

## تخمین نیاز لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی ویژه در حوزه نزدیک گسل

محسن گرامی<sup>۱\*</sup> و داود عبداللهزاده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

<sup>۲</sup> مریم آموزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پردیس، تهران

### چکیده

در حوزه نزدیک گسل، اثرات جهت‌پذیری پیش‌رونده باعث ایجاد نگاشتهای پالسی شکل پریود بلند با مدت زمان مؤثر کوتاه و دامنه بزرگ در تاریخچه زمانی سرعت حرکت زمین می‌شود که این مسئله باعث افزایش نیاز شکل‌پذیری برای سازه‌ها می‌شود. به دلیل رواج استفاده از روش‌های خطی برای تحلیل و طراحی سازه‌ها به جهت تخمین و کنترل تغییر شکل‌های سازه توسط مهندسین و با توجه به قرارگیری تعدادی از شهرهای ایران در محدوده نزدیک گسل، در این مطالعه نیاز برش پایه و تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های خمشی فولادی تحت اثرات جهت‌پذیری پیش‌رونده در حوزه نزدیک گسل با تغییرات ارتفاع مورد بررسی قرار گرفته است؛ به طوری که با استفاده از روش‌های استاتیکی خطی، دینامیکی خطی و دینامیکی غیر خطی، نیاز لرزه‌ای ۵ مدل قاب خمشی فولادی  $۵, ۳, ۱۰, ۱۵$  و  $۲۰$  نگاشت زلزله حاوی اثرات جهت‌پذیری پیش‌رونده و جهت‌پذیری خنثی بررسی شد. مقایسه نتایج روش‌های خطی با نتایج حاصل از  $100$  تحلیل دینامیکی غیر خطی نشان داد نسبت برش پایه حوزه نزدیک به دور از گسل با افزایش پریود تجربی سازه با شبیب  $\%40$  افزایش می‌یابد. همچنین روش‌های خطی دقت کافی برای تخمین نیاز تغییر مکان قاب‌های خمشی را ندارند. چنان که به طور میانگین  $\%14$  و حداقل  $\%50$  تخمین غیر محافظه‌کارانه‌ای در حوزه نزدیک گسل ارائه می‌دهند. در پایان، روابط تجربی برای تخمین تقریبی نیازهای لرزه‌ای قاب‌های خمشی و اصلاح جابجایی نسبی طبقات در حوزه نزدیک گسل ارائه شده است.

**واژگان کلیدی:** جهت‌پذیری پیش‌رونده، جهت‌پذیری خنثی، حوزه دور از گسل، برش پایه، تغییر مکان نسبی طبقه، تحلیل استاتیکی، تحلیل دینامیکی.

پیش‌رونده می‌باشد، باعث می‌شود تا قسمت بزرگی از انرژی زلزله در یک یا دو پالس به طور ناگهانی به سازه وارد شود [۴-۶]. در حوزه نزدیک به گسل مؤلفه افقی عمود بر سطح گسل بیشترین اثر را در پاسخ سازه‌ها دارد و اثر این مؤلفه غالب بر مؤلفه افقی موازی با گسل و مؤلفه قائم به سطح زمین می‌باشد. در صورتی که برای کارایی سازه مهم باشد، ارتعاش قائم به سطح زمین در نواحی نزدیک گسل نیز بایستی تخمین زده شود [۷]. تحقیقات نشان می‌دهند که افزایش دو پارامتر نسبت پریود پالس به پریود اصلی سازه‌ها و افزایش نسبت اوج شتاب زمین به سختی جانبی سازه‌ها، پاسخ غیر خطی و خسارات سازه‌ای در مناطق نزدیک گسل افزایش می‌یابد. به علاوه تمرکز تغییر شکل‌ها در قسمت‌های پایین سازه باعث افزایش نیروی محوری ستون‌ها و شدت یافتن اثر P-Δ در طبقات پایین سازه می‌گردد [۸]. بررسی‌ها نشان می‌دهند بسته به خصوصیات زمین‌لرزه‌های حوزه نزدیک گسل و مشخصات ارتعاشی سازه، توزیع حداقل نیاز شکل‌پذیری طبقات در ارتفاع سازه متفاوت خواهد بود [۹-۱۲]. به طوری که در بعضی موارد پایین سازه و در برخی دیگر قسمت‌های بالای سازه بحرانی بوده است. بعضی از مطالعات نحوه

بعد از زلزله ۱۹۶۶ پارکفیلد<sup>۱</sup> در کالیفرنیا و زلزله ۱۹۷۱ پاکویما<sup>۲</sup> در سانفرناندو، بولت<sup>۳</sup> در سال ۱۹۷۵ برای نخستین بار به پالس‌های سرعت حوزه نزدیک گسل اشاره کرد [۱]. با این که اثرات نزدیک گسل در گذشته شناخته شده بود، اما اهمیت این موضوع در طراحی سازه‌های مهندسی عمران به خوبی درک نشده بود تا این که زلزله‌های مخرب همچون زلزله ۱۹۹۲ لندرز، زلزله ۱۹۹۴ نورثیچ<sup>۴</sup>، زلزله ۱۹۹۵ کوبه<sup>۵</sup> ژاپن و زلزله ۱۹۹۹ چی‌چی<sup>۶</sup> تایوان به وقوع پیوست [۲، ۳]. این گونه از زمین‌لرزه‌ها که در نزدیکی یک گسل فعال رخ می‌دهند. دارای نگاشتهای سرعت پالسی شکل با پریود پالس بلند هستند که دارای یک یا چند نقطه اوج سرعت<sup>۷</sup> می‌باشند. وجود پالس‌های سرعت در نگاشتهای حوزه نزدیک گسل که ناشی از اثرات جهت‌پذیری

1- Parkfield

2- Pacoima

3- Bolt

4- Northridge

5- Kobe

6- Chi-Chi

7- Peak velocity

برای مدل‌های ۳ و ۵ طبقه،  $1750 \text{ kg/m}$ ، برای مدل‌های ۷ و ۱۰ طبقه  $2083 \text{ kg/m}$  و برای مدل ۱۵ طبقه  $2250 \text{ kg/m}$  می‌باشد. همچنین بار زنده بام برای همه مدل‌ها  $750 \text{ kg/m}$  در نظر گرفته شده است.

بارگذاری لرزه‌ای بر مبنای آیین‌نامه طرح لرزه‌ای ایران ویرایش سوم می‌باشد. تمامی مدل‌ها برای مناطق با خطر لرزه‌ای خیلی زیاد در شرایط ساختگاهی خاک سفت (خاک نوع ۳ در استاندارد  $2800$  ویرایش سوم) طراحی شده‌اند. آیین‌نامه طرح لرزه‌ای ایران اوج شتاب زمین معادل با  $g = 0.35$  را در مناطق با خطر لرزه‌ای بالا برای  $10\%$  احتمال رخداد زلزله در  $50$  سال عمر مفید سازه پیشنهاد نموده است. این آیین‌نامه، شتاب اوج متفاوتی برای حوزه نزدیک گسل ارائه نکرده است. به عبارت دیگر در آیین‌نامه طرح لرزه‌ای ایران ویرایش سوم برای یک سطح خطر یکسان، اوج شتاب زمین (PGA) در حوزه دور و نزدیک گسل یکسان فرض شده است. سایر پارامترهای طرح لرزه‌ای شامل پریود اصلی سازه، درجه اهمیت ۱ (برای ساختمنهای مسکونی)، ضریب رفتار  $10$ ، محدودیت حدکش تغییر مکان نسبی و اثرات P-Δ در تحلیل و طراحی سازه‌ها مطابق با استاندارد  $2800$  ویرایش سوم در نظر گرفته شده است. در این مطالعه از مصالح فولادی با جنس فولاد ST37 و مشخصات تنش تسلیم  $2400 \text{ kg/cm}^2$ ، مقاومت نهایی  $3600 \text{ kg/cm}^2$ ، مدول الاستیسیته  $2/1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  و نسبت پواسون  $0.3$  برای طراحی و ارزیابی مدل‌های سازه‌ای استفاده شده است. در روند طراحی همه اجزای سازه‌ای از نوع مقاطع فشرده لرزه‌ای انتخاب شده‌اند و طراحی تیرها با فرض تکیه‌گاه جانبی کافی انجام شده است. شکل (۱) جزئیات مدل‌های سازه‌ای را نشان می‌دهد.

توزیع تغییر شکل‌های سازه در ارتفاع را وابسته به نسبت پریود سازه به پریود پالس سرعت در حوزه نزدیک گسل می‌دانند [۹]. [۱۳]

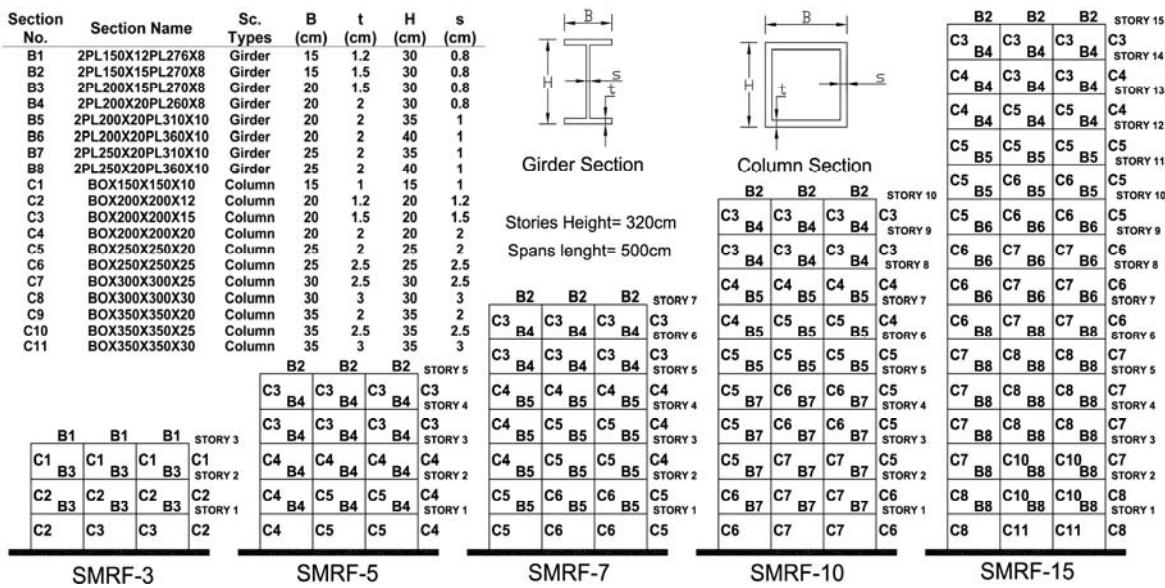
مشاهدات دیگر حاکی از این است که اثرات حوزه نزدیک گسل با در نظر گرفتن اثر پرتتابه‌ای (fling step، جابه‌جایی ماندگار زمین در راستای موازی با گسل در گسل‌های امتدادلغز) باعث تحریک سازه در مود اول و ارتعاشات موج گونه بدون اثر پرتتابه‌ای باعث تحریک مودهای بالاتر سازه می‌گردد [۱۴].

در روش‌های طراحی لرزه‌ای رایج ابتدا اجزای سازه بر اساس مقاومت تحت بارهای ثقلی و جانبی طراحی می‌شوند. سپس با استفاده از کنترل تغییر مکان نسبی طبقات، پایداری کلی سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر نیاز شکل‌پذیری طبقات به نحوی با کنترل جابه‌جایی‌های طبقات لحظه می‌گردد. با توجه به اهمیت زلزله‌های نزدیک گسل و قرار گرفتن شهرهای بزرگی همچون تهران، تبریز، اردبیل، بجنورد و ... در محدوده نزدیک گسل، بررسی ضوابط طرح لرزه‌ای در این زمینه امری اجتناب‌ناپذیر است. از آنجا که تحلیل و طراحی سازه‌ها با استفاده از روش‌های خطی رواج بسیاری بین مهندسین دارد، در این مطالعه ابتدا به بررسی اثرات جهت‌پذیری پیش‌روندۀ<sup>۱</sup> بر نیاز لرزه‌ای (برش پایه و تغییر مکان نسبی طبقات) قاب‌های خمشی فولادی پرداخته شده است. سپس با مقایسه نیاز تغییر مکان نسبی طبقات حاصل از روش‌های خطی با نتایج روش دینامیکی غیر خطی در حوزه دور و نزدیک گسل، دقت و صحت روش‌های خطی برای تخمین نیاز تغییر مکان نسبی طبقات مورد بحث قرار گرفته است و در انتهای روابطی برای تخمین برش پایه و تغییر مکان نسبی طبقات در حوزه نزدیک گسل براساس داده‌های دور از گسل پیشنهاد شده است.

## ۲- جزئیات طراحی و تحلیل دینامیکی غیر خطی مدل‌ها

### ۲-۱- طراحی مدل‌های سازه‌ای

در این مطالعه،  $5$  مدل دو بعدی قاب خمشی فولادی  $3$  دهانه با ارتفاع طبقات  $2$  و  $3$  متر و طول دهانه  $5$  متر که شامل قاب‌های خمشی  $3$ ،  $5$ ،  $7$ ،  $10$  و  $15$  طبقه می‌شوند، بررسی شده است. بارگذاری ثقلی بر اساس آیین‌نامه بارگذاری ایران انجام شده است به طوری که بار مرده و زنده طبقات به جز بام برای کل مدل‌ها به ترتیب  $2500 \text{ kg/m}$  و  $1000 \text{ kg/m}$  و بار مرده بام



شکل ۱- مدل‌های سازه‌ای استفاده شده در این مطالعه

مناطق قسمت عمده انرژی زلزله ( $90\%$ ) در مدت دوام بیشتری (در حدود  $30$  تا  $100$ ٪ بیشتر) نسبت به حوزه نزدیک گسل به سازه اعمال می‌شود [۶].

همه شتابنگاشتهای مورد استفاده در این مطالعه از زلزله-های با بزرگی بیش از  $6/5$  می‌باشند که در ایستگاه‌های با خاک سفت (نوع  $3$  در دسته‌بندی استاندارد  $2800$  ویرایش سوم) [۱۸] ثبت شده‌اند. مطابق با مراجع [۴، ۵ و ۱۲ و ۱۳] برای بررسی مدل‌های سازه‌ای تحت اثر جهت‌پذیری پیش‌روندۀ نگاشتهای حوزه نزدیک گسل به نحوی انتخاب شدند که اولاً، نگاشتهای دارای مدت زمان مؤثر کوتاه، دامنه بزرگ و اثرات پالس‌گونه با پریود بلند (بیش از  $0.7s$ ) در نگاشت سرعت باشند. دوماً، حداکثر فاصله محل ثبت نگاشتهای تا گسل مسیب از  $15$  کیلومتر تجاوز نکند. سوماً، نگاشتهای نزدیک گسل به نحوی انتخاب شدند که نسبت به نگاشتهای دور از گسل دارای نسبت PGV/PGA بیشتری باشند و در آخر، مقادیر طیف پاسخ آن‌ها در محدوده پریود بلند ( $T > 1s$ ) نسبت به محدوده دور از گسل بیشتر باشد. مطابق با مرجع [۵] برای جلوگیری از اثرات تعداد سیکل نوسان در زمین لرزه‌های دور از گسل با PGA ناچیز، زلزله‌های دور از گسل در محدوده با اثر جهت‌پذیری خنثی با PGA  $> 0.1g$  انتخاب شدند. جدول (۱) نگاشتهای مورد استفاده در تحلیل دینامیکی غیر خطی را نشان می‌دهد. برای بررسی روش‌های خطی نیاز به طیف‌های ویژه ساختگاه در حوزه دور و نزدیک گسل می‌باشد. برای در نظر گرفتن اثرات زلزله‌های شدیدتر در طیف ویژه ساختگاه براساس بند (۱-۶-۴).

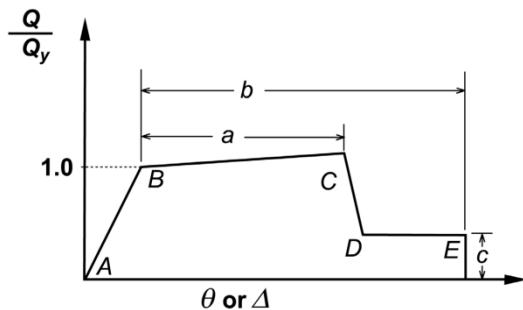
## ۲-۲- زلزله‌های مورد استفاده در این مطالعه

در حوزه نزدیک گسل، هنگامی که سرعت انتشار موج برشی زلزله نزدیک به سرعت گسترش شکست گسل باشد و همچنین جهت‌گیری گسترش شکست گسل به سمت ساختگاه باشد، آن‌گاه در ساختگاه اثرات جهت‌پذیری پیش‌روندۀ ایجاد می‌شود که به صورت ارتعاشات قوی زمین دارای خاصیت پالسی شکل با پریود بلند و تعداد نوسان کم، مدت زمان مؤثر کوتاه و دامنه زیاد در نگاشت سرعت زمین دیده می‌شود [۱، ۴ و ۱۵]. ارتعاشات پالسی شکل ناشی از جهت‌پذیری پیش‌روند در بیشتر مواقع در راستای عمود بر صفحه گسل ایجاد می‌شوند [۱، ۴]. اثر دیگر جهت‌پذیری پیش‌روندۀ اثر پرتتابهای زمین (تغییر شکل‌های ماندگار زمین) است که در راستای موازی با لغزش گسل رخ می‌هد [۴]. در حوزه نزدیک گسل ارتعاشات پالسی شکل ناشی از جهت‌پذیری پیش‌روندۀ اثرات مخرب تری بر روی سازه‌ها نسبت به سایر مؤلفه‌های حوزه نزدیک گسل (در جهت عمود بر راستای گسل) دارد [۱۴-۱]. بزرگی زلزله، شرایط ساختگاهی، پریود پالس سرعت و نقطه اوج تاریخچه زمانی سرعت نقش مهمی در افزایش اثرات جهت‌پذیری پیش‌روندۀ ارتعاشات حوزه نزدیک دارند [۴، ۵ و ۱۶]. اثرات جهت‌پذیری پیش‌روندۀ با افزایش فاصله از گسل کاهش می‌باشد تا جایی که این اثرات به کلی محو می‌شوند، در این حالت مناطق تحت اثر جهت‌پذیری خنثی هستند [۵ و ۱۵]. در مناطق با جهت‌پذیری خنثی ارتعاشات زمین به صورت نوسان‌های رفت و برگشتی با دامنه و پریود کمتر پدیدار می‌شوند. همچنین در این

مشاهدات فوق تطبیق خوبی با مقایسه طیف طرح حوزه دور و نزدیک گسل در مطالعات Saiidi و Somerville [۱۷] دارد.

**۳-۲- جزئیات مدل‌سازی و تحلیل دینامیکی غیر خطی برای مدل‌سازی و تحلیل دینامیکی غیر خطی قاب‌های خمی شکل (۱) از نرم‌افزار 3D v4 Perform مطابق با فرضیات زیر استفاده شده است.**

(الف) با توجه به طراحی اجزای سازه‌ای با شکل پذیری بالا براساس آیین نامه طرح لرزه‌ای ایران، مفاصل پلاستیک براساس رابطه نیرو-تغییر مکان برای اجزای سازه‌ای شکل پذیر مطابق شکل (۳) در نظر گرفته شده است. برای تعیین پارامترهای a, b و c در شکل (۳) از ضوابط FEMA356 [۲۰] برای اجزای شکل پذیر استفاده شده است. لازم به ذکر است اتصالات تیرها و ستون‌ها صلب فرض شده اند.



شکل ۳- رابطه نیرو- تغییر شکل برای اجزای سازه‌ای

شکل پذیر [۲۰]

ب) در تحلیل دینامیکی غیر خطی اثرات P-Δ منظور گردیده است.

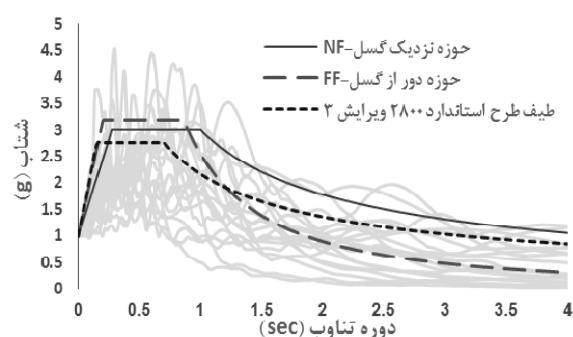
پ) ۵٪ میرایی بحرانی برای تحلیل دینامیکی مدل‌ها در نظر گرفته شده است.

د) آیین نامه طرح لرزه‌ای ایران (ویرایش سوم) برای مناطق با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد با ۱۰٪ احتمال رخداد زلزله در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان، اوج شتاب (PGA)  $0.35g$  را برای طراحی ساختمان‌های جدید ارائه نموده است. این آیین نامه در سطح خطر فوق مقادیر دیگری برای اوج شتاب زمین (PGA) در حوزه نزدیک گسل پیشنهاد ننموده است. با توجه به این که در این مطالعه هدف بررسی رفتار مدل‌های سازه‌ای با فرض سطح خطر یکسان در حوزه دور و نزدیک گسل می‌باشد، برای همین، با فرض سطح خطر یکسان مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم، شتاب نگاشتهای جدول (۱) به اوج شتاب زمین  $0.35g$

(۲) در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (۱۳۸۱) [۱۹]. از میانگین به علاوه انحراف معیار استاندارد طیف پاسخ نگاشتهای معرفی شده در جدول (۱) در حوزه دور و نزدیک گسل برای تهیه طیف ویژه ساختگاه مطابق با شکل (۳) استفاده شده است. در شکل (۳) مقادیر طیف ویژه ساختگاه نزدیک گسل در پریود  $0.7$  ثانیه از مقادیر طیف دور از گسل بیشتر است. به طوری که در پریود  $2$  ثانیه مقادیر طیف نزدیک گسل تقریباً به دو برابر مقادیر طیف دور از گسل می‌رسد.

جدول ۱- نگاشتهای مورد استفاده در این مطالعه

محل زلزله	سال	ایستگاه	فاصله (km)
Denali, Alaska	۲۰۰۲	PumpStation #10	۲/۷۴
Bam,Iran	۲۰۰۳	Bam	۱۵>
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	CHY101	۹/۹۶
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU068	۰/۳۲
Imperial Valley	۱۹۷۹	CDMG 5158	۱/۳۵
Northridge	۱۹۹۴	DWP 74	۵/۳۵
Silakhor ,Iran	۲۰۰۶	Chalan Choolan	۱۵>
Kocaeli, Turkey	۱۹۹۹	Yarimca	۴/۸۳
Zanjiran,Iran	۱۹۹۴	Meymand	۱۵>
Kobe, Japan	۱۹۹۵	Takatori	۱/۴۷
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	CHY065	۸۳/۴۳
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TAP095	۱۰۹/۰۱
Loma Prieta	۱۹۸۹	CDMG 58224	۷۲/۲
Loma Prieta	۱۹۸۹	CDMG 58472	۷۴/۲۶
Kobe, Japan	۱۹۹۵	HIK	۹۵/۷۲
Loma Prieta	۱۹۸۹	CDMG 58223	۵۸/۶۵
Manjil, Iran	۱۹۹۰	Qazvin	۴۹/۹۷
Northridge	۱۹۹۴	CDMG 13122	۸۲/۳۲
Tabas, Iran	۱۹۷۸	Ferdows	۹۱/۱۴
Kocaeli, Turkey	۱۹۹۹	Bursa Tofas	۶۰/۴۳



شکل ۲- مقایسه طیف ویژه ساختگاه در حوزه دور و نزدیک گسل با طیف استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۳ در مناطق با خطر لرزه‌ای خیلی زیاد

مطابق شکل (۴)، با استفاده از خط برآش شده در نقاط حاصل از نتایج میانگین به علاوه انحراف معیار برش پایه حوزه نزدیک گسل به میانگین نتایج برش پایه دور از گسل در مقابل تغییرات پریود، رابطه (۱) حاصل می‌گردد.

$$\frac{V_{nf}}{V_{ff}} = 0.394T + 0.9814 \quad (1)$$

بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۳، رابطه ارتفاع قاب‌های خمشی با پریود مود اول ارتعاش مطابق رابطه (۲) می‌باشد.

$$T = 0.08h^{\frac{3}{4}} \quad (2)$$

با جایگذاری رابطه (۲) در رابطه (۱)، رابطه نسبت برش پایه نزدیک گسل به برش پایه حوزه دور از گسل با تغییر ارتفاع قاب‌های خمشی در رابطه (۳) حاصل می‌گردد.

$$\frac{V_{nf}}{V_{ff}} = 0.032h^{\frac{3}{4}} + 1 \quad (3)$$

در روابط (۱) تا (۳)،  $V_{nf}/V_{ff}$  نسبت برش پایه حوزه نزدیک به حوزه دور از گسل،  $T$ ، پریود مود اصلی ارتعاش قاب خمشی و  $H$  ارتفاع سازه بر حسب متر می‌باشد.

با استفاده از رابطه (۳) می‌توان برش پایه حوزه نزدیک گسل را از نتایج برش پایه حوزه دور از گسل برای قاب‌های خمشی عمود بر خط گسل به طور محافظه کارانه‌ای برای مناطق دارای شدت یکسان زمین لرزه در حوزه دور و نزدیک گسل در سطح خطر ثابت تخمین زد. از آن‌جا که در بیشتر مواقع در سطح خطر ثابت شدت‌های متفاوتی از زمین لرزه ناشی از چشممه‌های لرزه‌ای دور و نزدیک  $(PGA_{(NF)} \neq PGA_{(FF)})$  در یک ساختگاه دیده می‌شود، لذا رابطه (۳) بایستی برای در نظر گرفتن تفاوت شدت زمین لرزه در حوزه دور و نزدیک گسل در سطح خطر معین اصلاح گردد. در این حالت با فرض رابطه مستقیم و خطی بین نسبت شتاب مبنای طرح (A) با برش پایه سازه بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم مطابق با رابطه (۴)، می‌توان با ضرب نمودن رابطه (۳) در نسبت اوج شتاب زمین در حوزه نزدیک به اوج شتاب حوزه دور از گسل ( $PGA_{(NF)}/PGA_{(FF)}$ )، عدم یکسان بودن شدت زلزله در حوزه نزدیک و دور از گسل را

برای حوزه دور و نزدیک گسل مقیاس شده‌اند. البته لازم به ذکر است که برای مقاصد طراحی بایستی از سایر روش‌های معرفی شده در استاندارد ۲۸۰۰ برای مقیاس کردن نگاشته‌های واقعی زلزله استفاده شود.

ه) مطابق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم در بررسی نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی هرگاه تعداد نگاشته‌ها از ۷ عدد بیشتر باشد، می‌توان از میانگین نتایج استفاده نمود. برای همین در این مطالعه از میانگین نتایج حوزه دور و نزدیک گسل استفاده شده است.

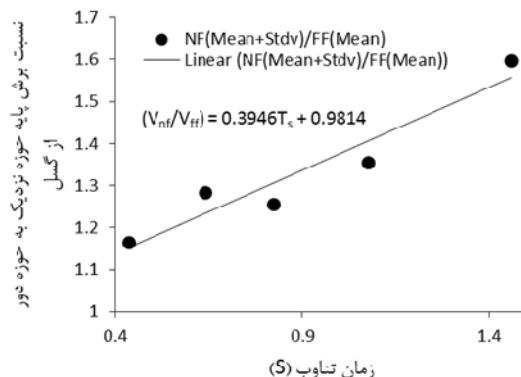
### -۳- برش پایه قاب‌ها خمشی تحت اثر جهت‌پذیری پیش-رونده

میانگین نتایج برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی در جدول (۲) مقایسه شده است.

جدول ۲- میانگین نتایج برش پایه (Ton)

محل ساختگاه	۳ طبقه	۵ طبقه	۷ طبقه	۱۰ طبقه	۱۵ طبقه
حوزه دور	۳۹	۵۸/۲	۶۹/۸	۷۱/۸	۸۵/۸
حوزه نزدیک	۴۳/۲	۶۸/۵	۸۰/۴	۹۱/۸	۱۳۱/۵

برای تعیین رابطه تغییرات برش پایه با تغییرات ارتفاع قاب‌های خمشی ویژه، به طور محافظه کارانه‌ای نمودار نسبت میانگین به علاوه انحراف معیار برش پایه با اثرات جهت‌پذیری پیش‌رونده به میانگین نتایج حاصل از نگاشته‌های دور از گسل برای هر یک از مدل‌ها به پریود مود اول سازه در شکل (۴) رسم گردیده است.



شکل ۴- منحنی برآش شده نسبت میانگین به علاوه انحراف معیار نتایج برش پایه حوزه نزدیک گسل به میانگین نتایج برش پایه حوزه دور از گسل با تغییرات پریود مدل‌ها

کننده خواهد بود [۹]. همچنین پریوود پالس تأثیر بسزایی در توزیع تغییر مکان‌های نسبی طبقات و آسیب‌پذیری سازه در ارتفاع دارد. به نحوی که با افزایش پریوود پالس نسبت به پریوود سازه نیاز تغییر مکان نسبی طبقات به سمت قسمت‌های پایین سازه انتقال می‌یابد [۹]. تحقیقات نشان می‌دهند در حوزه نزدیک گسل تحت تأثیرات جهت‌پذیری پیش‌رونده رفتار سازه می‌تواند به صورت نرم یا سخت باشد [۲۱]. بررسی نسبت نیاز به ظرفیت اجزای سازه‌ای و توزیع انرژی هیسترسیس در ارتفاع قاب‌های خمشی در حوزه نزدیک گسل تحت ارتعاشات پالسی شکل با پریوود بیش از ۰/۰ ثانیه نشان می‌دهد حداقل نیاز شکل‌پذیری طبقات سازه برای مدل‌های بلند مرتبه (بیش از ۱۰ طبقه) در یک سوم پایین سازه و در مدل‌های کوتاه مرتبه (۷ طبقه و کوتاه‌تر) در نیمه پایین قاب‌های خمشی رخ می‌دهد [۱۲]. در ادامه مطالعات فوق، به منظور تخمین میزان افزایش نیاز تغییر مکان نسبی طبقات در بخش‌های مختلف ارتفاع قاب‌های خمشی فولادی در حوزه نزدیک گسل، تغییر مکان نسبی حداقل طبقات مدل‌های معروف شده در شکل (۱) با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی در شکل (۴) مقایسه شده است. نتایج حاکی از افزایش نیاز تغییر مکان‌های نسبی طبقات تحت اثرات جهت‌پذیری پیش‌رونده در حدود ۱/۱ تا ۱/۶ برابر برای مدل‌های کوتاه مرتبه و در حدود ۱/۳ تا ۳ برابر برای مدل‌های بلند مرتبه نسبت به حوزه دور از گسل می‌باشد. بررسی نسبت میانگین تغییر مکان نسبی طبقات حوزه نزدیک به دور از گسل برای هر یک از مدل‌ها در شکل (۵) نشان می‌دهد میزان افزایش تغییر مکان نسبی طبقات برای مدل‌های ۳، ۵، ۷، ۱۰ و ۱۵ طبقه هم در ارتفاع سازه مشابه می‌باشد. برای مدل‌های ۱۰ و ۱۵ طبقه به این موضوع می‌توان به طور کلی میزان افزایش تغییر مکان نسبی طبقات را برای حوزه نزدیک گسل برای مدل‌های کوتاه و بلند مرتبه تخمین زد. برای تعیین میزان افزایش تغییر مکان نسبی حوزه نزدیک گسل میانگین نتایج نسبت تغییر مکان نسبی حوزه نزدیک به دور از گسل برای مدل‌های کوتاه مرتبه و بلند مرتبه برای هر یک از طبقات محاسبه شد و سپس نتایج در مقابل ارتفاع نسبی مدل‌ها در شکل (۷) ترسیم گردید. سپس با برآش یک خط از میانگین نسبت جابجایی نسبی حوزه نزدیک به حوزه دور برای مدل‌های کوتاه و بلند مرتبه یک رابطه خطی تقریبی به دست آمد.

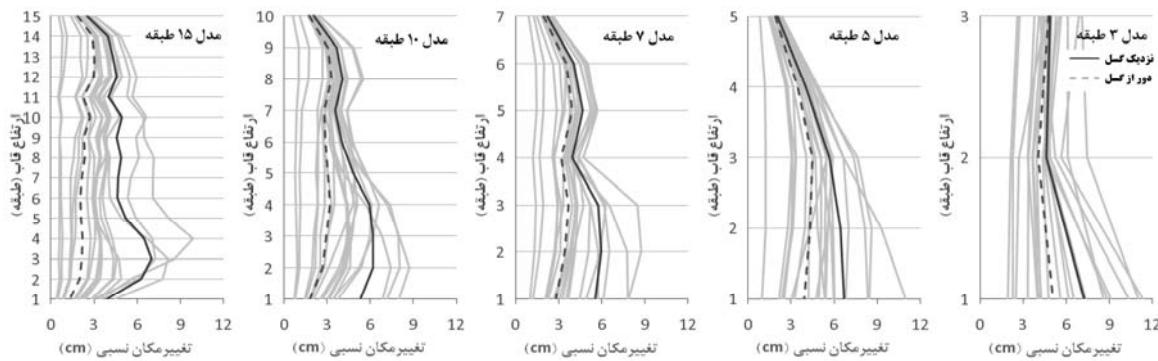
در سطح خطر ثابت مطابق با رابطه (۵) به طور تقریبی در نظر گرفت.

$$V = \frac{ABI}{R} \times W \quad (4)$$

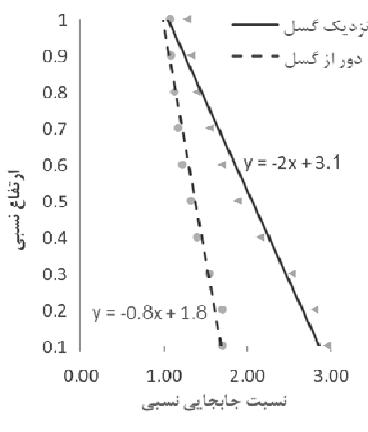
$$\frac{V_{nf}}{V_{ff}} = \frac{A_{nf}}{A_{ff}} \left[ 0.032 h^{\frac{3}{4}} + 1 \right] \quad (5)$$

پارامترهای روابط (۴) و (۵) مطابق تعاریف استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم شامل  $V$  برش پایه،  $A$  نسبت شتاب مبنای طرح (اوج شتاب زلزله به شتاب ثقل  $g$ )،  $B$  ضریب بازتاب ساختمان،  $I$  ضریب اهمیت ساختمان،  $R$  ضریب رفتار ساختمان،  $W$  وزن ساختمان،  $A_{nf}$  نسبت شتاب مبنای طرح در محدوده حداقل تا ۱۵ کیلومتری از گسل و  $A_{ff}$  حداقل نسبت شتاب مبنای طرح چشم‌های لرزه‌ای دوره از ساختگاه در محدوده با جهت‌پذیری خنثی می‌باشد.  $A_{nf}$  و  $A_{ff}$  با استفاده از تحلیل خطر لرزه‌ای بر اساس روش احتمالاتی برای یک دور بازگشت معین برای چشم‌های لرزه‌ای دور و نزدیک به ساختگاه قابل تعیین خواهند بود. با استفاده از رابطه (۵) می‌توان برش پایه قاب‌های خمشی را برای چشم‌های لرزه‌ای نزدیک به ساختگاه با استفاده از برش پایه حاصل از چشم‌های لرزه‌ای دور به طور تقریبی تخمین زد. این رابطه می‌تواند برای روش‌های خطی و به طور محافظه کارانه‌تر برای روش‌های غیر خطی به کار گرفته شود. لازم به ذکر است که رابطه (۵) از برآش میانگین نتایج حاصل از این مطالعه حاصل شده است. لذا با توجه محدود بودن نگاشتهای مورد استفاده در این مطالعه و غیر تعیینی بودن پدیده زلزله، نتایج رابطه (۵) از جامعیت کافی برای تمامی حالات سازه‌ای و شرایط ساختگاهی برخوردار نمی‌باشد. به همین دلیل در کاربردهای مهم بایستی اثرات جهت‌پذیری براساس پارامترهای سازه و شرایط ساختگاه به طور دقیق ارزیابی گردد.

**۴- نیاز تغییر مکان نسبی طبقه در قاب‌های خمشی فولادی تحت تأثیر اثرات جهت‌پذیری پیش‌رونده**  
در تحقیقات گذشته مشاهده گردید نسبت پریوود پالس به پریوود سازه با اثرات پالسگونه جهت‌پذیری پیش‌رونده بر روی سازه‌ها وابسته است [۹ و ۱۳]. چنان که اگر این نسبت در محدوده  $\frac{1}{5} \leq T_{pulse}/T_{structure} \leq \frac{2}{5}$  قرار بگیرد، اثرات جهت‌پذیری پیش‌رونده بر نیاز تغییر مکان طبقات چشمگیر و تعیین



شکل ۵- مقایسه میانگین جابجایی نسبی طبقات (Drift) در حوزه دور و نزدیک گسل



شکل ۶- خط برآورد شده از میانگین نتایج نسبت جابجایی نسبی طبقات برای مدل‌های کوتاه و بلند مرتبه

با استفاده از روابط (۶) و (۷) می‌توان نیاز تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های خمشی فولادی را ناشی از یک چشمۀ لرزه‌ای نزدیک براساس اطلاعات چشمۀ لرزه‌ای دور با شدت زمین‌لرزه یکسان برای یک سطح خطر معین در روش دینامیکی غیر خطی تخمین زد. با توجه به آن که معمولاً به دلایل اثرات کاهنده‌گی خاک در یک سطح عملکرد معین شدت زمین‌لرزه حوزه دور و نزدیک گسل یکسان نمی‌باشد. لذا روابط فوق باقیتی برای عدم یکسان بودن شدت زمین‌لرزه حوزه دور و نزدیک گسل اصلاح گردد. به این منظور می‌توان به طور تقریبی با ضرب روابط (۶) و (۷) در نسبت شدت ارتعاش حوزه نزدیک گسل به حوزه دور ( $A_{nf}/A_{ff}$ ), اثرات اختلاف شدت زمین‌لرزه در سطح عملکرد معین را در نظر گرفت. روابط (۸) و (۹) نسبت نیاز تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل را به ترتیب برای مدل‌های کوتاه و بلند مرتبه تخمین می‌زنند.

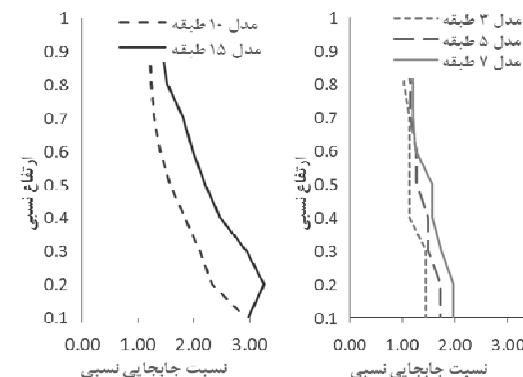
$$\frac{A_{i(nf)}}{A_{i(ff)}} = \frac{A_{nf}}{A_{ff}} \left[ -0.8 \times \left( \frac{h_i}{H} \right) + 1.8 \right] \quad (8)$$

نسبت تغییر مکان نسبی حوزه نزدیک به دور از گسل برای مدل‌های کوتاه مرتبه (کوتاه‌تر از ۱۰ طبقه) توسط رابطه (۶) و برای مدل‌های بلند مرتبه (۱۰ طبقه و بلندتر) در رابطه (۷) نشان داده شده است.

$$\frac{A_{i(nf)}}{A_{i(ff)}} = -0.8 \times \left( \frac{h_i}{H} \right) + 1.8 \quad (6)$$

$$\frac{A_{i(nf)}}{A_{i(ff)}} = -2 \times \left( \frac{h_i}{H} \right) + 3.1 \quad (7)$$

در روابط (۶) و (۷)،  $A_{i(nf)}$  و  $A_{i(ff)}$  به ترتیب تغییر مکان نسبی طبقه  $i$  ام در حوزه نزدیک و دور از گسل می‌باشد.  $h_i$  ارتفاع طبقه  $i$  ام از تراز پایه و  $H$  ارتفاع کل سازه از تراز پایه می‌باشد.



شکل ۶- نسبت نیاز تغییر مکان نسبی طبقات حوزه نزدیک به دور از گسل برای مدل‌های کوتاه و بلند مرتبه

تغییر شکل‌های سازه با استفاده از روش‌های تحلیل خطی سازه‌ها ارائه نموده‌اند. استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم برای تخمین تغییر مکان‌های واقعی طبقات سازه (تغییر مکان‌های غیر ارجاعی) رابطه (۱۰) را معرفی نموده است. در این رابطه تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل‌های ارجاعی با استفاده از ضریب ۰.۷R تبدیل به تغییر مکان‌های غیر ارجاعی می‌شود.

$$\Delta_M = 0.7R \times \Delta_W \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)،  $\Delta_M$ ، تغییر مکان نسبی طبقه حاصل از تحلیل‌های خطی، R ضریب رفتار سازه و  $\Delta_W$  تغییر مکان نسبی واقعی (غیر ارجاعی) طبقه می‌باشد. استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم استفاده از رابطه (۱۰) را برای تعیین تغییر شکل واقعی طبقات برای هر دو تحلیل استاتیکی و دینامیکی خطی پیشنهاد نموده است. دستورالعمل بهسازی سازه‌های موجود (نشریه ۳۶۰، ۱۳۸۱) برای تخمین تغییر مکان‌های واقعی طبقات ضرایب  $C_1$ ،  $C_2$  و  $C_m$  را پیشنهاد نموده است که به ترتیب ضریب اصلاح تغییر شکل‌های غیر ارجاعی، اثرات کاهش سختی و مقاومت اجزای سازه‌ای، اثر P-Δ و اثر مودهای بالاتر را شامل می‌شوند. این دستورالعمل برای تعیین تغییر مکان جانبی واقعی طبقات با استفاده از روش تحلیل استاتیکی خطی، ضرایب مذکور را در برش پایه اعمال می‌نماید اما در روش دینامیکی خطی ضرایب فوق را به طور مستقیم در نتایج تغییر مکان نسبی طبقات ضرب می‌نماید [۱۹]. به دلیل رواج روش‌های خطی<sup>۱</sup> LSP، استاتیکی خطی، LDP (دینامیکی خطی) برای تخمین تغییر مکان‌های نسبی طبقات در روند طراحی و ارزیابی لرزه‌ای قابهای خمشی، در ادامه صحت و دقت روش‌های فوق برای تخمین تغییر مکان‌های نسبی طبقات در حوزه نزدیک و دور از گسل برای مدل‌های معرفی شده مورد مطالعه قرار گرفته است. به این منظور تغییر مکان نسبی طبقات قابهای خمشی حاصل از روش‌های خطی با استفاده از طیف‌های معرفی شده در شکل (۲) برای هر یک از مدل‌ها تعیین گردید (FF، طیف ویژه ساختگاه دور از گسل، NF، طیف ویژه ساختگاه نزدیک گسل و ۲۸۰۰، طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم در مناطق با خطر خیلی زیاد برای زمین نوع ۳ می‌باشد). سپس نتایج حاصل از روش‌های خطی با تغییر مکان‌های نسبی واقعی که از تحلیل دینامیکی غیر خطی<sup>۲</sup>

$$\frac{A_{i(nf)}}{A_{if}} = \frac{A_{nf}}{A_{ff}} \left[ -2 \times \left( \frac{h_i}{H} \right) + 3.1 \right] \quad (9)$$

لازم به ذکر است به دلیل رابطه غیر خطی بین شدت زلزله و تغییر مکان نسبی طبقات، ضرب نسبت شدت زمین لرزه حوزه نزدیک به حوزه دور ( $A_{nf}/A_{ff}$ ) برای اصلاح روابط (۶) و (۷) از دقت کافی در روش تحلیل دینامیکی غیر خطی برخوردار نمی‌باشد. اما در روش‌های تحلیل خطی سازه‌ها صرف‌نظر از اثرات P-Δ، با توجه به رابطه خطی بین تغییر مکان جانبی سازه و شدت زلزله می‌توان با استفاده از روابط (۸) و (۹) تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌ها را ناشی از چشمۀ لرزه‌ای نزدیک بر اساس اطلاعات چشمۀ لرزه‌ای دور تخمین زد. همچنین با توجه به فرض‌های این مطالعه در استفاده از روابط (۸) و (۹) مقادیر  $A_{ff}$  و  $A_{nf}$  نبایستی کمتر از ۰.۱g و بیشتر از ۰.۵g در نظر گرفته شوند.

## ۵- بررسی روش‌های آبین‌نامه‌ای برای تخمین نیاز جابجایی نسبی طبقات قاب‌های خمشی فولادی

یکی از مراحل مهم در طراحی لرزه‌ای، تخمین و کنترل تغییرشکل‌های سازه است که باعث افزایش پایداری کلی ساختمان در هنگام زمین لرزه می‌گردد. محدود نمودن تغییرمکان‌های جانبی سازه به غیر از کنترل پایداری کلی سازه باعث جلوگیری از صدمه دیدن اجزای غیر سازه‌ای از جمله تجهیزات مکانیکی و اجزای معماری می‌شود. همچنین تغییر مکان نسبی طبقات می‌تواند معیاری از آرامش ساکنین ساختمان در مقابل جابجایی‌های ناشی از بار باد و میزانی از خسارات سازه‌ای باشد. بررسی‌ها نشان داده است مقادیر زاویه تغییر مکان نسبی طبقات می‌تواند نشان دهنده عملکرد اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای باشد به نحوی که در ۰/۰۰۱۰ آسیب‌دیدگی اجزای غیر سازه‌ای محتمل است، در ۰/۰۰۰۷ آسیب‌دیدگی اجزای غیر سازه‌ای تقریباً قطعی است و صدمات سازه‌ای محتمل می‌باشد. در ۰/۰۱۵ صدمات غیر سازه‌ای قطعاً رخ می‌دهد و آسیب‌های سازه‌ای احتمالاً رخ می‌دهد [۱۵]. دلیل دیگر محدود نمودن تغییر شکل‌های جانبی سازه، کنترل نمودن اثرات ثانویه همچون P-Δ به خصوص در حوزه نزدیک گسل است [۱۵]. با توجه به اهمیت کنترل تغییر شکل‌های سازه نسبی طبقات و پیچیدگی تعیین تغییر شکل‌های سازه با استفاده از روش‌های تحلیل دقیق سازه‌ها (تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی)، آبین‌نامه‌های طرح لرزه‌ای روش‌های ساده شده‌ای را برای تخمین

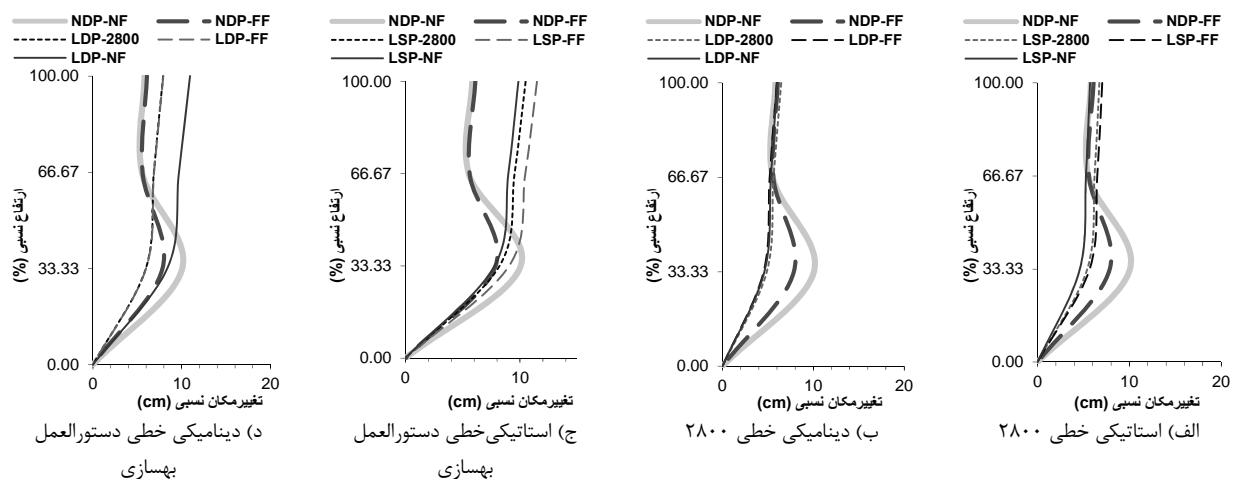
1- Linear Static Procedure (LSP)، Linear Dynamic Procedure (LDP)

2- Nonlinear Dynamic Procedure (NDP)

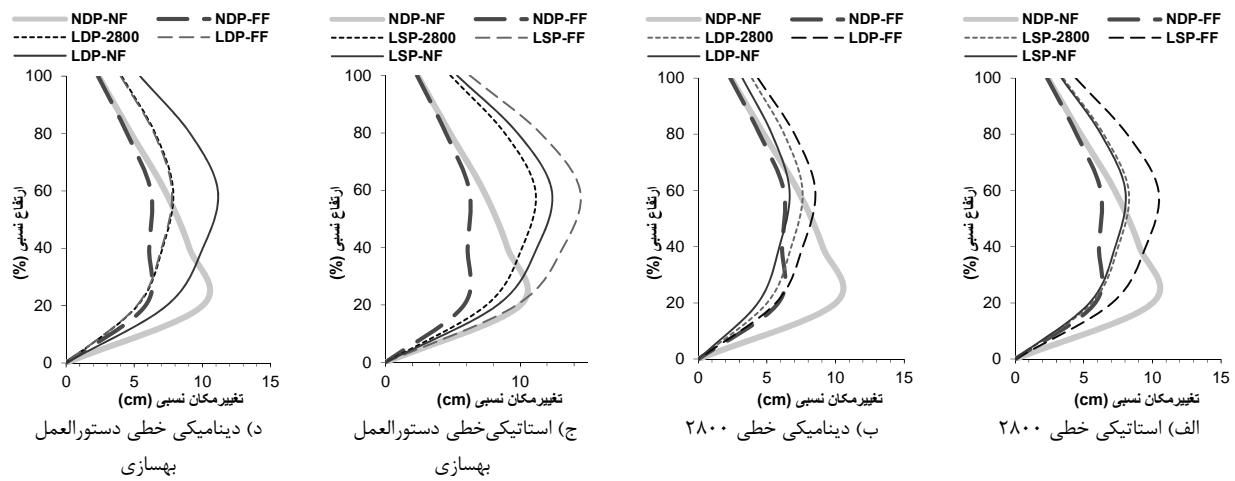
نتایج برای در نظر گرفتن اثرات زلزله‌های شدیدتر و در جهت اطمینان بیشتر می‌باشد.

مقایسه نیاز تغییر مکان نسبی حاصل از روش استاتیکی خطی (LSP) با روش دینامیکی غیر خطی در شکل‌های (۸) تا (۱۲) نشان می‌دهد در حوزه دور از گسل (FF) به جز مدل ۳ طبقه در سایر مدل‌ها نیاز تغییر مکان نسبی طبقات به طور محافظه کارانه‌ای در حدود  $1/2$  تا  $1/6$  برابر بیشتر پیش‌بینی شده است اما در حوزه نزدیک گسل مشاهده می‌گردد نیاز تغییر مکان نسبی طبقات در نیمه پایین سازه به خصوص برای مدل‌های کوتاه مرتبه (طبقات اول تا سوم) در حدود ۵ تا  $50$  درصد کمتر از نیاز واقعی طبقه تخمین زده است.

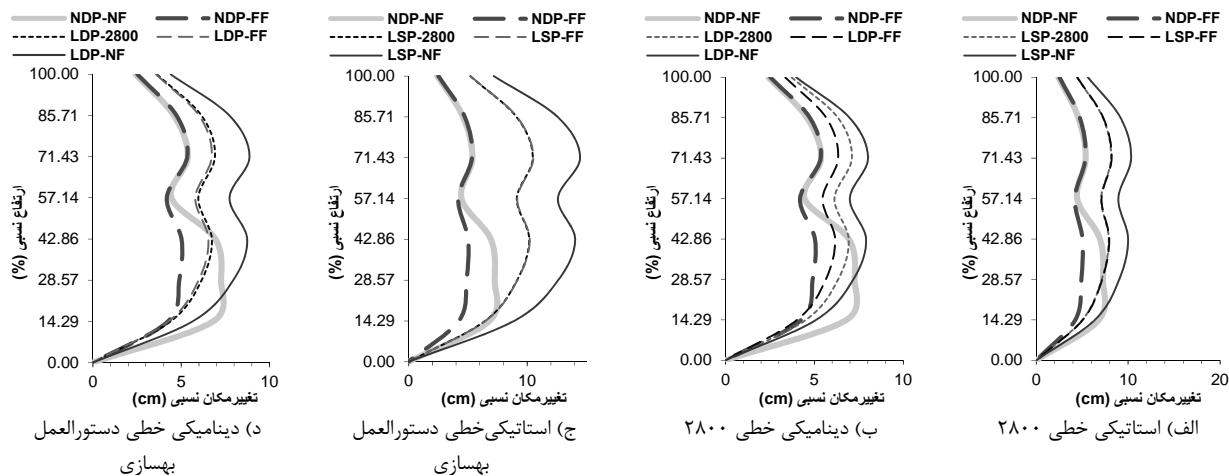
(NDP) به دست آمده بودند مقایسه گردید. شکل‌های (۸) تا (۱۲) مقایسه تغییر مکان نسبی حاصل از روش‌های خطی را با میانگین به علاوه انحراف معیار استاندارد نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی را در حوزه دور و نزدیک گسل نشان می‌دهد. شایان ذکر است برای انجام تحلیل‌های خطی از طیف میانگین به علاوه انحراف معیار استاندارد مطابق با بند (۱-۶-۴-۲) در دستورالعمل بهسازی (نشریه ۳۶۰، ۱۳۸۱) جهت تهیه طیف ویژه ساختگاه در حوزه دور و نزدیک گسل استفاده شده است. به همین دلیل برای مقایسه تغییر مکان‌های نسبی طبقات از میانگین به علاوه انحراف معیار استاندارد نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی استفاده شده است. استفاده از میانگین به علاوه انحراف معیار



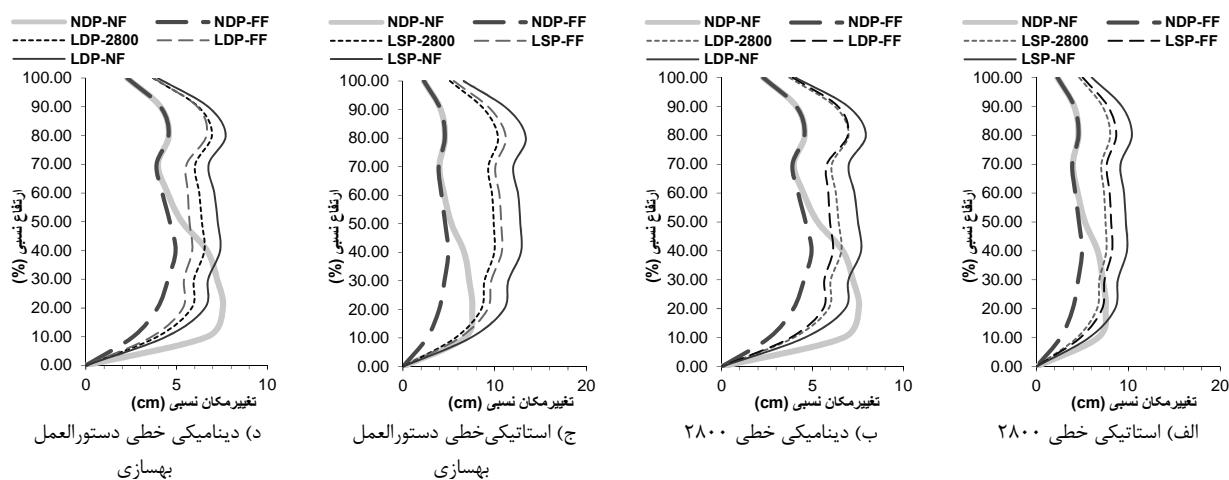
شکل ۸- مقایسه تغییر مکان‌های نسبی حاصل از روش‌های خطی با تغییر مکان‌های حاصل از روش دینامیکی غیر خطی در حوزه دور و نزدیک گسل در مدل ۳ طبقه



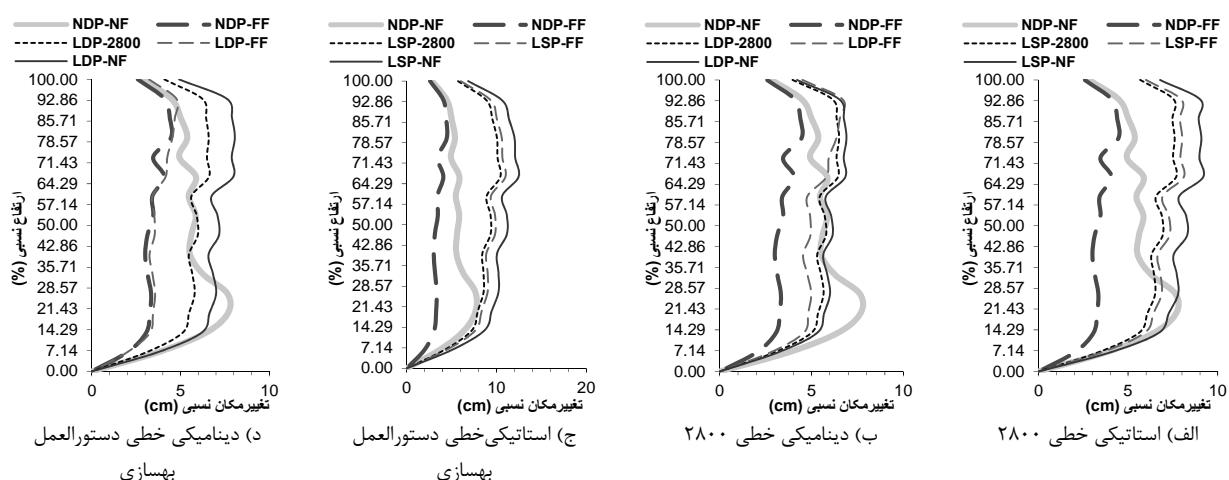
شکل ۹- مقایسه تغییر مکان‌های نسبی حاصل از روش‌های خطی با تغییر مکان‌های حاصل از روش دینامیکی غیر خطی در حوزه دور و نزدیک گسل در مدل ۵ طبقه



شکل ۱۰- مقایسه تغییر مکان‌های نسبی حاصل از روش‌های خطی با تغییر مکان‌های حاصل از روش دینامیکی غیر خطی در حوزه دور و نزدیک گسل در مدل ۷ طبقه



شکل ۱۱- مقایسه تغییر مکان‌های نسبی حاصل از روش‌های خطی با تغییر مکان‌های حاصل از روش دینامیکی غیر خطی در حوزه دور و نزدیک گسل در مدل ۱۰ طبقه



شکل ۱۲- مقایسه تغییر مکان‌های نسبی حاصل از روش‌های خطی با تغییر مکان‌های حاصل از روش دینامیکی غیر خطی در حوزه دور و نزدیک گسل در مدل ۱۵ طبقه

شکل‌های سازه نمی‌باشند. به همین دلیل ارائه روشی ساده و کارآمد برای اصلاح مقادیر تغییر مکان‌های نسبی در روش‌های خطی ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت کنترل تغییر مکان‌های نسبی طبقات در روند طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی ویژه، در این مطالعه براساس تحلیل‌های آماری از نتایج حاصل شده در ساختگاه نوع سه (بر مبنای دسته‌بندی استاندارد ۲۸۰۰)، برای اصلاح نتایج تغییر مکان‌های نسبی حاصل از روش‌های خطی ضرایب اصلاح مطابق با جداول (۳) تا (۶) پیشنهاد شده است.

همچنین با بررسی روش دینامیکی خطی مشاهده می‌گردد به جز مدل ۳ طبقه در حوزه دور از گسل تخمین مناسبی از تغییر مکان طبقات ارائه شده است اما در حوزه نزدیک گسل در تمامی مدل‌های مورد بررسی تغییر مکان‌های نسبی نیمه پایین سازه بین ۱۰ تا ۶۰ درصد کمتر از مقدار واقعی تخمین زده شده است. همچنین مقایسه روش‌های خطی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم و نسخه ۳۶۰ هم بیانگر تخمین بیشتر تغییر مکان‌های نسبی طبقات در حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد توسط دستورالعمل بهسازی ساختمان‌های موجود (نسخه ۳۶۰) می‌باشد.

همان طور که مشاهده گردید روش های خطی به خصوص در حوزه نزدیک گسل دارای دقت کافی برای تخمین تغییر

جدول ۳- ضرایب اصلاح تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های خمسی فولادی برای روش استاتیکی خطی استاندارد ۲۸۰۰ و پراش سوم

**جدول ۴- ضرایب اصلاح تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های خشمی فولادی برای روش دینامیکی خطی استاندارد ۲۸۰۰ و پرایش سوم**

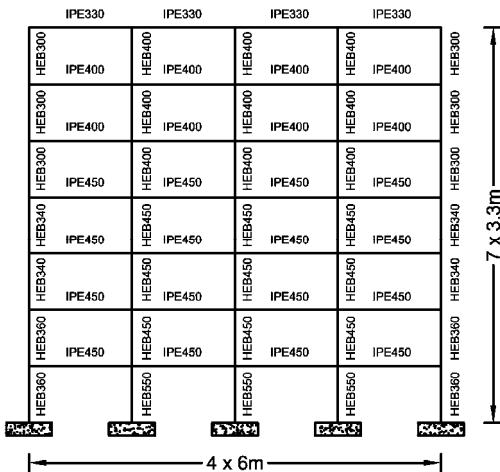
• تا ۳۰٪ ارتفاع سازه		• تا ۱۵٪ ارتفاع سازه		طبقه اول				زمان تنابو تجربی (S)
۱/۵	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	
۱	۱	۱	۱	۱/۰۵	۱/۲	۱/۸۷	۲	حوزه دور از گسل
۱/۹	۱/۹	۱/۸۵	۱/۸۵	۱/۸۵	۲/۳	۲/۳	۲/۳	حوزه نزدیک گسل
• تا ۳۰٪ ارتفاع سازه		• تا ۱۵٪ ارتفاع سازه		طبقه دوم				زمان تنابو تجربی (S)
۱/۵	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱/۱	۱/۱۵	حوزه دور از گسل
۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۱/۳	۱/۲	حوزه نزدیک گسل

جدول ۵- ضرایب اصلاح تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های خمثی فولادی برای روش استاتیکی خطی دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای (۱۳۸۱)

طبقه اول								زمان تناوب تجربی (S)
۰ تا ۱۵٪ ارتفاع سازه				طبقه اول				
۱/۵	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	حوزه دور از گسل
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	حوزه نزدیک گسل
۱	۱	۱	۱	۱/۰۳	۱/۱۲	۱/۱۳۱	۱/۱۴۲	ضریب اصلاح برای سایر طبقات ۱ می باشد.

جدول ۶- ضرایب اصلاح تغییر مکان نسبی طبقات قاب‌های خمشی فولادی برای روش دینامیکی خطی دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای (۱۳۸۱)

۰ تا ۳۰٪ ارتفاع سازه				طبقه اول				زمان تنابع تجربی (S)
۱/۵	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	
۱	۱	۱	۱	۱	۱/۱۳	۱/۲۸	۱/۴۲	حوزه دور از گسل
۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	حوزه نزدیک گسل
ضریب اصلاح برای سایر طبقات ۱ می‌باشد.								



شکل ۱۲- مدل ۷ طبقه قاب خمشی فولادی ویژه

جدول ۷- شتاب‌نگاشتهای زلزله سوبر استیشن هیلز در حوزه دور و نزدیک (Superstition Hills, USA, 1987)

ایستگاه 5061 USGS (حوزه دور از گسل R=27km)		
حالت جهت‌پذیری	حداکثر شتاب	نام مؤلفه
خنثی	۰/۱۸ g	B-CAL225
خنثی	۰/۲۵ g	B-CAL315
(R=18km CDMG 1335) (حوزه نزدیک)		
حالت جهت‌پذیری	حداکثر شتاب	نام مؤلفه
پیش‌رونده (غیر پالسی)	۰/۳۵ g	B-ICC000
پیش‌رونده (پالسی شکل)	۰/۲۶ g	B-ICC090

جدول ۸- تخمین برش پایه در حوزه نزدیک گسل براساس نتایج حوزه دور از گسل برای روش‌های استاتیکی و دینامیکی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم و تحلیل دینامیکی غیر خطی

خطا (%)	مقدار دقیق	برش تخمینی	ضریب تبدیل (رابطه (۵))	حوزه دور (ton)	روش تحلیل
٪۷	۵۹/۸۷	۶۳/۹۴	۱/۹۳	۳۳/۰۷	استاتیکی
٪۶	۴۸/۰۱	۵۱/۰۵	۱/۹۳	۲۶/۴	دینامیکی
٪۱۵	۱۱/۹۵	۱۳/۸	۱/۹۳	۷۱/۳۶	دینامیکی غیر خطی

#### ۶- تخمین برش پایه و تغییر مکان نسبی طبقات قاب-

##### های خمشی فولادی در حوزه نزدیک گسل

در این بخش با استفاده از اطلاعات لرزه‌ای یک چشم‌های لرزه‌زا در حوزه دور از گسل، نیاز طراحی، شامل برش پایه و تغییر مکان نسبی طبقات در حوزه نزدیک گسل با استفاده از روابط (۵) و (۸) برای یک مدل قاب خمشی فولادی ویژه ۷ طبقه در شکل (۱۲) تخمین زده شده است و با مقادیر دقیق آن در حوزه نزدیک گسل مقایسه گردیده است.

جدول (۷) اطلاعات حوزه دور و نزدیک از یک چشم‌های لرزه‌زا را نشان می‌دهد. مطابق بند (۴-۱-۴-۲-۴-۲-پ) در استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم از جذر مجموع مربعات طیف پاسخ دو مؤلفه برای تحلیل استاتیکی و طیفی و تعیین اوج شتاب دو مؤلفه افقی استفاده شده است. در جدول (۸) میزان برش پایه طراحی با استفاده از ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم با دو روش تحلیل استاتیکی و دینامیکی خطی برای زوج مؤلفه در حوزه دور از گسل تعیین شده است. سپس مقدار برش پایه حوزه نزدیک گسل با استفاده از رابطه (۵) تخمین زده شده است. همچنین در تحلیل دینامیکی غیر خطی از نگاشت B-CAL225 در حوزه دور از گسل استفاده شده است و نتایج برش پایه حوزه نزدیک گسل تحت اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده برای نگاشت B-ICC090 تخمین زده شده است. با بررسی جدول (۸) ملاحظه می‌گردد مقادیر تخمین زده شده برش پایه، نزدیک به مقادیر واقعی می‌باشد و حداقل خطا ۱۵ درصد در جهت اطمینان است. همچنین نیاز جابجایی نسبی طراحی طبقات ۱، ۴ و ۷ برای مدل شکل (۱۲) در جدول (۹) برای روش‌های استاتیکی خطی، دینامیکی طیفی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم و تحلیل دینامیکی غیر خطی براساس رابطه (۸) آورده شده است. چنان که مشاهده می‌شود در طبقات پایین به طور محافظه کارانه‌ای به طور میانگین جابجایی نسبی در حدود ۵۰ درصد بیشتر و در طبقه بالایی به طور میانگین در حدود ۵ تا ۲۰ درصد کمتر تخمین زده شده است.

د) با توجه به افزایش چشمگیر نیازهای لرزه‌ای قاب‌های خمشی در حوزه نزدیک گسل و کمبود دسترسی به اطلاعات لرزه‌ای در حوزه نزدیک گسل، به منظور تخمینی از نیاز طراحی در حوزه نزدیک گسل، در این مطالعه روابط تجربی برای تخمین تقریبی نیاز طراحی قاب‌های خمشی در حوزه نزدیک گسل ارائه شد.

#### ۸- مراجع

- [1] Bolt, B. A., "Seismic Input Motions for Nonlinear Structural Analysis", Journal of Earthquake Technology, 2004, 41 (2), 223-232.
- [2] Choi, I., Kim, M. K., Choun, Y., Seo, J., "Shaking Table Test of Steel Frame Structures Subjected to Scenario Earthquakes", Journal of the Nuclear Engineering and Technology, 2005, 37 (2), 901.
- [3] Galal, K., Ghobarah, A., "Effect of near-Fault Earthquakes on North American Nuclear Design Spectra", Nuclear Engineering and Design, 2006, 236 (18), 1928-1936.
- [4] Stewart, J. P., Chiou, S., Bray, J. D., Graves, R. W., Somerville, P. G., Abrahamson, N. A., "Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design", Research Report Conducted under Grant No. EEC-9701568 from the National Science Foundation, University of California, Berkeley, CA 94720-1792, 2001.
- [5] Gerami, M., Abdollahzadeh, D., "Estimation of Forward Directivity Effect on Design Spectra in Near Field of Fault", Journal of Basic and Applied Scientific Research, 2012, 2 (9), 8670-8686.
- [6] Gerami, M., Abdollahzadeh, D., "Numerical Study on Energy Dissipation of Steel Moment Resisting Frames under Effect of Earthquake Vibrations", Advances in Acoustics and Vibration, 2014.
- [7] Bozorgnia, Y., Bertero, V. V., "Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering", CRC Press, New York, 2004, pp 138-211.
- [8] Anderson, J. C., Bertero, V. V., "Uncertainties Inestablishing Design Earthquake", Journal of Structural Engineering, 1987, 113 (8), 1709-1724.
- [9] Sehhati, R., Rodriguez-Marek, A., ElGawady, M., Cofer, W. F., "Effects of Near-Fault Ground Motions and Equivalent

جدول ۹- تخمین تغییر مکان نسبی طبقه (cm) برای حوزه نزدیک گسل بر اساس نتایج حوزه دور از گسل

الف) روش استاتیکی خطی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم					
خطا (%)	مقدار دقیق	مقدار تخمینی	ضریب اصلاح	حوزه دور	طبقه
٪۳۵	۴/۴۶	۶/۰۱	۲/۴۴	۲/۴۶	۱
٪۷	۸/۴۰	۹/۰۱	۱/۹۴	۴/۶۴	۴
-٪۲۰	۵/۱۵	۴/۱۱	۱/۴۵	۲/۸۵	۷
ب) روش دینامیکی خطی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم					
خطا (%)	مقدار دقیق	مقدار تخمینی	ضریب اصلاح	حوزه دور	طبقه
٪۲۲	۳/۵۶	۴/۷۰	۲/۴۴	۱/۹۳	۱
٪۳	۶/۵۳	۶/۷۶	۱/۹۴	۳/۴۸	۴
-٪۱۶	۳/۸۷	۳/۲۷	۱/۴۵	۲/۲۶	۷
ج) روش دینامیکی غیر خطی دستورالعمل بهسازی					
خطا (%)	مقدار دقیق	مقدار تخمینی	ضریب اصلاح	حوزه دور	طبقه
٪۶۸	۰/۹۹	۱/۶۶	۲/۴۲	۰/۶۸	۱
٪۲۲	۱/۷۲	۲/۱۱	۱/۹۳	۱/۰۹	۴
-٪۴	۰/۹۹	۰/۹۵	۱/۴۴	۰/۶۶	۷

#### ۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، نیاز طراحی قاب‌های خمشی فولادی شامل برش پایه و تغییر مکان‌های نسبی طبقات با استفاده از روش‌های تحلیلی استاتیکی خطی، دینامیکی خطی و دینامیکی غیر خطی در سطح خطر ثابت و با فرض اوج شتاب یکسان (PGA یکسان) در حوزه دور و نزدیک گسل مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گردیدند.

الف) نسبت برش پایه در حوزه نزدیک به حوزه دور از گسل با افزایش پریود تجربی قاب‌های خمشی با شبیه ۴۰٪ افزایش می‌یابد.

ب) در حوزه نزدیک گسل اثرات جهت‌پذیری پیش‌روندۀ نسبت به حوزه دور از گسل باعث افزایش نیاز تغییر مکان نسبی طبقات در حدود ۱/۱ تا ۱/۶ برابر برای مدل‌های کوتاه مرتبه و در حدود ۱/۳ تا ۳ برابر برای مدل‌های بلند مرتبه می‌گردد.

ج) نیاز تغییر مکان نسبی حاصل از روش‌های تحلیل استاتیکی خطی و دینامیکی خطی در طبقات بالایی سازه در حدود ۲۰ تا ۶۰ درصد بیشتر و در طبقات پایین سازه در حدود ۵ تا ۵۰ درصد کمتر از مقادیر واقعی حاصل از روش تحلیل دینامیکی غیر خطی می‌باشد. لذا در این مطالعه ضرایبی جهت اصلاح تغییر مکان نسبی طبقات در ارتفاع سازه پیشنهاد گردید.

- [۲۱] عدالت، م.، "بررسی تأثیر میرایی و تسليم روی طیف-های رکوردهای زلزله‌های نزدیک گسل"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۲.
- [10] Soleimani Amiri, F., Ghodrati Amiri, G., Razeghi, H., "Estimation of Seismic Demands of Steel Frames Subjected to Near-Fault Earthquakes Having Forward Directivity and Comparing with Pushover Analysis Results", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 2013, 22 (13), 975-988.
- [11] Özhendekci, D., Özhendekci, N., "Seismic Performance of Steel Special Moment Resisting Frames with Different Span Arrangements", *Constructional Steel Research*, 2012, 72, 51-60.
- [12] Gerami, M., Abdollahzadeh, D., "Vulnerability of Steel Moment-Resisting Frames Under Effects of Forward Directivity", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 2014.
- [13] Alavi, B., Krawinkler, H., "Effects of Near-Fault Ground Motions on Frame Structures", Report No. 138, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, California, 2001.
- [14] Kalkan, E., Kunnath, S. K., "Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings", *Journal of Earthquake Spectra*, 2006, 22 (2), 367-390.
- [15] Naeim, F., "THE SEISMIC DESIGN HANDBOOK, 2nd Edition", Kluwer Academic Publishers: New York, 2001, pp 33-34 & 327-329.
- [16] Su, F., Anderson, J. G., Zeng, Y. "Characteristics of Ground Motion Response Spectra from Recent Large Earthquakes and Their Comparison with IEEE Standard 693", In 2006 SSA Meeting: 100<sup>th</sup> Anniversary Earthquake Conference, pp 18-22.
- [17] Saiidi, M., Somerville, P., "Bridge Seismic Analysis Procedure to Address Near-Fault Effects", Research Report of Nevada University (Reno), 2005.
- [۱۸] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، "آینه نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ویرایش سوم"، تهران، ۱۳۸۴.
- [۱۹] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود"، تهران، ۱۳۸۵.
- [20] FEMA, "Prestandard and commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Publication No. FEMA 356, FEMA: Washington, DC, 2000.

## EXTENDED ABSTRACT

# Seismic Demand Estimation of Steel Moment Resisting Frames in Near Field of Fault

Mohsen Gerami<sup>a,\*</sup>, Davood Abdollahzadeh <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Semnan, Semnan 35131-19111, Iran

<sup>b</sup> Department of Civil Engineering, Pardis Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

**Received:** 18 April 2014; **Accepted:** 17 November 2014

---

### Keywords:

Forward directivity, Neutral directivity, Far-field of fault, Base shear, Drift, Static analysis, Dynamic analysis

---

## 1. Introduction

Forward directivity effects in near field of fault causes the creation of long-period pulse-like records with low effective duration and high amplitude at velocity time history of ground motions that lead to increase in ductility demand for structures [1-3]. Because of widespread use of linear methods for structural design in order to estimate and control the structural drift by engineers and according to standing some of the Iran's cities in near field of fault [3], in this study the base shear and relative displacement demand of steel moment frame are studied under the effects of forward directivity with height changes in near and far field of fault. The seismic demand of 5 steel moment-resisting frames under 20 earthquake records is determined for estimating forward and neutral directivity effects on the demand of steel moment-resisting frames (base shear and relative displacement of stories), using linear static, linear dynamic and nonlinear dynamic methods. Then the accuracy and correctness of linear methods for the estimation of structural demands are discussed, comparing results of demands obtained from linear methods with nonlinear dynamic method in near field and far field of fault. At last, based on the far field of fault's data some relations are proposed for estimation of base shear and drift demand of steel moment frames in near field of fault.

## 2. Methodology

For estimating the forward directivity effects on the demand of steel moment resisting frames, 5 structural models of two-dimensional steel moment resisting frames are designed with 3 number of spans and the height of 3, 5, 7, 10 and 15 stories. The length of spans are 5 meters and the height of stories are 3.2m. for modeling and nonlinear dynamic analysis of the proposed models, Perform 3D v4 software is used assuming the 5% damping. Plastic hinges is considered assuming the rigid connection of girders to columns based on force-displacement relation for the ductile structural elements in accordance with FEMA356. Also, P-Δ effects are considered in nonlinear dynamic analysis. According to Iranian seismic design code 3<sup>rd</sup> edition for very high hazard level regions with 10% occurrence probability of earthquake in 50 years of the life of the building, peak ground acceleration (PGA) is considered 0.35g and average of results are used. In order to determine the seismic demand of models, 20 earthquake records related to Denali, Alaska (2002), Chi-Chi, Taiwan (1999), Imperial valley, USA (1979), Kocaeli, Turkey (1999), Loma Prieta, USA (1989), Kobe, Japan (1995) and some of the Iran's records (1978-2006) are used. Near field of fault records are chosen somehow that have low effective duration, high amplitude and pulse-like effects with high period (more than 0.7s) in velocity record and maximum distance of the record's mapping from the fault does not exceed 15 kilometers [2].

Each of the structural models are analyzed under the far and near field of fault records and then results of base shear and stories relative displacement are determined using linear static analysis, linear dynamic analysis and nonlinear time history analysis methods. Finally, using statistical analyzing of the results, approximate relations for estimation of seismic demand of steel moment frames in near field of fault are presented based on seismic demand of far field of fault.

---

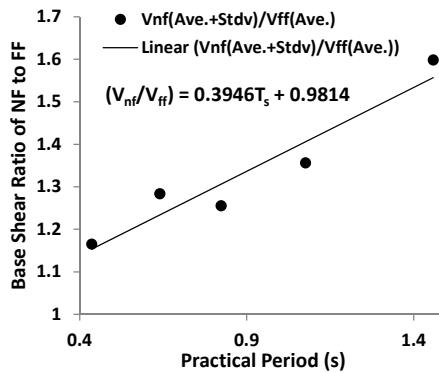
\* Corresponding Author

E-mail addresses: mgerami@semnan.ac.ir (Mohsen Gerami), davood.abdollahzadeh@gmail.com (Davood Abdollahzadeh).

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Estimation of base shear in near field of fault

According to Fig. 1 base shear ratio at near field to the far field of fault increases with the 40% slope, as the practical period of moment resistant frames increases.



**Fig 1.** Regression curve of proportion of the average and standard deviation of base shear's result at near field of fault to the base shear's results at far field of fault while changing the model's period

Eq.1 is proposed to estimate approximately the base shear at near field of fault according to the far field of fault's data, using statistical analysis of the nonlinear dynamic analysis's results and considering the results of Fig. 1.

$$\frac{V_{nf}}{V_{ff}} = \frac{A_{nf}}{A_{ff}} \left[ 0.032h^{\frac{3}{4}} + 1 \right] \quad (1)$$

According to Iranian Seismic Design Code 3<sup>rd</sup> edition, the parameters of Eq. (1) consist of:  $V$ , base shear;  $A$ , proportion of design base acceleration (peak ground acceleration) to gravity acceleration(g);  $B$ , spectral acceleration;  $I$ , importance factor related to the residential buildings;  $R$ , reduction factor;  $W$ , building's weight;  $A_{nf}$ , the ratio of the design base acceleration in near field of fault to gravity acceleration at the range of maximum 15 kilometers from the fault and  $A_{ff}$ , the maximum proportion of the far fault base acceleration to the gravity acceleration for regions with neutral directivity effect.  $A_{nf}$  and  $A_{ff}$  are determinable using the seismic hazard analysis based on approximate methods for one duration of specific return for far and near field of seismic sources. Using Eq. (1), base shear of the steel moment frames could approximately be estimated for seismic sources at near fault of structure using the base shear that is obtained from far fault seismic sources. This relation can be used for linear methods and it is more conservative for nonlinear methods. It should be considered that Eq. (1) is achieved from average results regression. Hence according to limited numbers of used records in this study and un-determination of the earthquake phenomenon, the results of Eq. (1) are not having the enough universality for all of the structural states and special conditions. Hence directivity effects based on structural parameters should specifically be evaluated for important applications.

#### 3.2. Estimation of stories drift in the near field of fault

Forward directivity effects cause the increase in the stories relative displacement demand up to 1.1-1.6 times for low-rise models and about 1.3-3 times for high-rise models proportion to the far field of fault (Fig. 2). To determinate the increase amount of the stories drift at the near field of fault, the average of stories drift at near field and far field of fault for low and high rise models are calculated and then the results figured at Fig. 3 against models relative height. Based on regressed line in Fig. 3, Eqs. (2) and (3) estimate the proportion of the relative displacement demand of the steel moment frames at near to far field of fault for low and high rise models respectively. Generally because of the attenuation effects of soil, the peak ground acceleration of the far and near field strong ground motions are not equal for a constant hazard level. For considering approximately the effects of earthquake intensity differences, Eqs. (2) and (3) are multiplied to ratio of  $(A_{nf}/A_{ff})$ .

$$\frac{\Delta_{i(nf)}}{\Delta_{i(ff)}} = \frac{A_{nf}}{A_{ff}} \left[ -0.8 \times \left( \frac{h_i}{H} \right) + 1.8 \right] \quad (2)$$

$$\frac{\Delta_{i(nf)}}{\Delta_{i(ff)}} = \frac{A_{nf}}{A_{ff}} \left[ -2 \times \left( \frac{h_i}{H} \right) + 3.1 \right] \quad (3)$$

$\Delta_{i(nf)}$  and  $\Delta_{i(ff)}$  in relation (2) and (3) are respectively the relative displacement of the  $i^{\text{th}}$  story at near and far field of fault.  $h_i$  is the height of  $i^{\text{th}}$  floor from the base level and  $H$ , is the height of the hole structure from the base level.

It should be considered that because of the nonlinear relation between earthquake intensity and stories drift, multiplying design acceleration ratio of the near field of fault to the far field of fault does not have enough accuracy in nonlinear dynamic analysis for correction of Eqs. (2) and (3). But in linear analysis method for the structures, neglecting the P-Δ effects, according to the linear relation between lateral displacement of the structure and earthquake intensity, it is possible to estimate the relative displacement demand of stories from near seismic source based on a far seismic source data, using Eqs. (2) and (3). Also, according to the assumption of this study while using Eqs. (1)-(3), the amount of  $A_{nf}$  and  $A_{ff}$  should not be considered less than  $0.1g$  and more than  $0.5g$ .

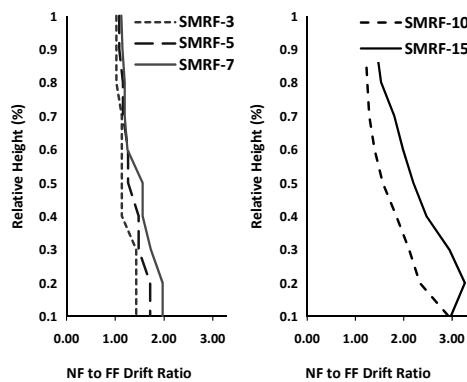


Fig 2. drift demand ratio of steel moment frame stories at near field of fault to far field of fault

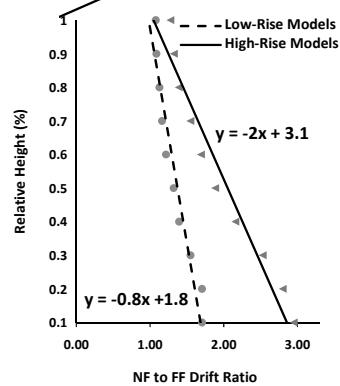


Fig 3. Regressed line of the average result of the stories relative displacement ratio for high and low rise models

#### 4. Conclusions

In this study, design demand of the steel moment frames was studied that consists of base shear and stories drift, using linear static, linear dynamic and nonlinear dynamic analysis method in constant hazard level and assuming peak acceleration to be equal (equal to PGA) at near and far field of fault. The following results were obtained.

1. The base shear ratio at near field to the far field of fault will increase with the increase of practical period of the steel moment frames with 40% slope .
2. Forward directivity effects at the near field of fault proportion to the far field of fault cause the stories drift demand to increase 1.1-1.6 times for low-rise models and about 1.3-3 times for high-rise models.
3. The relative displacement demand of story that is obtained from linear static analysis and linear dynamic analysis methods in upper stories of the structure is about 20-60% further and in lower stories of the structure 5-50% lesser than the real values that are obtained of nonlinear dynamic analysis methods. Hence, in this study some coefficients are proposed in order to correct the stories relative displacement at the structure's height.
4. According to the salient increase in design demands of steel moment frames and limitation of the access to the seismic information in near field of fault, in order to estimate the design demand of steel moment frames located in near fault regions, In this study, approximately relations are presented to estimate the design demand of steel moment frames located in near field of fault form seismic data of far field of fault.

#### 5. References

- [1] Stewart, J. P., Chiou, S., Bray, J. D., Graves, R. W., Somerville, P. G., Abrahamson, N. A., "Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design", Research Report Conducted under Grant No.EEC-9701568 from the National Science Foundation, University of California, Berkeley, CA 94720-1792, 2001.
- [2] Alavi, B., Krawinkler, H., "Effects of Near-Fault Ground Motions on Frame Structures", Report No. 138, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, California, 2001.
- [3] Gerami, M., Abdollahzadeh, D., "Vulnerability of Steel Moment-Resisting Frames Under Effects of Forward Directivity", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 2014.