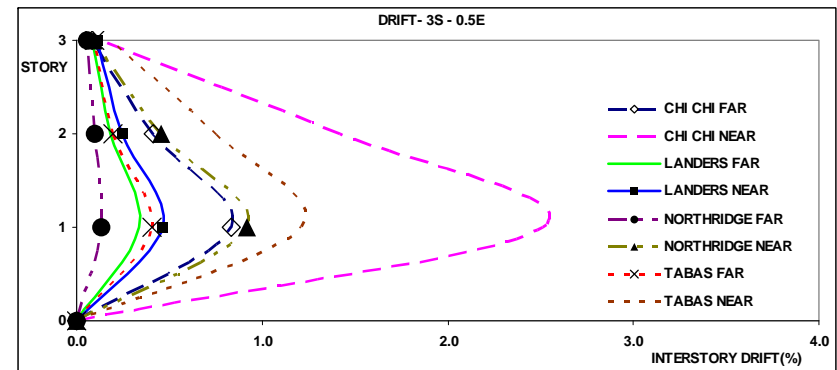
شکل (۵): نمودار تغییر مکان ماکزیمم قاب 0.5 - 0.3s.



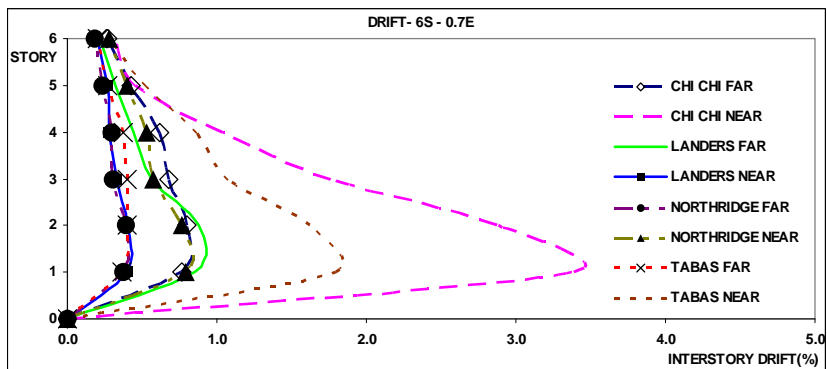
شکل (۴): نمودار پوشش آور قاب 0.9e - 0.12s.



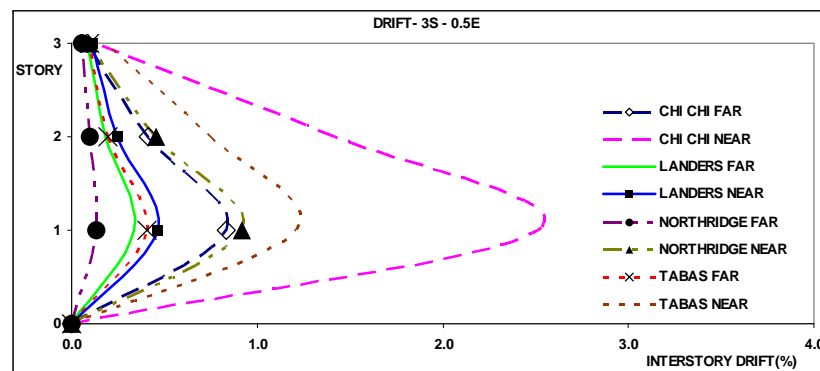
شکل (۷): نمودار تغییر مکان ماکزیمم قاب 0.9e - 0.12s.



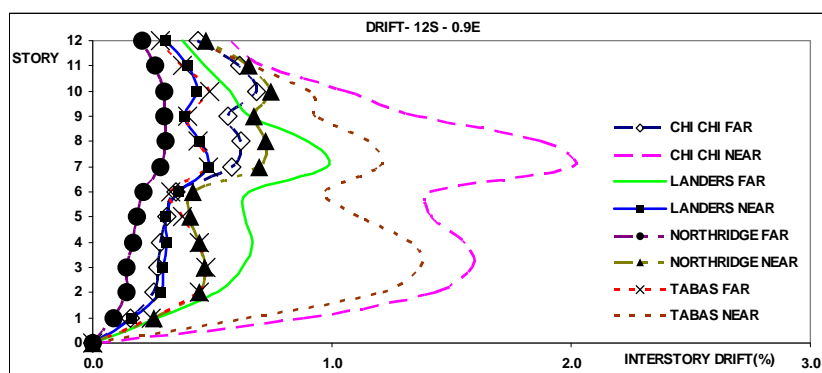
شکل (۶): نمودار تغییر مکان ماکزیمم قاب 0.7e - 0.6s.



شکل (۹): نمودار تغییر مکان نسبی ماکزیمم قاب 6s - 0.7e.



شکل (۸): نمودار تغییر مکان نسبی ماکزیمم قاب 3s - 0.5e.



شکل (۱۰): نمودار تغییر مکان نسبی ماکزیمم قاب 12s - 0.9e.

برابر ۱,۶۵ و ۱,۶۴ و ۱,۸۹ توصیه می‌گردد که این اعداد تطابق ضمنی خوبی با ضرایب تشدید ارائه شده توسط آیین نامه UBC97 دارد.

و در محدوده بررسی این تحقیق ضریب تشدید برش پایه، به منظور در نظر گرفتن تاثیرات رکوردهای نزدیک گسل برای قابهای ۳ و ۶ و ۱۲ طبقه به ترتیب

نسبت برش پایه رکورد نزدیک گسل به رکورد دور از گسل برای قابهای مورد بررسی در جداول (۱۱) الی (۱۳) آورده شده‌اند که با توجه به اعداد ارائه شده در این جدول

جدول (۷): ماکزیمم تغییر مکان نسبی قابهای ۳ طبقه

		CHI-CHI		LANDERS		NORTHRIDGE		TABAS		$0.4R \times \Delta_S$	$0.7R \times \Delta_S$
		FAR	NEAR	FAR	NEAR	FAR	NEAR	FAR	NEAR		
3S-0.5e	MAX . DRIFT(%)	0.834	2.513	0.335	0.460	0.130	0.917	0.407	1.212	0.161	0.282
	NO. STORY	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3S-0.7e	MAX . DRIFT(%)	0.981	3.010	0.417	0.465	0.120	1.070	0.488	1.378	0.202	0.354
	NO. STORY	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3S-0.9e	MAX . DRIFT(%)	1.101	3.447	0.454	0.488	0.233	1.209	0.625	1.676	0.253	0.443
	NO. STORY	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

جدول (۸): ماکزیمم تغییر مکان نسبی قابهای ۶ طبقه

		CHI-CHI		LANDERS		NORTHRIDGE		TABAS		$0.4R \times \Delta_S$	$0.7R \times \Delta_S$
		FAR	NEAR	FAR	NEAR	FAR	NEAR	FAR	NEAR		
6S-0.5e	MAX . DRIFT(%)	0.595	2.775	0.81	0.404	0.344	0.74	0.335	1.592	0.319	0.558
	NO. STORY	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4
6S-0.7e	MAX . DRIFT(%)	0.764	3.392	0.853	0.403	0.376	0.793	0.368	1.8	0.365	0.639
	NO. STORY	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
6S-0.9e	MAX . DRIFT(%)	0.794	3.963	0.739	0.509	0.413	0.782	0.498	1.96	0.433	0.758
	NO. STORY	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2

جدول (۹): ماکزیمم تغییر مکان نسبی قابهای ۱۲ طبقه

		CHI-CHI		LANDERS		NORTHRIDGE		TABAS		$0.4R \times \Delta_S$	$0.7R \times \Delta_S$
		FAR	NEAR	FAR	NEAR	FAR	NEAR	FAR	NEAR		
12S-0.5e	MAX . DRIFT(%)	0.53	1.851	0.701	0.45	0.33	0.63	0.43	1.08	0.71	1.236
	NO. STORY	7	7	7	7	7	7	7	7	11	11
12S-0.7e	MAX . DRIFT(%)	0.56	1.921	0.83	0.46	0.30	0.67	0.43	1.16	0.751	1.314
	NO. STORY	7	7	7	7	7	7	7	7	11	11
12S-0.9e	MAX . DRIFT(%)	0.58	2.01	0.98	0.48	0.28	0.70	0.48	1.20	0.80	1.404
	NO. STORY	7	7	7	7	7	7	7	7	11	11

جدول (۱۰): ضریب نزدیکی به حوزه (N_v) UBC97

SEISMIC SOURCE TYPE	CLOSEST DISTANCE TO KNOW SEISMIC			
	$\leq 2km$	5km	10km	15km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

جدول (۱۱): نتایج نسبت برش پایه رکورد نزدیک به رکورد دور زلزله‌های مورد بررسی برای قاب ۳ طبقه

	CHI-CHI	LANDERS	NORTHRIDGE	TABAS
3S-0.5e	1.55	1.31	1.8	1.6
3S-0.7e	1.47	1.21	2	1.6
3S-0.9e	1.39	1.20	1.85	1.56
Average	1.47	1.24	1.88	1.59

جدول (۱۲): نتایج نسبت برش پایه رکورد نزدیک به رکورد دور زلزله‌های مورد بررسی برای قاب ۶ طبقه

	CHI-CHI	LANDERS	NORTHRIDGE	TABAS
6S-0.5e	1.93	1.34	1.4	1.82
6S-0.7e	1.75	1.40	1.38	1.76
6S-0.9e	1.76	1.53	1.3	1.65
Average	1.81	1.42	1.36	1.74

جدول (۱۳): نتایج نسبت برش پایه رکورد نزدیک به رکورد دور زلزله‌های مورد بررسی برای قاب ۱۲ طبقه

	CHI-CHI	LANDERS	NORTHRIDGE	TABAS
12S-0.5e	2.2	1.72	1.76	1.56
12S-0.7e	2.23	1.51	1.95	1.62
12S-0.9e	2	1.40	2	1.7
Average	2.14	1.54	1.90	1.63

۳-۶- شکل پذیری

افزون (مقایسه شده است. نتایج بیانگر این است که قابهای مورد بررسی که بر اساس ضوابط آیین نامه UBC97 طراحی شده‌اند، نیاز شکل‌پذیری رکوردهای دور از گسل را به خوبی تامین می‌کنند، در صورتی که در تمام موارد نیاز به شکل‌پذیری رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از شکل‌پذیری ظرفیت قابهای مورد بررسی می‌باشد.

Δ_y نظیر اولین نقطه تسلیم درسازه است. شکل‌پذیری محاسبه شده بدین طریق شکل‌پذیری نیاز قاب مورد نظر، تحت رکورد زلزله مربوطه می‌باشد. در جداول (۱۴) الی (۱۶) شکل‌پذیری نیاز نظیر هر دو دسته از رکوردهای دور و نزدیک گسل با مقدار شکل‌پذیری موجود (ظرفیت) قابهای مورد بررسی (شکل‌پذیری حاصل از آنالیز بار

جدول (۱۴): مقایسه شکل‌پذیری نیاز و موجود قابهای ۳ طبقه

		شکل‌پذیری ظرفیت	شکل‌پذیری تقاضا		نسبت شکل‌پذیری تقاضا به ظرفیت	
			FAR	NEAR	FAR	NEAR
CHI-CHI	3S-0.5E	12.3	5.7	18.1	0.46	3.18
	3S-0.7E	12.8	5.3	17.8	0.41	3.36
	3S-0.9E	11.34	5.1	18.3	0.45	3.59
LANDERS	3S-0.5E	12.3	2.6	4.5	0.21	1.73
	3S-0.7E	12.8	3	3.5	0.23	1.17
	3S-0.9E	11.34	2.4	3.3	0.21	1.38
NORTHRIDGE	3S-0.5E	12.3	1.5	6.5	0.12	4.33
	3S-0.7E	12.8	1	6.3	0.08	6.30
	3S-0.9E	11.34	1.5	3.4	0.13	2.27
TABAS	3S-0.5E	12.3	2.6	8	0.21	3.08
	3S-0.7E	12.8	2.7	10.6	0.21	3.93
	3S-0.9E	11.34	2.7	8	0.24	2.96

جدول (۱۵): مقایسه شکل‌پذیری نیاز و موجود قابهای ۶ طبقه

		شکل‌پذیری ظرفیت	شکل‌پذیری تقاضا		نسبت شکل‌پذیری تقاضا به ظرفیت	
			FAR	NEAR	FAR	NEAR
CHI-CHI	6S-0.5E	9.2	5.3	10.9	0.58	2.06
	6S-0.7E	10.7	6.4	11.5	0.60	1.80
	6S-0.9E	9.9	4.3	12.6	0.43	2.93
LANDERS	6S-0.5E	9.2	5	2.2	0.54	0.44
	6S-0.7E	10.7	4.8	1.9	0.45	0.40
	6S-0.9E	9.9	3.7	2.3	0.37	0.62
NORTHRIDGE	6S-0.5E	9.2	1.7	4.5	0.18	2.65
	6S-0.7E	10.7	1.5	6.2	0.14	4.13
	6S-0.9E	9.9	1.6	6.4	0.16	4.00
TABAS	6S-0.5E	9.2	2.6	12.2	0.28	4.69
	6S-0.7E	10.7	2	12.5	0.19	6.25
	6S-0.9E	9.9	2.5	12.8	0.25	5.12

جدول (۱۶): مقایسه شکل‌پذیری نیاز و موجود قابهای ۱۲ طبقه

		شکل‌پذیری ظرفیت	شکل‌پذیری تقاضا		نسبت شکل‌پذیری تقاضا به ظرفیت	
			FAR	NEAR	FAR	NEAR
CHI-CHI	12S-0.5E	9.2	5.3	10.9	0.58	2.06
	12S-0.7E	10.7	6.4	11.5	0.60	1.80
	12S-0.9E	9.9	4.3	12.6	0.43	2.93
LANDERS	12S-0.5E	9.2	5	2.2	0.54	0.44
	12S-0.7E	10.7	4.8	1.9	0.45	0.40
	12S-0.9E	9.9	3.7	2.3	0.37	0.62
NORTHRIDGE	12S-0.5E	9.2	1.7	4.5	0.18	2.65
	12S-0.7E	10.7	1.5	6.2	0.14	4.13
	12S-0.9E	9.9	1.6	6.4	0.16	4.00
TABAS	12S-0.5E	9.2	2.6	12.2	0.28	4.69
	12S-0.7E	10.7	2	12.5	0.19	6.25
	12S-0.9E	9.9	2.5	12.8	0.25	5.12

۴-۶- حلقه‌های پسماند

پاسخ تاریخیچه زمانی برش پایه نسبت به تغییر مکان بام (حلقه پسماند) برای قابهای ۱۲و۳،۶ طبقه با طول تیر پیوند $0.7e_{crit}$ برای رکوردهای دوروزنزدیک زلزله‌های Chi-Chi و TABAS ترسیم گردیده‌اند و برخی از آنها در اشکال (۱۱) الی (۱۳) نشان داده شده‌اند. باتوجه به این شکلهای مشخص است که انرژی تحمیلی ناشی از رکوردهای نزدیک گسل در مقایسه با رکوردهای دورازگسل خیلی زیاد می‌باشد و لذا به منظور مقابله با این انرژی تحمیلی نیاز به سازه‌ای با شکل‌پذیری بالا می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری

۱- نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به مشخصات ویژه رکوردهای نزدیک گسل، سازه‌ها رفتار متفاوتی را تحت اثر این رکوردها از خود نشان می‌دهند. هر چند نتایج عددی بدست آمده در این تحقیق کاملاً به مشخصات قابهای طراحی شده و رکوردها و سایر عوامل از جمله شرایط ساختگاهی سایت بستگی دارد ولی با این وجود بطور کل می‌توان این نتیجه را که سازه‌ها تحت اثر این رکوردها رفتار متفاوتی دارند را قبول نمود.

۲- نیاز تغییر مکانی رکوردهای نزدیک گسل در مقایسه با نیاز تغییر مکانی رکوردهای دور از گسل بیشتر بوده، ماکزیمم تغییر مکان نسبی تحت رکوردهای نزدیک گسل در قابهای ۳و۶ طبقه در طبقه اول و در قابهای ۱۲ طبقه در طبقات میانی (طبقه ۷) رخ می‌دهد. علت این امر بدان دلیل است که با افزایش $\frac{TP}{T}$ در مدلها، میزان مشارکت و تاثیر مدهای بالاتر در پاسخ سازه بیشتر

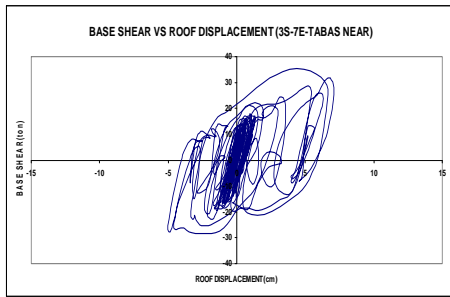
می‌شود. بنابراین محتوی فرکانسی بالای زلزله‌های نزدیک گسل، طبقات بالاتر را بیشتر تحت تاثیر قرار می‌دهد.

۳- مقادیر برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی خطی و غیر خطی تاریخیچه زمانی برای رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از رکوردهای دور از گسل می‌باشد لذا به نظر می‌رسد که اگر قرار باشد همین قابها را تحلیل استاتیکی معادل نمود باید در آن صورت برای حالت نزدیک گسل برش پایه بالاتری را در نظر گرفت. ضریب تشدید حاصل از این تحقیق برای قابهای ۳و۶و۱۲ طبقه به ترتیب برابر ۱،۶۵ و ۱،۶۴ و ۱،۸۵ می‌باشد که تطابق خوبی با نتایج آیین نامه UBC97 که در جدول (۱۵) ارائه شده است، دارد.

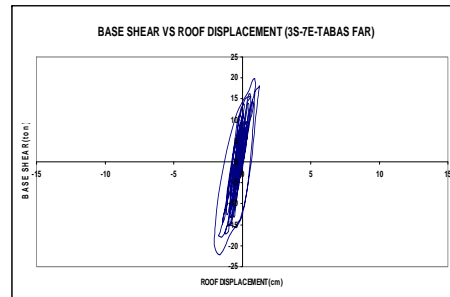
۴- شکل‌پذیری نیاز زلزله‌های نزدیک گسل، در مقایسه با شکل‌پذیری نیاز زلزله‌های دور از گسل بیشتر بوده و لذا به منظور مقاومت در برابر زلزله‌های نزدیک گسل باید سازه شکل‌پذیرتری را طراحی نمود.

۵- ضریب تشدید برش پایه با افزایش پیوند سازه که منجر به بزرگتر شدن $\frac{TP}{T}$ می‌گردد، برای یک زلزله مشخص افزایش می‌یابد. لذا پیشنهاد می‌شود این موضوع که حتی در آیین نامه UBC97 نیز در نظر نگرفته نشده است با تحلیل مدل‌های بیشتر تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل مختلفی در آیین نامه منظور گردد.

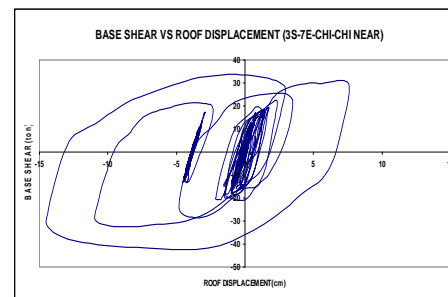
۶- حلقه پسماند نظیر رکورد نزدیک گسل در تمام قابها نشان از اعمال انرژی بالا در مقایسه با رکورد دور از گسل می‌باشد که این مطلب تأکیدی دوباره به تهیه و طراحی سازه‌های با قابلیت استهلاک انرژی بالا برای مقابله با اثرات زلزله‌های نزدیک گسل می‌باشد.



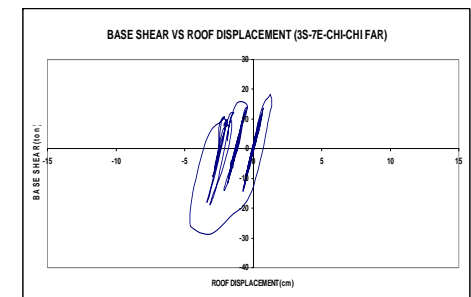
شکل (د-۱۱): حلقه پسماند قاب ۳ طبقه تحت رکورد نزدیک گسل TABAS



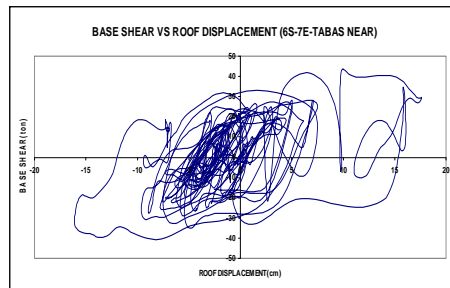
شکل (ج-۱۱): حلقه پسماند قاب ۳ طبقه تحت رکورد دور از گسل TABAS



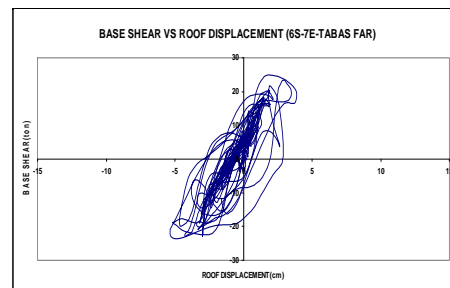
شکل (ب-۱۱): حلقه پسماند قاب ۳ طبقه تحت رکورد نزدیک گسل Chi-Chi



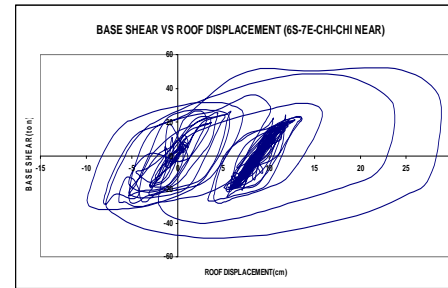
شکل (الف-۱۱): حلقه پسماند قاب ۳ طبقه تحت رکورد دور از گسل Chi-Chi



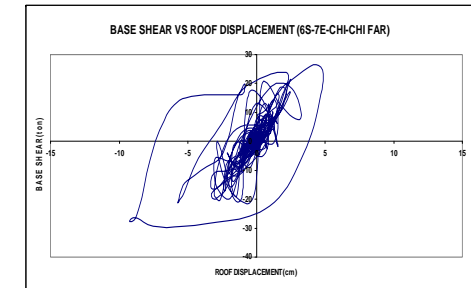
شکل (د-۱۲): حلقه پسماند قاب ۶ طبقه تحت رکورد نزدیک گسل TABAS



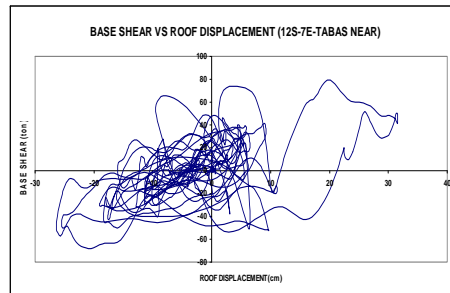
شکل (ج-۱۲): حلقه پسماند قاب ۶ طبقه تحت رکورد دور از گسل TABAS



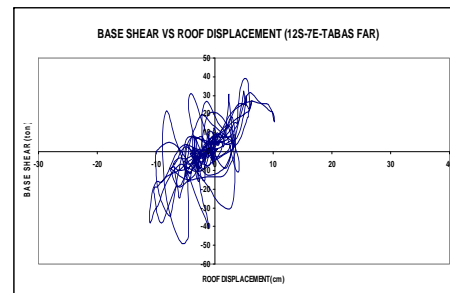
شکل (ب-۱۲): حلقه پسماند قاب ۶ طبقه تحت رکورد نزدیک گسل Chi-Chi



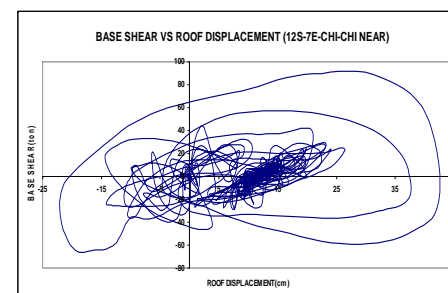
شکل (الف-۱۲): حلقه پسماند قاب ۶ طبقه تحت رکورد دور از گسل Chi-Chi



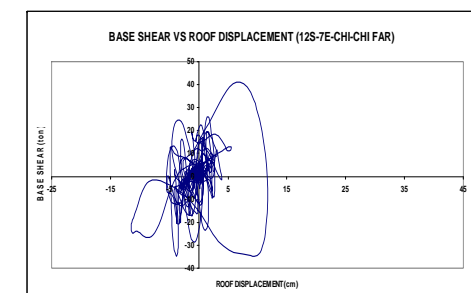
شکل (د-۱۳): حلقه پسماند قاب ۱۲ طبقه تحت رکورد نزدیک گسل TABAS



شکل (ج-۱۳): حلقه پسماند قاب ۱۲ طبقه تحت رکورد دور از گسل TABAS



شکل (ب-۱۳): حلقه پسماند قاب ۱۲ طبقه تحت رکورد نزدیک گسل Chi-Chi



شکل (الف-۱۳): حلقه پسماند قاب ۱۲ طبقه تحت رکورد دور از گسل Chi-Chi

- 1-John F. Hall, "Parameter Study of the Response of Moment Resisting Steel Frame Building to near Source Ground Motion", Report NO. EERI 95-08, 1995.
- 2- Smolka, A; Rauch. E, "The Earthquake of Northridge 1994 and Kobe 1995-Lessons for Risk Assessment and loss Prevention with Special Reference to Earthquake Insurance ", Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Pergamon, Elsevier Science Ltd, [Oxford, England] ,Disc 4,Paper NO1847,1996.
- 3- Iwan,W.D,"The Drift Demand Spectrum and its Application to Structural Design and Analysis", Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Pergamon, Elsevier Science Ltd, [Oxford, England], Disc 2, Paper NO1116,1996.
- 4- Filiatrault, Ander; Tremblay, Robert, "Seismic Retrofit of Steel Moment Resisting Frames with Passive Friction Energy Dissipating Systems", Proceedings Of the NEHREP Conference and Workshop on Research on the Northridge, California Earthquake January 17, 1994, California Universities for Research in Earthquake Engineering (CUREe), Richmond, California, pp III-554---III-561,1998.
- 5- C.Allin Cornell, Nicolas Luco, "The Effect of Connection Fractures on Steel Moment Resisting Frame Seismic Demands and Safety", A Report on SAC Phase II Task 5.4.6,Final Draft,February,1999.
- 6-Somerville, Paul. "Characterizing Near-Fault Ground Motion for the Design and Evaluation of Bridges". Principal Seismologist.URS Corp. Pasadena CA 91101.2001.
- 7- Sinan Akkar and Polat Gulkan, "A Near-Fault Design Spectrum and its Drift Limits", Fourth International Conference of Earthquake Engineering and Seismology, CD-ROM, p.BS-17, 2003.
- 8- Decanini, Luis & Mollaioli, Fabrizio & Saragoni, Rodolfo. Energy and Displacement Demand Imposed by Near-Source Ground Motions. 12WCEE. New Zealand. Paper 1136,2000.
- 9- UBC-97 (Uniform Building Code), Volume 2, Structural engineering design provisions.
- ۱۰- آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله / استاندارد ۲۸۰۰ / ویرایش دوم / انتشارات مرکز تحقیقات مسکن / ۱۳۷۸.
- ۱۱- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمانهای فولادی) / دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان / ۱۳۷۸.
- ۱۲- آیین نامه حداقل بار وارده بر ساختمانها و ابنیه فنی(استاندارد ۵۱۹) / دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان / ۱۳۷۹.