تحلیل دینامیکی غیرخطی بر تیر پیوند ناشی از زلزله های حوزه نزدیک

جواد نصیری رجبلی
استادیار گروه عمران، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر

یاسر محمودی
کارشناس ارشد مهندسی عمران- مهندسی زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر
Mahmodi.66@gmail.com

کلید واژه : *تحلیل دینامیکی غیر خطی، مهار بندهای خارج از مرکز، زلزله حوزه نزدیک، مکانیسم پیوندهای افقی و قائم.*

چکیده

ارتعاشات زمین در سایت‌های مجاور گسل باعث خرابی‌های گسترده ای در بسیاری از سازه‌هایی که حتی مسائل مربوط به آیین نامه زلزله را نیز رعایت کرده اند، گردیده است. به همین علت بررسی ماهیت ارتعاشات زمین در نزدیکی منشأ زلزله به عنوان یک ضرورت مطرح شده و مطالعات متعددی نیز در این زمینه صورت گرفته است. رکوردهای حاصل از زلزله های حوزه نزدیک به جهت نزدیکی فاصله محل منبع انتشار موج دارای خواص ویژه ای می‌باشند که رفتارشان آنها را از سایر رکوردها متفاوت می‌سازد. زلزله‌های حوزه نزدیک دارای شتاب بالاتر و محتوای فرکانسی محدودتری در فرکانس های بالا نسبت به حوزه دور می‌باشند.نگاشت این زلزله ها ،خصوصاً زمانی که تحت انتشار گسلش قرار می‌گیرند ، دارای پالس‌های پریود بلند با دامنه بزرگ می‌باشند که اغلب در ابتدای رکورد زلزله دیده می‌شود. در این مقاله اثر مولفه قائم زلزله های حوزه نزدیک روی سه ساختمان فولادی ۴،۸،۱۲ طبقه با مهاربندهای خارج از مرکز بررسی شده اند. از ۱۰ زلزله حوزه نزدیک که در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتر ثبت شده اند و مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ مقیاس شده اند، استفاده شده است. تحلیل طیفی و تحلیل دینامیکی روی ساختمان های مدل شده انجام شده است. نتایج بیانگر آنست که اثر مولفه قائم در سازه ها با افزایش ارتفاع سازه بیشتر شده، در نتیجه باید در ساختمانهای بلند اثر مولفه قائم زلزله های حوزه نزدیک را در نظر بگیریم. همچنین با افزایش ارتفاع سازه پاسخ سازه ها تحت اثر مولفه قائم زلزله های حوزه نزدیک، افزایش می یابد.

مقدمه

ارتعاشات زمین در سایت‌های مجاور گسل باعث خرابی‌های گسترده‌ای در بسیاری از سازه‌هایی که حتی مسائل مربوط به آیین‌نامه زلزله را نیز رعایت کرده‌اند، گردیده است. از جمله در زلزله‌های Taiwan(1995) Kobe(1994) Northridge(1994) سازه‌های مهندسی در مجاورت مرکز زلزله دچار خرابی‌های زیادی شده‌اند. به‌همین علت بررسی ماهیت ارتعاشات زمین در نزدیکی منشا زلزله به عنوان یک ضرورت مطرح شده و مطالعات متعددی نیز در این زمینه صورت گرفته است. زلزله‌های حوزه نزدیک به نقاطی از زمین اطلاق می‌شود که فاصله آنها از مرکز سطحی زلزله کمتر از یک حد معین است. بعضی از محققین از جمله اکی این فاصله را ۵۰ کیلومتر می‌دانند و برخی دیگر این فاصله را ۱۵ کیلومتر در نظر می‌گیرند. 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 عمدتا به دو دسته تقسیم می‌گردد :

دسته اول، مجموعه‌ای از تحقیقاتی 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 جمع بندی دقیق و جمع آوری اطلاعات بدست آمده از رکوردهای ثبت شده زمین لرزه‌ها در نزدیکی گسل اطلاعات کامل و قابل استفاده‌ای 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 تفاوتهایی با مشخصات زلزله‌های دور از گسل دارند. وجود حرکت پالس گونه با پریود 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 تفاوتهای حائز اهمیت رکوردهای زلزله‌های نزدیک گسل می‌باشد.

نکته ویژه در رکوردهای سرعت زلزله‌های نزدیک گسل علاوه بر موارد بالا، وجود سرعت‌های بزرگ زمین است که در پی پالسهای بلند مدت شتاب ایجاد می‌شود. نمودی از این اثرات به شکل ایجاد تغییر مکان‌های نوسانی بزرگ است که در رکورد تغییر مکان زمین نیز دیده می‌شود. وجود این مقادیر بزرگ در پارامترهای حرکات زمین در نزدیک گسل، مشخصه بارز رکورد زلزله‌های حوزه نزدیک گسل نظیر زلزله نورتریج، زلزله کوبه، زلزله چی چی تایوان و بم می‌باشند .

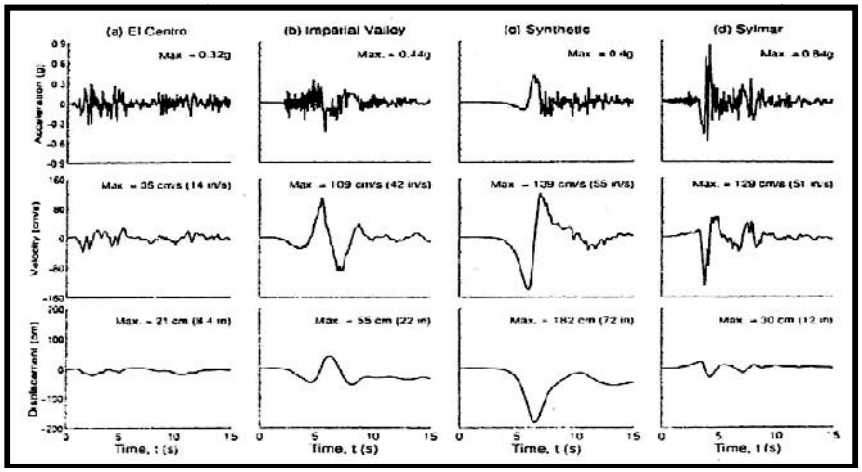
در زلزله انرژی بسیار زیادی که با گذشت زمان در محل جمع شده با یک پارگی در پوسته زمین آزاد می‌شود. این انرژی به صورت ارتعاشی پخش می‌شود. به هر میزان از مرکز زلزله دور می‌شویم، این ارتعاشات که عمدتاً در سطح زمین توسط دستگاه‌های زلزله نگار ثبت می‌شوند، حالت یکنواخت‌تر و شکل مشخص‌تری دارند. با صرف نظر کردن از برخی مسائل، مثل اثر ساختگاه و در نظر گرفتن منشا کانونی برای زلزله می‌توان گفت، انتشار این امواج در فواصل دور به صورت کروی در داخل پوسته و دایروی در روی سطح زمین می‌باشند. به هر میزان به منشا زلزله نزدیکتر می‌شویم، حالت یکنواخت تری در ارتعاشات و پخش کروی گونه در پوسته زمین و دایروی شکل در سطح کاملا از بین می‌رود(تهرانی زاده و لباف زاده،۱۳۸۴) .

مشخصات زمین لرزه نزدیک گسل

هنگام وقوع زلزله خصوصیات ارتعاشی هر یک از نقاط زمین تابع عوامل مختلفی به شرح زیر است :

۱. بزرگای زلزله
۲. فاصله منطقه از مرکز رها شدن انرژی
۳. خصوصیات زمین شناختی (اثر ساختگاه)

برخی مطالعات نشان می‌دهد که رکوردهای زلزله‌های نزدیک را می‌توان به دو بخش، با ضربان و بدون ضربان تقسیم بندی کرد که در بعضی مواقع، پدیده ضربان در تاریخچه شتاب، سرعت و تغییر مکان یکی از ویژگی‌هایی است که زلزله حوزه نزدیک را از زلزله حوزه دور متمایز می‌کند.
ضربان در زمین لرزه به صورت ضربان شتاب، سرعت و جابجایی می‌باشد که می‌توان آنها را به تغییرات بزرگ در تاریخچه‌های شتاب، سرعت و جابجایی تعریف کرد. شکل۱ تاریخچه‌های شتاب، سرعت و جابجایی را برای چهار حرکت زمین نزدیک گسل مصنوعی، سیلمار، امپریال والی و السنترو نشان می‌دهد، چنانچه در شکل۲ـ۱ مشاهده می‌شود، در زلزله‌های نزدیک گسل، حرکت زمین بر اثر گسل مصنوعی، سیلمار و امپریال والی با ضربان و بر اثر گسل السنترو، بدون ضربان می‌باشد.



شکل۱ : تاریخچه‌های شتاب، سرعت و جابجایی را برای چهار حرکت زمین نزدیک گسل مصنوعی

به دلیل نزدیکی محل تا گسل، رکورد حاصل از سرعت و جابجایی زمین به جهت اینکه نسبت به شتاب دارای پریود بالاتری هستند دارای شکل پالس مانند با پریود بالا می‌باشند، که یادآور تحریکی به صورت ضربه هستند. در زمین لرزه‌های حوزه نزدیک به جهت فاصله کوتاه بین محل شکست (منبع تولید موج) و محل دریافت آن فرصتی جهت مستهلک شدن فرکانسهای بالا نبوده؛ از همین رو تاریخچه زمانی شتاب آنها محتوای فرکانسی بالایی دارند (سرکسیان و همکاران ،۱۳۸۶).

مکانیسم پیوندهای افقی و قائم

طول تیر پیوند تاثیر زیادی در رفتار مهاربندهای خارج از مرکز در ناحیه خطی و غیرخطی دارد. در نیروهای جانبی بالا، مفصل پلاستیک در تیر پیوند بوجود می‌آید که این نوع مفصل ها با توجه به مکانیسم تیر پیوند مسخص می‌شود . با نوشتن معادلات پایداری برای پیوند های افقی ما دو محدوده (رابطه ۱) داریم.

(۱) تیر پیوند، برشی است. $e \le \dfrac{1.6M_P}{V_P}$

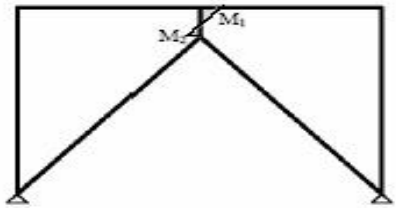
تیر پیوند،خمشی است. $e > \dfrac{2.6M_P}{V_P}$

در تیرهای پیوندی که طول آنها بین محدوده فوق قرار می‌گیرد تسلیم تواماً خمشی و برشی است.

آیین نامه UBC دوران نهایی پیوندهای افقی دارای رفتار برشی را $\gamma_u = 0.09$ و دارای رفتار خمشی $\gamma_u = 0.03$ مجاز کرده است. آیین نامه AISC برای پیوندهای برشی $\gamma_u = 0.08$ و برای پیوندهای خمشی $\gamma_u = 0.03$ بیان کرده است.این محدودیت در آیین نامه ایران برای تیر پیوند برشی $\gamma_u = 0.08$ و برای تیر پیوند خمشی $\gamma_u = 0.02$ می‌باشد(محمودی ،۱۳۹۱).

برای پیوند های قائم و با توجه به اینکه ممان های تشکیل شده در دو انتها پیوند برابر نمی‌باشد ، طول مناسب برای ایجاد شرایط لازم برای رفتار برشی به صورت رابطه (۲) پیشنهاد شده است:

(۲)
$$e \le \frac{0.8(K+1)M_P}{V_P}$$
$$K = \frac{M_2}{M_1}, (M_2 \le M_1)$$



شکل ۲: دیاگرام ممان خمشی با تیر پیوند قائم تک

لازم به ذکر است رابطه های بالا با توجه به دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر پیوند و لحاظ اثر سخت شدگی کرنشی برای برش و ممان به ترتیب برابر ۱.۵ و ۱.۲ برای برش پلاستیک (V_P)و ممان پلاستیک (M_P) بدست آمده اند(Shayanfar et al. , 2008).

زلزله های حوزه نزدیک

وقوع زمین لرزه های بزرگ در نزدیک شهرهایی که در مجاورت گسل واقع شده اند ،غیرقابل انکار است لذا تشریح حرکات نیرومند زمین در حوزه نزدیک منبع لرزه زا و تاثیرات آن بر عملکرد سازه ها ، از موضوعات مهم مطرح در زلزله شناسی و مهندسی زلزله است. مفهوم مدلسازی و شبیه سازی حرکات نیرومند زمین در حوزه نزدیک و همچنین خصوصیات سازه ای که باید رفتار کنترل شده ای را در برابر این حرکات دینامیکی از خود نشان بدهد، دو موضوع مهم در رابطه با حوزه نزدیک است. زلزله های حوزه نزدیک که پالس های موجود در آنها از شدت بیشتری برخوردار است و یا مدت زمان پالس آنها بزرگتر است ،پاسخ سازه را بیشتر افزایش می‌دهند ، لذا با این وجود سازه هایی که به منبع لرزه زا نزدیک تر هستند شکل پذیری بیشتری باید داشته باشند تا بتوانند از پاسخ سازه بکاهند. رکورد زلزله های حوزه نزدیک در فاصله کمتر از ۱۰کیلومتر ثبت شده بودند، باید مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ مبنی بر داشتن مدت زمان حرکت شدید زمین حداقل برابر ۱۰ ثانیه و یا سه برابر زمان تناوب اصلی سازه ،هر کدام بیشتر است ،را برآورده نمایند ، با توجه به این نکته اقدام به ۱۰ شتابنگاشت زلزله حوزه نزدیگ گردیده که در جدول شماره ۱ ارائه شده است (Mahmoudi , 2013).

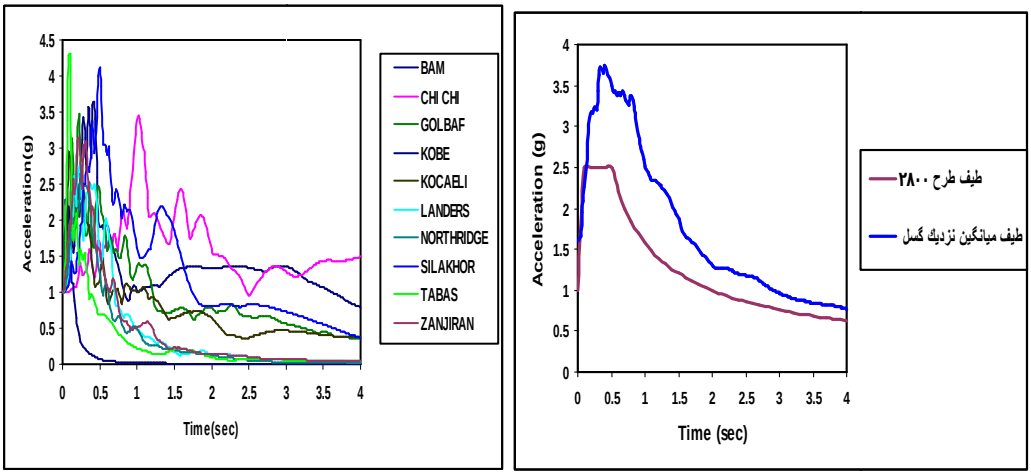
جدول ۱: مشخصات زلزله های حوزه نزدیک

Nomber	Earthquake	Year	PGA(g)	PGV(cm/sec)	PGD(cm)	Station
1	Bam	2003	0.78	123.69	34.480	Bam
2	Tabas	1978	0.328	20.6	12.56	Dayhook
3	Chi chi	1999	0.17	68.8	41.87	TCU
4	Kobe	1995	0.59	74.3	19.95	o kjma
5	Northridge	1994	0.433	51.5	7.21	Pacoima
6	Landers	1992	0.274	27.5	9.82	Joshua
7	Golbaf	1998	0.29	14.126	5.87	Golbaf
8	Silakhor	2006	0.44	84.9	28.9	Silakhor
9	Zangiran	1994	0.91	69	27.3	Zangiran
10	Kocaeli	1999	0.376	79.5	70.52	Sakavya

طیف طراحی میانگین زلزله ها

با استفاده از زوج شتابنگاشت های نزدیک گسل که زوج شتابنگاشت مربوط به مولفه افقی زلزله می‌باشند، اقدام به تهیه طیف طراحی کرده و با فرض اینکه خاک منطقه از نوع ۲ و در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد واقع می‌باشد، روند زیر انجام می‌شود.

برای بدست آوردن طیف طراحی میانگین زلزله ها ، از نرم افزار SEISMOSIGNAL استفاده شده است. روش کار به این صورت است که بعد از خواندن شتاب نگاشتها توسط برنامه ، PGA برای هرکدام از شتاب نگاشتها بدست می‌آید. در مرحله بعد شتاب نگاشتهای بدست آمده به حداکثر مقدار خود که برابر g می‌باشد، مقیاس شده اند. برای بدست آوردن ضریب مقیاس باید عددی را پیدا کرد که اگر PGA بدست آمده در مرحله اول را ضربدر آن عدد کنیم مقدار حاصل شتاب g بدست آید. در مرحله بعد باید برای هر یک از شتاب نگاشت ها طیف پاسخ رسم شود . برنامه SEISMOSIGNAL قادر است طیف پاسخ هر یک از شتاب نگاشتها را رسم کند ، فقط دقت شود که میرایی۵٪ انتخاب شده باشد. مراحل بالا را برای همه شتاب نگاشتهای انتخاب شده انجام داده ایم شکل۳. حال جهت ساخت یک طیف پاسخ میانگین واحد برای هر زلزله باید طیف های پاسخ شتابنگاشت ها که در هر راستا بدست آمده، با استفاده از روش جذر مجموع مربعات (SRSS) ترکیب شوند، تا یک طیف پاسخ واحد برای دو زوج شتابنگاشت هر کدام از زلزله ها بدست آید . در مرحله آخر از طیف های پاسخ بدست آمده از زوج شتاب نگاشتها میانگین گرفته ، و طیف طرح میانگین بدست می‌آید (Mahmoudi , 2012)(شکل ۴).



شکل ۴: مقایسه طیف میانگین نزدیک گسل با طیف طرح ۲۸۰۰ شکل ۳ : طیف های میانگین بدست آمده از ده زلزله

تحلیل طیفی

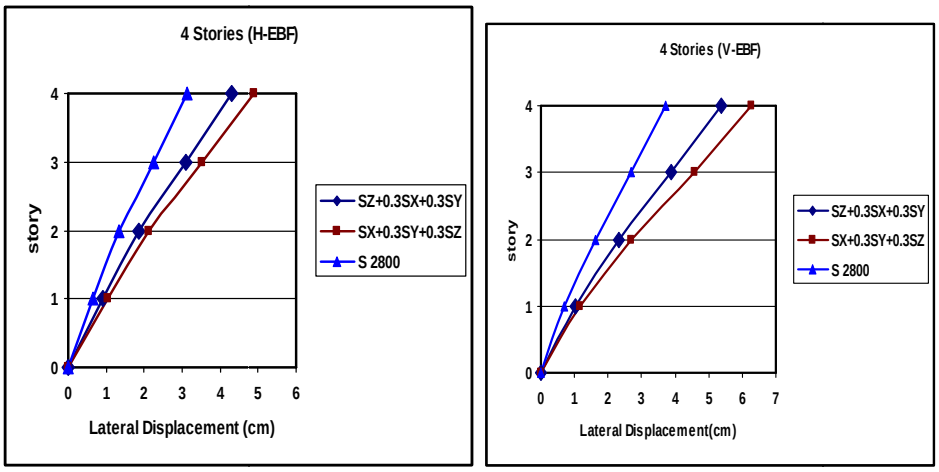
در این روش تحلیلی مدهای نوسان در آن تعیین می‌گردد .سپس حداکثر بازتاب در هرمد با توجه به زمان تناوب آن مد از طیف طرح بدست آورده شده و با ترکیب آماری آنها بازتاب کلی سازه تعیین می‌گردد. اثر مولفه قائم زلزله مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ انجام شده است . در آیین نامه ۲۸۰۰ اشاره شده که نیروی زلزله قائم ، همراه با نیروهای افقی باید در ترکیبات زیربه کار برده شوند،

۱) صدرصد نیروی زلزله ، در هر امتداد افقی با ۳۰ درصد نیروی زلزله ، در امتداد عمود بر آن و ۳۰ درصد نیروی زلزله در امتداد قائم .

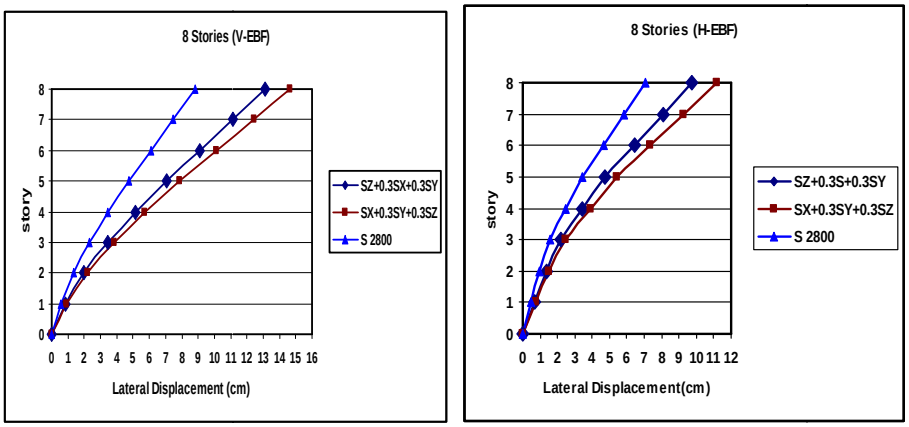
۲) صدرصد نیروی زلزله ، در امتدا قائم با ۳۰ درصد نیروی زلزله ، در هریک از دو امتداد افقی عمود برهم.

با انجام تحلیل طیفی مشاهده شده که ، اثر مولفه قائم زلزله های حوزه نزدیک با افزایش ارتفاع ساختمان بیشتر شده و باید اثر آن در ساختمانهای با ارتفاع زیاد در نظر گرفته شود. در ساختمان ۴ طبقه ، اثر مولفه قاتم کمتر از مولفه افقی زلزله ها بدست آمده ولی در ساختمان ۱۲ طبقه ، اثر مولفه قائم بیشتر شده بود Ozhendekci and Ozhendekci (2008).

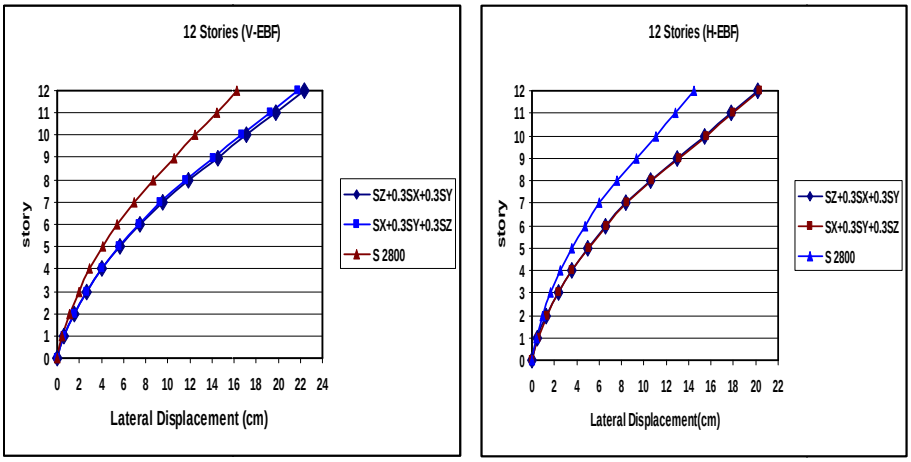
در این روش تحلیل ، پاسخ سازه ها با استفاده از طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ و طیف پاسخ میانگین حاصل از زلزله های حوزه نزدیک ارزیابی شده‌اند. مشاهده شده است که پاسخ سازه ها با استفاده طیف میانگین زلزله های حوزه نزدیک خیلی بیشتر از پاسخ سازه ها حاصل طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد. (شکل ۸،۷،۶،۵ و ۹)



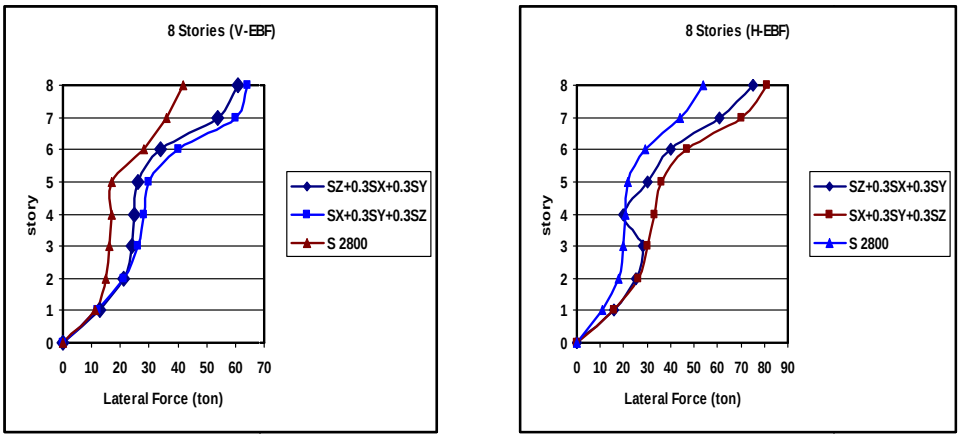
شکل ۵: توزیع تغییرمکان جانبی در ارتفاع سازه



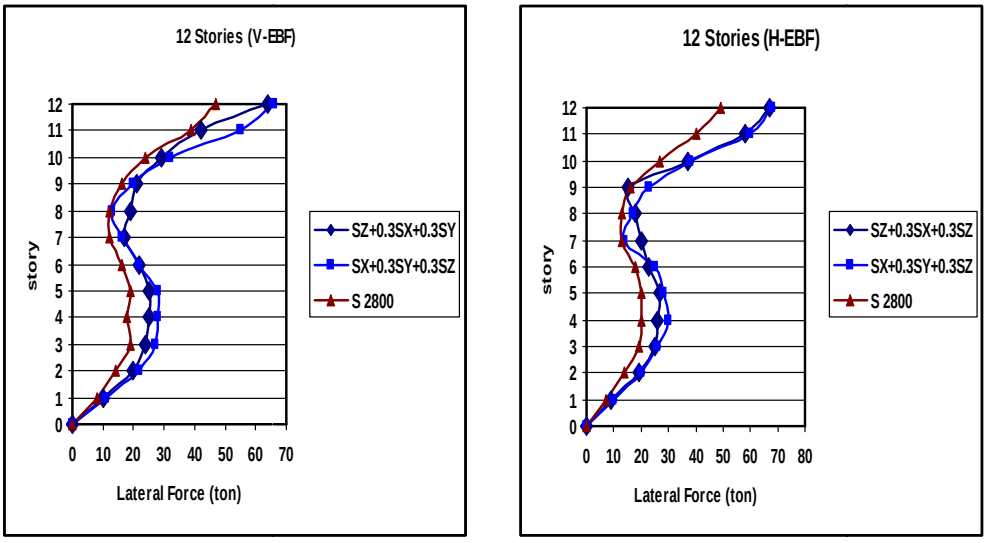
شکل۶: توزیع تغییرمکان جانبی در ارتفاع سازه



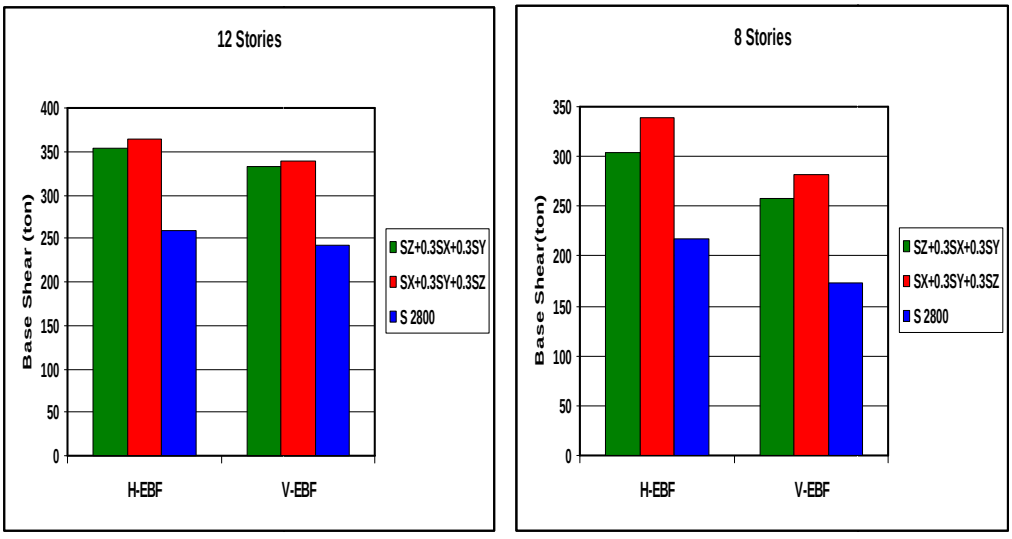
شکل۷: توزیع تغییرمکان جانبی در ارتفاع سازه



شکل ۸ : توزیع نیروی جانبی در ارتفاع سازه



شکل ۹ : توزیع نیروی جانبی در ارتفاع سازه



شکل ۱۰: مقایسه برش پایه مهاربندهای خارج از مرکز با پیوندهای افقی و قائم

نتایج

۱. با انجام تحلیل دینامیکی مشاهده شده که ، اثر مولفه قائم با ارتفاع سازه بیشتر شده ، در نتیجه باید در ساختمانهای بلند اثر مولفه قائم زلزله‌های حوزه نزدیک را در نظر بگیریم.

۲. در ساختمان ۱۲ طبقه مشاهده شده که برش پایه و تغییرمکان جانبی حاصل از اثر مولفه قائم زلزله های حوزه نزدیک بیشتر از اثر مولفه افقی زلزله ها ی حوزه نزدیک در جهت x می‌باشد.

۳. با انجام تحلیل دینامیکی مشاهده شده که ، پاسخ سازه حاصل از طیف پاسخ میانگین زلزله های حوزه نزدیک به مراتب بیشتر از پاسخ سازه حاصل از طیف طرح ۲۸۰۰ می‌باشد. در نتیجه طیف طرح ۲۸۰۰ نمی‌تواند نیاز لرزه ای سازه ها را در برابر زلزله های حوزه نزدیک برآورده کند.

۴. با انجام تحلیل دینامیکی مشاهده شده که، استفاده از پیوندهای قائم در مهاربندهای خارج از مرکز برش پایه سازه را نسبت به پیوندهای افقی کاهش می‌دهد.

مراجع

Mahmoudi Y (2012) Assement of the seismic behavior of eccentrically bracd frame with vertical and horizontal link , American journal of seientific research.

Mahmoudi Y (2013) study of the performance of divergent braced frame steel frame in near_field earthquake, international journal of civil engieneering.

Ozhendekci D, Ozhendekci N (2008) Designing eccentrically braced steel frames with different link lengths along the frame height , World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.

Shayanfar M , Rezaeian A , Taherkhani S (2008) ssessment of the seismic behavior of eccentrically braced frame with double vertical link(DV-EBF), 14 World conference on Earthquake Engineering,Beiging,China.

تهرانی زاده م، لباف زاده م (۱۳۸۴)، پارامترهای موثر پاسخ سازه‌ها در حرکات افقی حوزه نزدیک، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

سرکسیان ل، قادری پ، زهرایی م (۱۳۸۶)، مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر زلزله‌های حوزه نزدیک. پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ، ۲۳-۲۶ اردیبهشت ۱۳۸۶.

محمودی، بررسی عملکرد قاب‌های مهاربندی برون محور فولادی تحت زلزله‌های نزدیک گسل، دومین کنفرانس ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک، آذر ۹۱.