

## اثر مولفه قائم زلزله در ساختمان‌های دارای نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع

مسعود جهان‌پناه\*

دانشجوی دکتری عمران، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

حسین سهراب‌زاده

کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت

مدرس، تهران، ایران

Jahanpanah.ma@gmail.com

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸

### چکیده

مولفه قائم زلزله و تاثیر آن در تحلیل ساختمانها از مدتها پیش مورد توجه محققین و مهندسين طراح قرار داشته است. ولی تا این زمان هنوز ملاحظات ناشی از اثر مولفه قائم زلزله در طراحی ساختمانها دارای نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع مورد بررسی قرار نگرفته است. با این وجود در استاندارد ۲۸۰۰ اثر مولفه قائم زلزله در بارگذاری لرزه ای بصورت جامع پیش بینی نشده است و تنها اثر مولفه قائم زلزله طبق استاندارد ۲۸۰۰ در مورد مناطق با لرزه‌خیزی زیاد، تیرهای طره ای، تیرهای با دهانه بیشتر از پانزده متر و تیرها با بار قائم متمرکز قابل توجه، اعمال می شود. با توجه به موارد مذکور جهت بررسی اثر مولفه قائم زلزله در ساختمانهای با نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع، سه سازه ۱۰ طبقه با قاب خمشی فولادی که هر کدام در طبقه ششم به یک شکلی متفاوت نسبت به هم دارای نامنظمی جرم و سختی هستند و این نامنظمی در آن مرز استاندارد ۲۸۰۰ رعایت شده است. سپس سازه ها تحت ۵ گروه زلزله با PGA (اوج شتاب زمین) به مقادیر 0.2g، 0.35g، 0.5g، 0.65g و 0.8g تحلیل دینامیکی غیرخطی می شوند. لازم به ذکر هست که هر گروه دارای ۷ زلزله که دارای سه شتابنگاشت (دو مولفه افقی و یک مولفه قائم) می باشند سپس نتایج حداکثر هر زلزله را بدست آورده و از این نتایج حداکثر برای هر گروه جداگانه متوسط گیری کرده و پاسخ بدست آمده به عنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته می شود. نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی نشان داد با دخالت مولفه قائم زلزله، مقدار نسبت دررفت در طبقه ای که دارای نامنظمی جرم و سختی هست حدود ۵ تا ۲۵ درصد افزایش می دهد و مقدار نیروی محوری ستون حدود ۵ تا ۳۰ درصد افزایش می دهد.

**کلید واژگان:** مولفه قائم زلزله، ساختمان ها، نامنظمی جرم و سختی، ارتفاع.

## مقدمه

در حقیقت بررسی‌های اخیر صورت گرفته در رابطه با اثر قائم زلزله آیین‌نامه‌ها را واداشته تا این مورد را در بارگذاری دخیل نمایند. به عنوان مثال حداکثر شتاب عمودی حرکت زمین (PGA) در یک رکورد زلزله به حداکثر شتاب افقی نزدیک است بخصوص در حالتی که محدوده پریود کوتاه باشد [1]. از طرفی دیگر پریود طبیعی عمودی سیستم‌های ساختمانی کوچک است و در محدوده 0.1 تا 0.25 ثانیه قرار دارد ممکن است با محدوده‌ای که در آن پاسخ مولفه قائم تشدید می‌شود مطابقت داشته باشد [2].

بروز تغییرات در جرم و سختی در ارتفاع سازه باعث می‌شود که رفتار ساختمان تغییر کند و در حالتی که در تحلیل اثر مولفه قائم زلزله در نظر گرفته شود اثر قابل توجهی بر روی نیروی محوری ستونها و نسبت دریافت در طبقه‌ای که دارای نامنظمی جرم و سختی هست نسبت به سایر طبقات بیشتر است [3]. به عنوان مثال در این تحقیق درصد افزایش نیروی محوری ستون میانی طبقه ششم که در سازه دارای نامنظمی جرم و سختی می‌باشد نسبت به طبقه اول بیشتر هست و همین طور افزایش نسبت دریافت طبقه ششم نسبت به طبقه اول بیشتر هست.

مولفه قائم زلزله بسیار سریعتر از مولفه افقی میرا می‌شود و کاهش پیدا می‌کند، لذا تاثیر مولفه قائم حرکت زمین در حوزه نزدیک به گسل نمایان‌تر است و شتاب ماکزیمم (PGA) مولفه قائم شتابنگاشت به مقداری بیش از PGA مولفه افقی می‌رسد [4]. هدف از این تحقیق ایجاد تفهیم بهتر از اهمیت مولفه قائم حرکت زمین در پاسخ سازه‌ها دارای نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع و یافتن پاسخهای سازه‌ای در اثر تحریک دو مولفه‌ای و سه مولفه‌ای (دو مولفه افقی و یک مولفه قائم) و مقایسه آنها با یکدیگر در ساختمانهای فولادی قاب خمشی فولادی سه بعدی و در محدود غیر خطی مصالح می‌باشد. با توجه به تحقیقات انجام گرفته مشخص شده است که مولفه قائم زلزله کمترین تاثیر را بر روی برش پایه و تغییر مکان طبقات در سازه‌های منظم ایجاد می‌کند ولی در این تحقیق سازه‌های دارای نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع دارای تاثیرات قابل ملاحظه‌ای بر روی نسبت دریافت در طبقه‌ای که دارای نامنظمی جرم و سختی هست می‌شود.

## پیشینه پژوهش

در سالیان اخیر توجه زیادی به بررسی اثر مولفه قائم زلزله در سازه‌های گوناگون تحت زلزله‌های حوزه نزدیک و حوزه دور معطوف شده است.

لی و چن در سال ۲۰۲۰ به بررسی اثر حرکت قائم زلزله بر روی پاسخ لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی بزرگ پرداختند [5]. نتایج تحقیقات نشان داد که در نظر گرفتن مولفه قائم زلزله باعث تشدید

پاسخ لرزه‌ای سازه‌های مدفون می‌گردد. نشان داده شد که این تشدید به مشخصات مولفه افقی تحریک بستگی دارد. فرزین احمد در سال ۲۰۱۷ در پایان‌نامه‌ای به بررسی اثر مولفه قائم زلزله بر روی سازه‌های ایزوله شده با بررسی تقاضای برش و خمش پرداخت [6]. مشاهده شد که نتایج حاصل از شتاب عمودی زمین به موازات حرکت‌های افقی زمین نسبت به فاصله از گسل حساس است. رویز و ساریا در ۲۰۰۴ به بررسی قابهای فولادی با دهانه بلند تحت زمین لرزه افقی و قائم پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که در سازه‌های حوزه نزدیک اثر مولفه قائم وارد بر سازه بیشتر از مولفه افقی زلزله است. هم چنین ضریب رفتار که عمدتاً برای قاب‌های فولادی عددی بین ۶ تا ۸ است، می‌تواند تحت مولفه قائم کاهش یابد. حسینی و فیروزی در سال ۲۰۰۴ به بررسی اثر مولفه قائم بر روی پل‌های فلزی پرداختند [7]. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در طبقات بالاتر اثر مولفه قائم زلزله بیشتر است. در سال ۱۳۹۶ حسینی و صدرآرا به بررسی تاثیر مولفه قائم زلزله در قاب خمشی فولادی بزرگ‌دهانه پرداختند [8]. در این پژوهش با بررسی حالات مختلف تحریک این نتیجه به دست آمد که اثر مولفه قائم زلزله نقش بسیار مهمی در مقادیر پاسخ دارد.

## محدوده و هدف مدلسازی

در این مطالعه تحلیلی هدف بر آورد شرایط سازه در حین تحریکات مولفه افقی و قائم زلزله می‌باشد لذا ابتدا 3 سازه فولادی ۱۰ طبقه که دارای نامنظمی جرم و سختی در طبقه ششم می‌باشد مدلسازی شده است که این نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع را طبق مرز استاندارد 2800 رعایت شده است. در استاندارد 2800 [9] مرز نامنظمی جرم و سختی بصورت زیر می‌باشد:

- ۱- توزیع جرم در ارتفاع ساختمان، تقریباً یکنواخت باشد بطوری که جرم هیچ طبقه‌ای، به استثنای بام و خرپشته بام نسبت به جرم طبقه زیر خود بیشتر از ۵۰ درصد تغییر نداشته باشد.
- ۲- سختی جانبی در هیچ طبقه‌ای کمتر از ۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۸۰ درصد متوسط سختی‌های جانبی سه طبقه روی خود نباشد. طبقه‌ای که سختی جانبی آن کمتر از محدوده عنوان شده در این بند باشد، انعطاف‌پذیر تلقی شده و طبقه نرم نامیده می‌شود. (در مواردی که مقادیر فوق به ترتیب به ۶۰ درصد و ۷۰ درصد کاهش پیدا کنند، طبقه اصطلاحاً "طبقه خیلی نرم" توصیف می‌شود.)

در گام اول تحت بارگذاری استاتیکی پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ تحلیل اولیه گردیده تا برآورد اولیه‌ای از ظرفیت المان‌ها و شرایط ارزیابی خطی بدست آید سپس توسط تحلیل استاتیک غیر خطی

شده اند. این ساختمانها بنام P1 و P2 و P3 نامگذاری شده اند. موقعیت این سه ساختمان در تهران در نظر گرفته شده است و زمین نوع شماره سه می باشد سیستم سازه ای قاب خمشی فولادی متوسط می باشد.

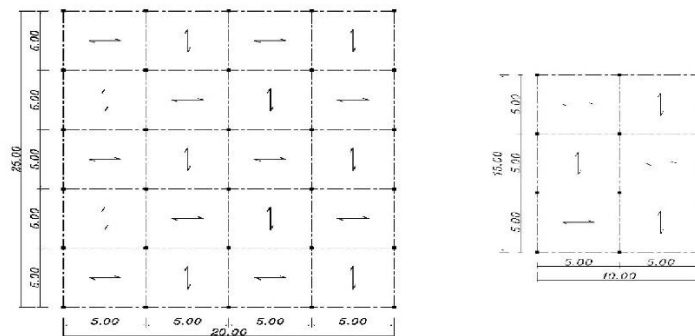
### مشخصات ساختمانهای مورد مطالعه

نمای کلی و پلان اندازه گذاری ساختمانهای مورد مطالعه در شکل های ۱-۴ نشان داده شده است. سیستم سازه ای هر دو ساختمان از نوع قاب خمشی بوده و سقف آنها از تیرچه بتنی و بلوکهای سفالی ساخته شده است. ساختمانها از طبقه اول تا پنجم دارای کاربری اداری و طبقه ششم تا دهم کاربری کتابخانه دارد.

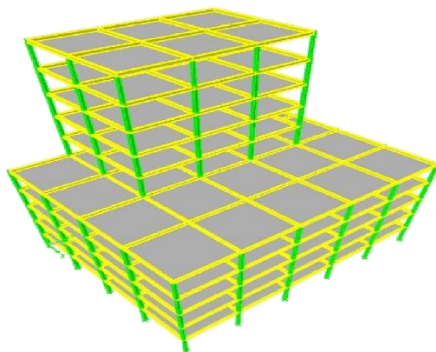
عملکرد ساختمان مشخص می شود و معیار پذیرش مفصلها طبق دستورالعمل بهسازی کنترل می شود. در گام بعدی سازه ها تحت دو حالت تحریکات زیر تحلیل می شود: ۱- تحریکات افقی زلزله ۲- تحریکات افقی و قائم زلزله و با استفاده از نتایج حاصل از این دو حالت تحلیل تاریخچه زمانی سهم تحریکات افقی و قائم از پاسخ و ظرفیت سازه ارزیابی می گردد.

### مشخصات سیستمهای سازه ای

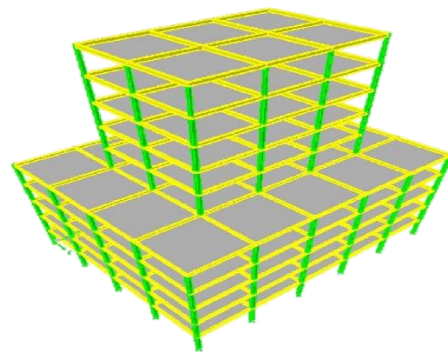
در این تحقیق سه ساختمان فولادی جهت ارزیابی لرزه ای انتخاب



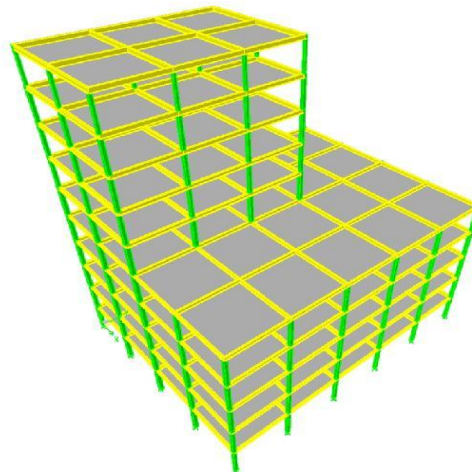
شکل ۱- مشخصات ساختمانهای مورد مطالعه (ابعاد به متر)



شکل ۳- نمای سه بعدی سازه P2



شکل ۲- نمای سه بعدی سازه P1

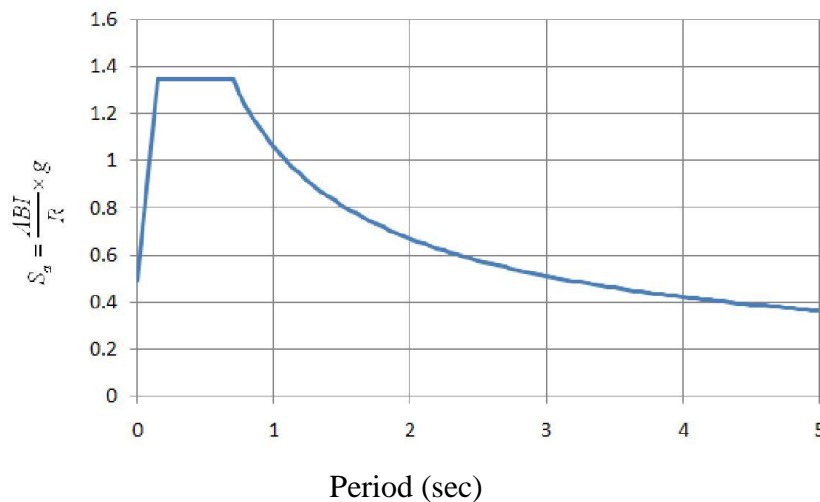


شکل ۴- نمای سه بعدی سازه P3

محاسبه مقادیر ویژه مشخصه تغییر نخواهد کرد. خواص موادی که تشکیل دهنده سازه هستند، به صورت خطی و ایزوتروپیک فرض می‌شود. میزان میرایی در هر دو قاب برابر 5 درصد منظور شده است.

### محاسبه مقادیر ویژه

بعد از ساخت مدل نرم‌افزاری، با اجرای اتوماتیک نرم‌افزار مقادیر ویژه هر سازه محاسبه می‌شوند. در نرم‌افزار ETABS محاسبه مقادیر ویژه به دو روش ممکن خواهد بود.



شکل ۵- نمودار طیف طرح استاندارد 2800 برای زمین نوع III با خطر نسبی خیلی زیاد

سنگین در طول دهانه تیر و نداشتن طره در سازه، می‌توان از اثر قائم زلزله صرف‌نظر کرد.

5- در کنترل تغییر مکان نسبی جانبی، در سازه P1 و P2 ترکیب بار DSTLS3 (که دارای زلزله استاتیکی معادل می‌باشد) بحرانی‌تر از ترکیب بار DSTLS15 (که دارای زلزله طیفی می‌باشد) می‌باشد. در حالی که در سازه P3، ترکیب بار DSTLS15 بحرانی‌تر از ترکیب بار DSTLS3 می‌باشد.

### مطالعات تحلیلی و ارزیابی غیر خطی سازه‌ها

#### رفتار اجزای سازه‌ای

رفتار اجزای سازه با توجه به نوع تلاش داخلی آن‌ها و منحنی نیرو- تغییر شکل حاصل به صورت کنترل‌شونده توسط تغییر شکل و یا کنترل‌شونده توسط نیرو می‌باشد.

#### مقادیر سطوح اندرکنش

پس از تعیین پارامترهای مدلسازی و پارامترهای معیارهای پذیرش که در بخش (4-9-3) ذکر شد می‌بایست مقادیر سطوح اندرکنش و حدجاری شدن مطابق روابط بخش (9-3-4) برای  $P_u = P_{CL}$  و  $M_{u33}$  و  $M_{u22}$  محاسبه شده و بصورت زیر بدست می‌آید:

### مدلسازی

برای مدلسازی از نرم‌افزار Etabs استفاده شده است. بارگذاری و مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان استفاده گردیده است [10]. اولین گام در تحلیل هر سازه ساختن مدل هندسی متناسب با مقادیر جرم، سختی و میرایی اعضاء است. در این راستا ذکر نکات زیر ضروری به نظر می‌رسد:

تنها رفتار خطی در یک آنالیز مودال قابل قبول است و بنابراین اگر در هنگام مدلسازی از المانهای غیر خطی استفاده شود، سختی و میرایی آنها براساس مقادیر اولیه فرض می‌شود و در طول

### نتایج تحلیل طیفی برای نیروی افقی طبقات

۱- نتایج توزیع نیروی برشی از روش تحلیل استاتیکی معادل با تحلیل دینامیکی طیفی در سازه‌های دارای نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع همخوانی ندارد.

۲- در سازه P1 و P2 و P3 اکثر اعضاء این سازه‌ها برای کنترل نسبت نیاز به ظرفیت (Demand/Capacity) تحت اثر ترکیب بارهای که در آنها زلزله طیفی دخیل هست نسبت به ترکیب بارهای که زلزله استاتیکی معادل دخیل هستند بحرانی‌تر شده‌اند.

۳- در سازه P3 در اثر تحلیل طیفی در هر راستا، موجب ایجاد دو نیروی افقی در دو راستا می‌شود در حالی که در تحلیل استاتیکی معادل در هر راستا، تنها موجب ایجاد نیروی افقی در همان راستا می‌شود علت آن این است سازه در هیچ یک از دو جهت در ارتفاع دارای محور تقارن نمی‌باشد، که طبق ضوابط استاندارد 2800، در مورد این سازه‌ها در نظر گرفتن تحلیل طیفی الزامی هست، که نتیجه‌گیری ذکر شده علت این ضابطه استاندارد 2800 می‌باشد.

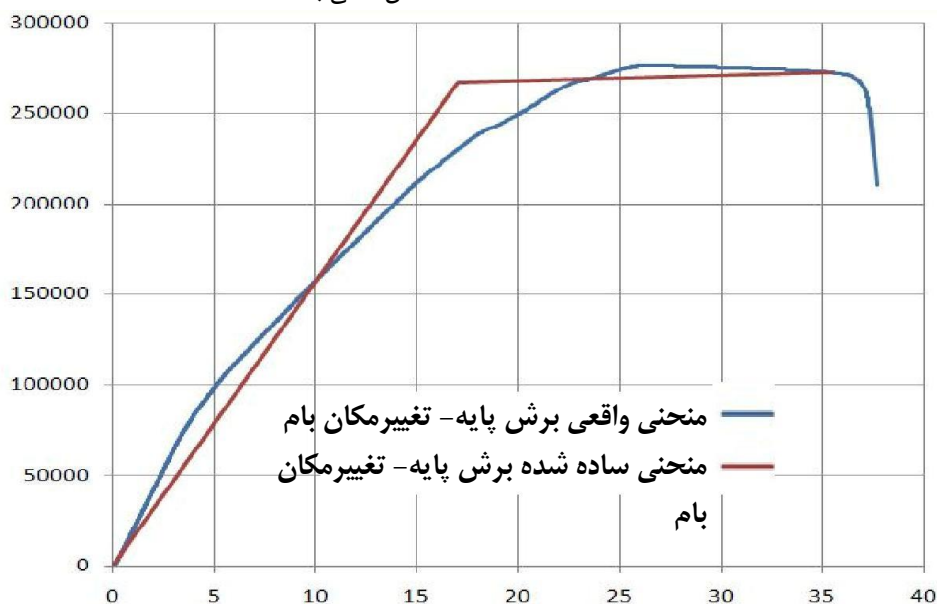
۴- با توجه ضوابط استاندارد 2800 در مورد زلزله قائم، می‌توان نتیجه گرفت با توجه به طول دهانه تیرها و بارهای متمرکز

### خلاصه‌ای از نحوه معیار پذیرش در تحلیل استاتیکی غیر خطی و دینامیکی غیر خطی

الف) تیرها: عملکرد خمشی تیرها بر مبنای رفتار کنترل‌شونده توسط تغییر شکل می‌باشد.

ب) ستون‌ها: نیروی محوری ستون‌ها کنترل‌شونده توسط نیرو محسوب می‌شود و تلاش خمشی در ستون‌های که همراه با نیروی محوری و در آن، مقدار نیروی محوری در تغییر مکان هدف در تحلیل استاتیک غیر خطی یا در مرحله آغاز محاسبات در تحلیل دینامیکی غیر خطی، کمتر از  $0.5P_{CL}$  دارند کنترل شده توسط تغییر شکل محسوب می‌شوند. و تلاش خمشی در ستون‌هایی که نیروی محوری در تغییر مکان هدف تحلیل استاتیک غیر خطی یا در آغاز تحلیل دینامیک غیر خطی، برابر و یا بیش از  $0.5P_{CL}$  می‌باشد کنترل شده توسط نیرو محسوب می‌شود. شایان ذکر هست که تمام مفصل‌های که کنترل شده توسط نیرو هستند می‌توان مقدار  $CP = 10\theta_y$  در نظر گرفت که همان مرز منحنی اندرکنش می‌شود.

نوع اول بار (که بار طبقات بر اساس تحلیل طیفی توزیع شده است) که از نوع دوم توزیع بار بحرانی شده است. بصورت شکل ۶ می‌باشد.



شکل ۶- منحنی نیرو- تغییر مکان برای سازه P1 در جهت X (واحد ها کیلوگرم و سانتی‌متر)

نوع دوم توزیع بار بحرانی شده است. بصورت شکل ۷ می‌باشد.

### نمودار پوشش‌آور برای سازه P1

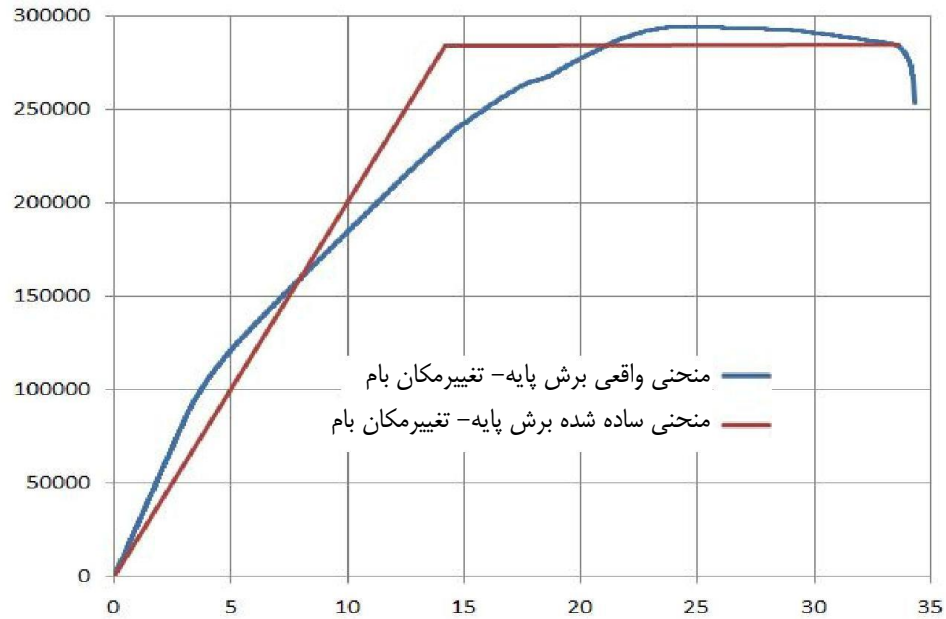
نمودار پوشش‌آور برای سازه P1 در جهت X تحت اثر توزیع نمودار پوشش‌آور برای سازه P1 در جهت Y تحت اثر توزیع نوع اول بار (که بار طبقات بر اساس تحلیل طیفی توزیع شده است) که از

جدول ۱- ممان پلاستیک برای مقاطع تیرها

مقطع تیر	Mu)33 ( واحد kg.cm )
IPE340	1581024
IPE360	1860264
IPE380	2418720

جدول ۲- ممان پلاستیک و نیروی محوری نهایی برای مقاطع ستون‌ها

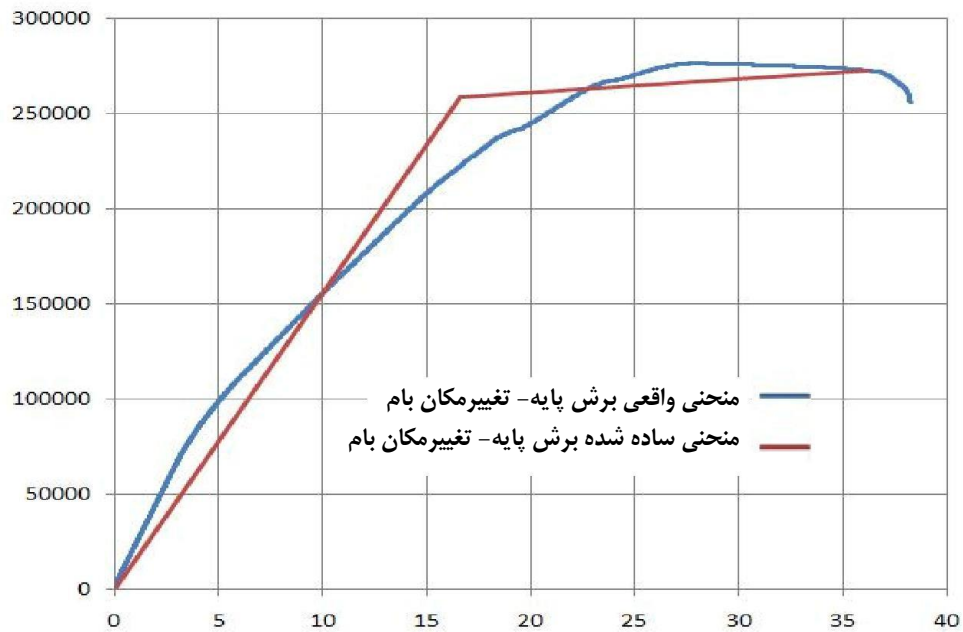
مقطع ستون	Pu ( واحد kg )	Mu)22 ( واحد kg.cm )	Mu)33 ( واحد kg.cm )
BOX 300X300X13	312060	3857500	3857500
BOX 250X250X12	227420	2449200	2449200
BOX 200X200X10	137980	1300800	1300800



شکل ۷- منحنی نیرو- تغییر مکان برای سازه P1 در جهت Y (واحد ها کیلوگرم و سانتی متر)

که از نوع دوم توزیع بار بحرانی شده است . بصورت شکل ۸ می باشد .

نمودار پوش آور برای سازه P2 در جهت X تحت اثر توزیع نوع اول بار (که بار طبقات بر اساس تحلیل طیفی توزیع شده است)



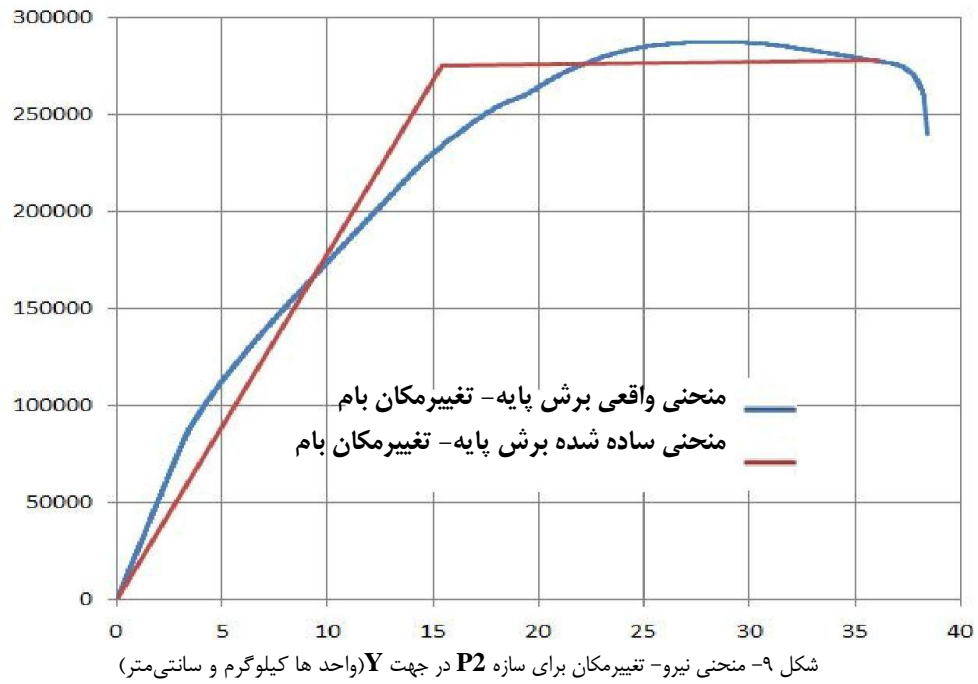
شکل ۸: منحنی نیرو- تغییر مکان برای سازه P2 در جهت X (واحد ها کیلوگرم و سانتی متر)

بار طبقات بر اساس تحلیل طیفی توزیع شده است ) که از نوع دوم توزیع بار بحرانی شده است . بصورت شکل ۹ می باشد.

نمودار پوش آور برای سازه P2

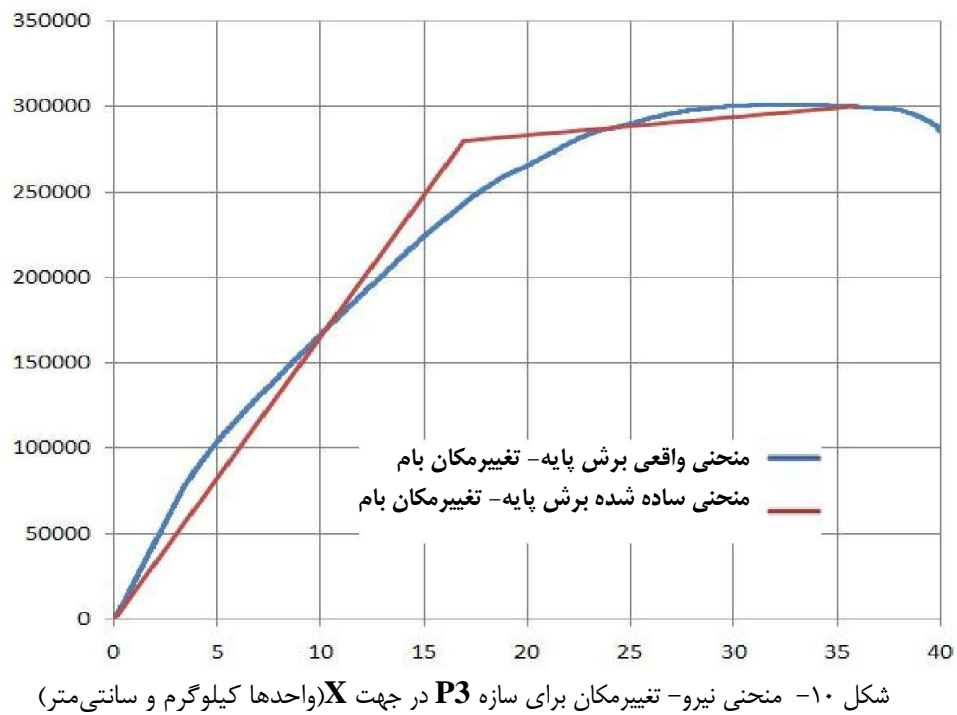
آور برای سازه P2 در جهت Y تحت اثر توزیع نوع اول بار (که





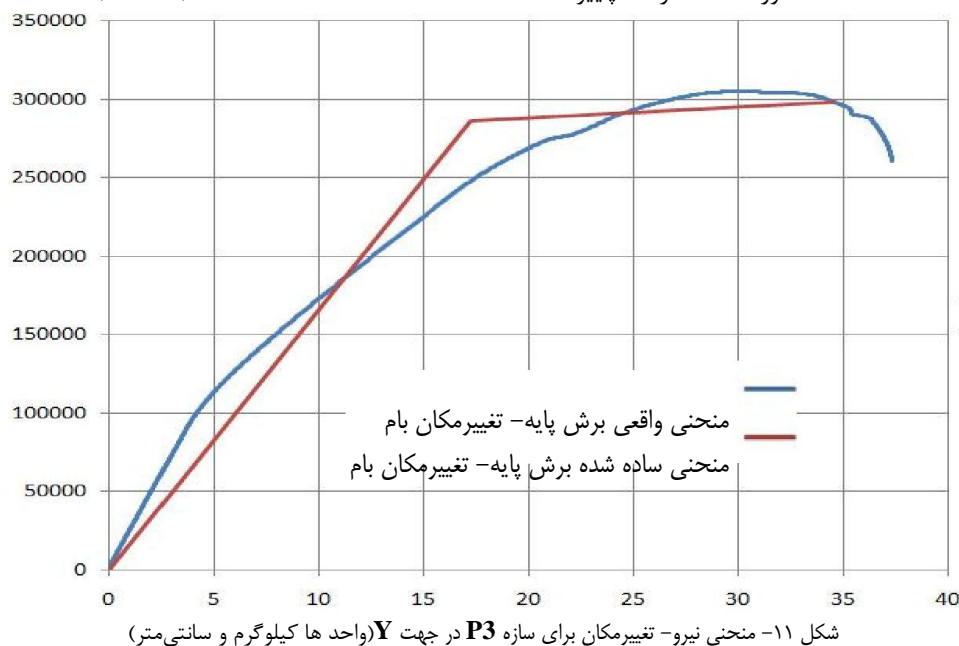
که از نوع دوم توزیع بار بحرانی شده است . بصورت شکل ۱۰ می باشد .

نمودار پوش آور برای سازه P3 در جهت X تحت اثر توزیع نوع اول بار (که بار طبقات بر اساس تحلیل طیفی توزیع شده است )



اول بار (که بار طبقات بر اساس تحلیل طیفی توزیع شده است ) که از نوع دوم توزیع بار بحرانی شده است . بصورت شکل ۱۱ می باشد .

نمودار پوش آور برای سازه P3 در جهت Y تحت اثر توزیع نوع



(Z) در نظر گرفته شود.

۴- پاسخ سازه باید برای هر یک از زلزله ها محاسبه شود. چنانچه کمتر از 7 زلزله در نظر گرفته شود پاسخ سازه باید برابر مقدار حداکثر پاسخ ها فرض شود. اما اگر 7 زلزله یا بیش تر در نظر گرفته شود پاسخ سازه می تواند برابر متوسط مقدار پاسخ ها انتخاب شود.

#### شتاب نگاشت سازگار با طیف طرح

شتاب نگاشت هایی که دارای طیف های پاسخ هماهنگ با طیف طرح برای ساختگاه باشند، شتاب نگاشت سازگار با طیف طرح نامیده می شوند و برای تحلیل تاریخچه زمانی سازه مورد استفاده قرار می گیرند.

طبق استاندارد 2800 در مواردی که شتاب نگاشت ثبت شده با مشخصات مورد نظر در دسترس نباشد، می توان به جای آنها از شتاب نگاشت های شبیه سازی شده مصنوعی که بصورت زیر بدست می آید استفاده کرد.

شتاب نگاشت های انتخاب شده باید به روش زیر مقیاس شوند:

الف- کلیه شتاب نگاشت ها به مقدار حداکثر خود مقیاس شوند. بدین معنی که حداکثر شتاب همه آنها برابر با شتاب همه آنها برابر با شتاب ثقل  $g$  گردد.

ب- طیف پاسخ شتاب هریک از شتاب نگاشت های مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی 5 درصد تعیین گردد.

پ - طیف های پاسخ هر زوج شتاب نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود.

ت- طیف های پاسخ ترکیبی سه زوج شتاب نگاشت، متوسط گیری شده و در محدوده زمان زمان تناوب  $0.2T$  و  $1.5T$  با طیف طرح استاندارد مقایسه می گردد. ضریب مقیاس آنچنان تعیین شود

#### تحلیل دینامیکی غیر خطی

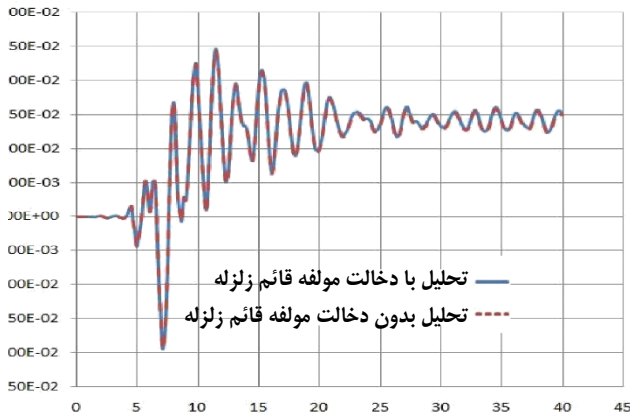
بر اساس مطالعات انجام گرفته، نیرویی که در طی یک زلزله واقعی نسبتاً بزرگ بر سازه وارد می شود چند برابر نیرویی است که ما در تحلیل استاتیکی در نظر می گیریم [11] لذا در اثر نیروی وارده توسط زلزله سازه وارد محدوده غیر ارتجاعی (غیر الاستیک) می شود و مقداری از انرژی سازه به علت شکل پذیری سازه جذب می شود که ضریب رفتار معرفی شده در تحلیل استاتیکی معادل (R) بخاطر در نظر گرفتن همین اثر هست. در اثر ورود سازه به محدوده غیر ارتجاعی (غیر الاستیک) و تشکیل مفاصل خمیری، سختی و به تبع آن رفتار سازه تغییر می کند لذا برای مدل سازی واقعی سازه و درک رفتار واقعی آن، استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی ضروری می نماید. در روش تحلیل دینامیکی غیر خطی، پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی مصالح و رفتار غیر خطی هندسی سازه محاسبه می شود [12]. در این روش فرض بر آن است که ماتریس سختی و میرایی از یک گام به گام بعد می تواند تغییر کند، اما در طول هر گام زمانی ثابت است و پاسخ مدل تحت شتاب زلزله به روش های عددی و برای هر گام زمانی محاسبه می شود.

#### ملاحظات خاص مدل سازی و تحلیل

در مدل سازی کلیه اعضا، باید رفتار غیر خطی آنها تا امکان نزدیک به واقعیت مدل گردد. علاوه بر آن در تحلیل باید موارد زیر منظور شود:

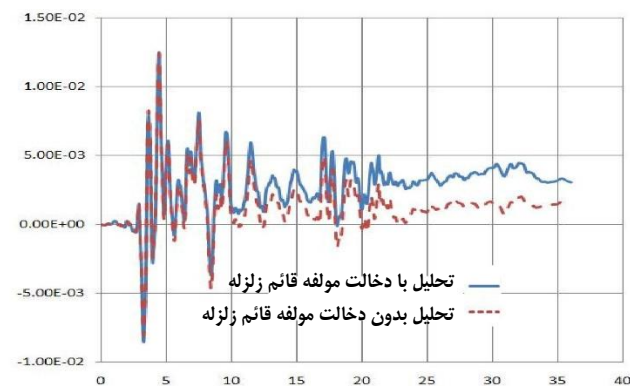
- ۱- ساختگاه های شتاب نگاشت ها می بایست تا حد امکان مشخصات لایه های خاک آن با زمین محل ساختمان، مشابهت داشته باشد.
- ۲- تحلیل سازه باید برای حداقل سه زلزله انجام شود.
- ۳- اثر زلزله در دو جهت عمود بر هم (X و Y) و جهت قائم





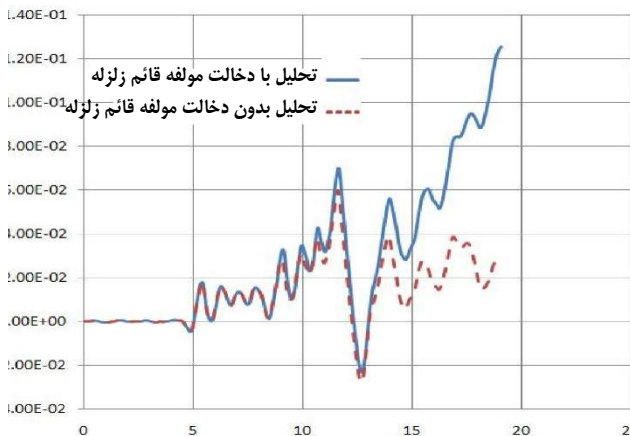
شکل ۱۳- تاریخچه زمانی نسبت دررفت طبقه ششم زلزله شماره پنج، گروه

0.5g در سازه P1



شکل ۱۴- تاریخچه زمانی نسبت دررفت طبقه اول زلزله شماره پنج، گروه

0.65g در سازه P1



شکل ۱۵- تاریخچه زمانی نسبت دررفت طبقه اول زلزله شماره شش، گروه

0.8g در سازه P1

نمودارهای ۱۶ و ۱۷ نتایج نهایی نسبت دررفت طبقه اول و نسبت دررفت طبقه ششم را پنج گروه زلزله برای سازه P1 را نمایش می دهد.

که در این محدوده مقادیر متوسطها در هیچ حالت کمتر از 1.4 برابر مقدار نظیر آن در طیف استاندارد نباشد. T طبق ضوابط استاندارد 2800 است.

ث- ضریب مقیاس تعیین شده باید در شتابنگاشت‌های مقیاس شده در بند الف ضرب شود و در تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار گیرد.

شایان ذکر هست که شتابنگاشت‌ها از سایت Peer که توسط دانشگاه برکلی کالیفرنیا راه‌اندازی شده است دریافت شده است لذا با توجه به اینکه نوع زمین شماره III می‌باشد لذا تمام شتابنگاشت‌ها برداشته از این سایت برای زمین نوع III می‌باشد. که دیگر لازم به مقیاس کردن ندارد. ولی برای اطمینان از این مطلب یک نمونه شتابنگاشت را با توجه ضوابط استاندارد 2800 کنترل می‌کنیم.

در این تحقیق PGA (اوج شتاب زمین) شتابنگاشت‌های بکار

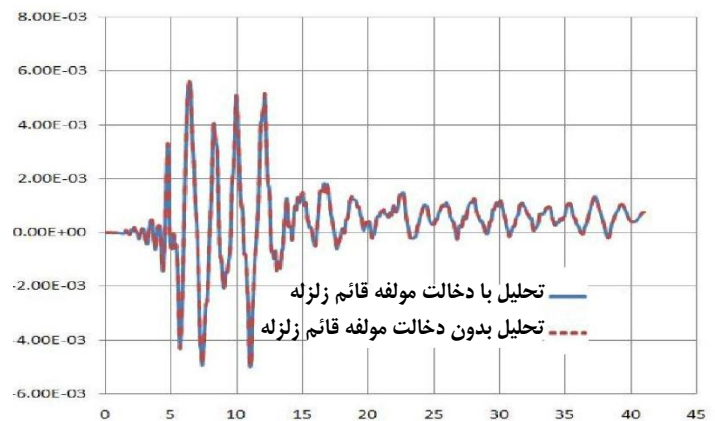
رفته بصورت 5 گروه و بصورت زیر می‌باشد

1) 0.2g , 2) 0.35 g , 3) 0.5g , 4) 0.65g , 5) 0.8g

که هر گروه دارای 7 زلزله می‌باشد تا نتایج حداکثر هر زلزله را بدست آورده و از این نتایج حداکثر برای هر گروه جداگانه متوسط گیری کرده و پاسخ بدست آمده به عنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته می‌شود.

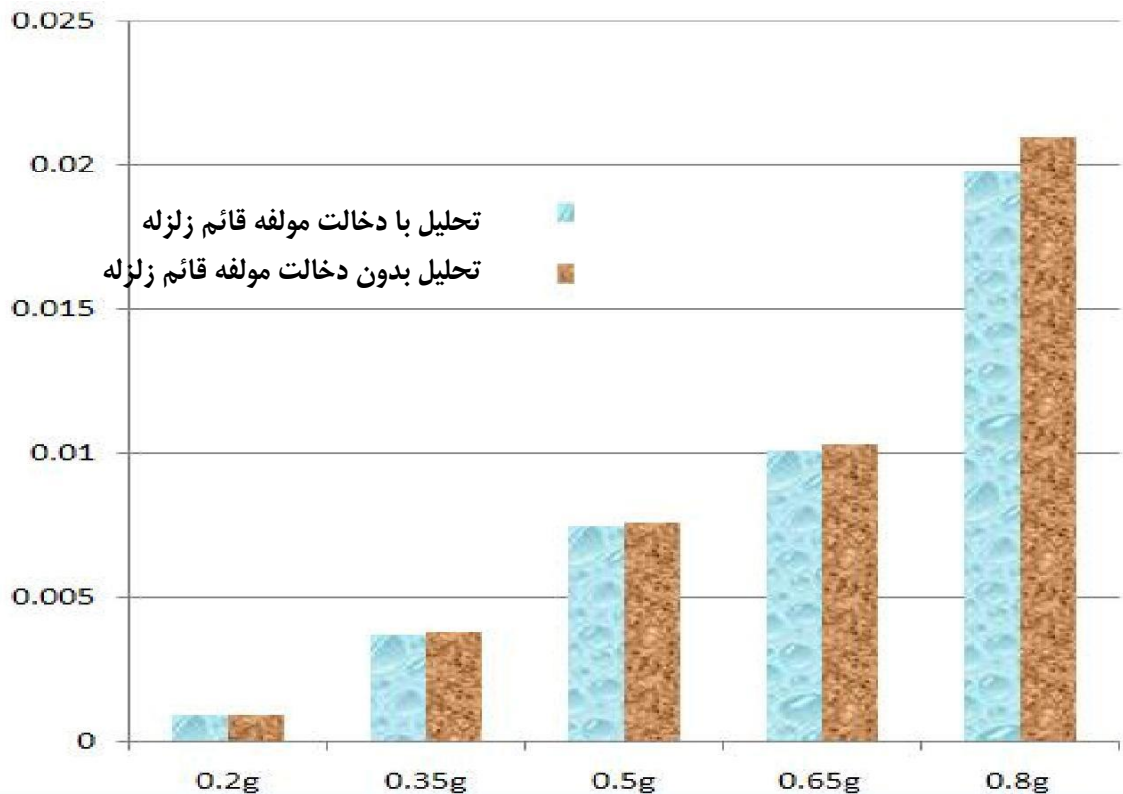
### پاسخ تاریخچه زمانی نسبت دررفت طبقات سازه P1

برای بدست آوردن پاسخ طبق استاندارد 2800 در حالتی که از 7 زلزله استفاده شده باشد می‌توان ماکزیمم هر زلزله بدست آورده و سپس برای پاسخ نهایی از مقدار بدست آمده برای 7 زلزله متوسط گیری کرد و در نتیجه پاسخ نهایی را با ضوابط استاندارد 2800 مقایسه کرد. در این تحقیق تنها پاسخ تاریخچه زمانی برای زلزله‌های منتخب از هر گروه در جهت X، که در شکل‌های ۱۶-۱۷ نمایش داده شده است ولی برای پاسخ نهایی طبق ضوابط ذکر شده از تمام زلزله‌های گروه، متوسط‌گیری کرده و با مقدار مجاز آن طبق استاندارد 2800 مقایسه می‌شود.

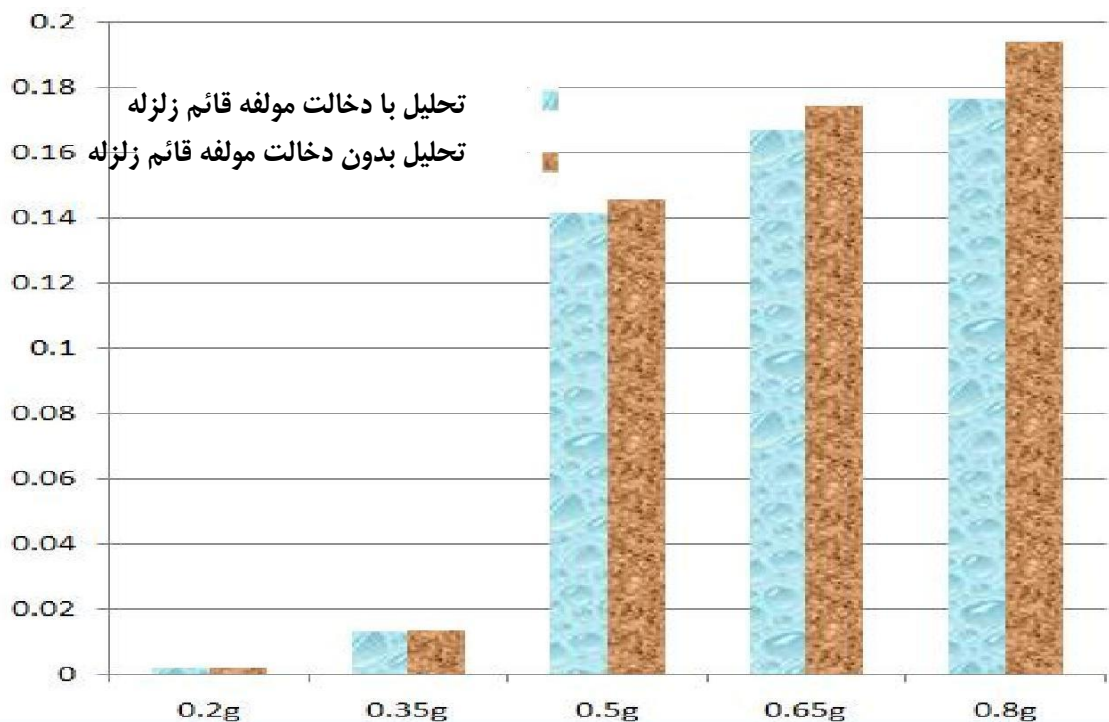


شکل ۱۲- تاریخچه زمانی نسبت دررفت طبقه اول زلزله شماره دو، گروه

0.35g در سازه P1



نمودار ۱۶- نتایج نهایی نسبت دررفت طبقه اول برای گروه زلزله ها در سازه P1

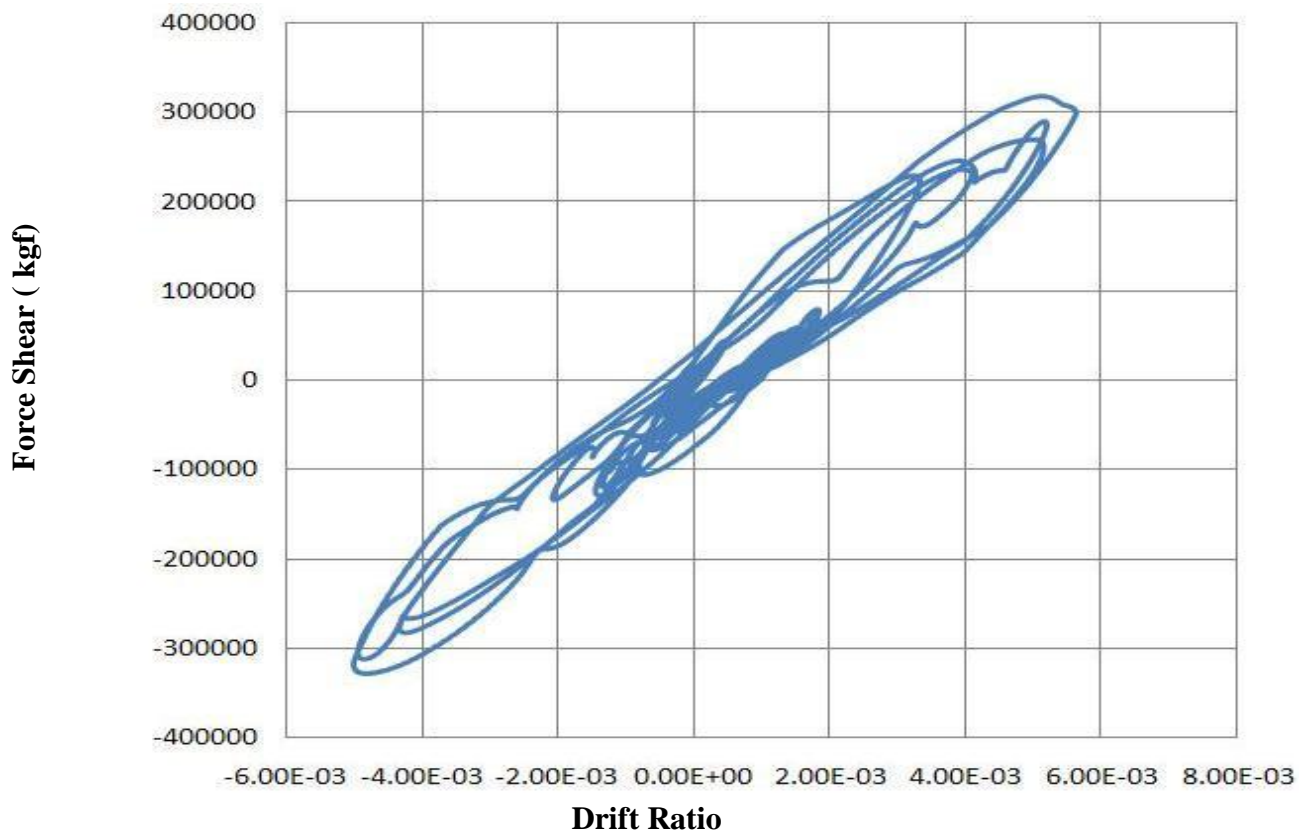


نمودار ۱۷- نتایج نهایی نسبت دررفت طبقه ششم برای گروه زلزله ها در سازه P1

### پاسخ نسبت دریفت - برش برای طبقات سازه P1

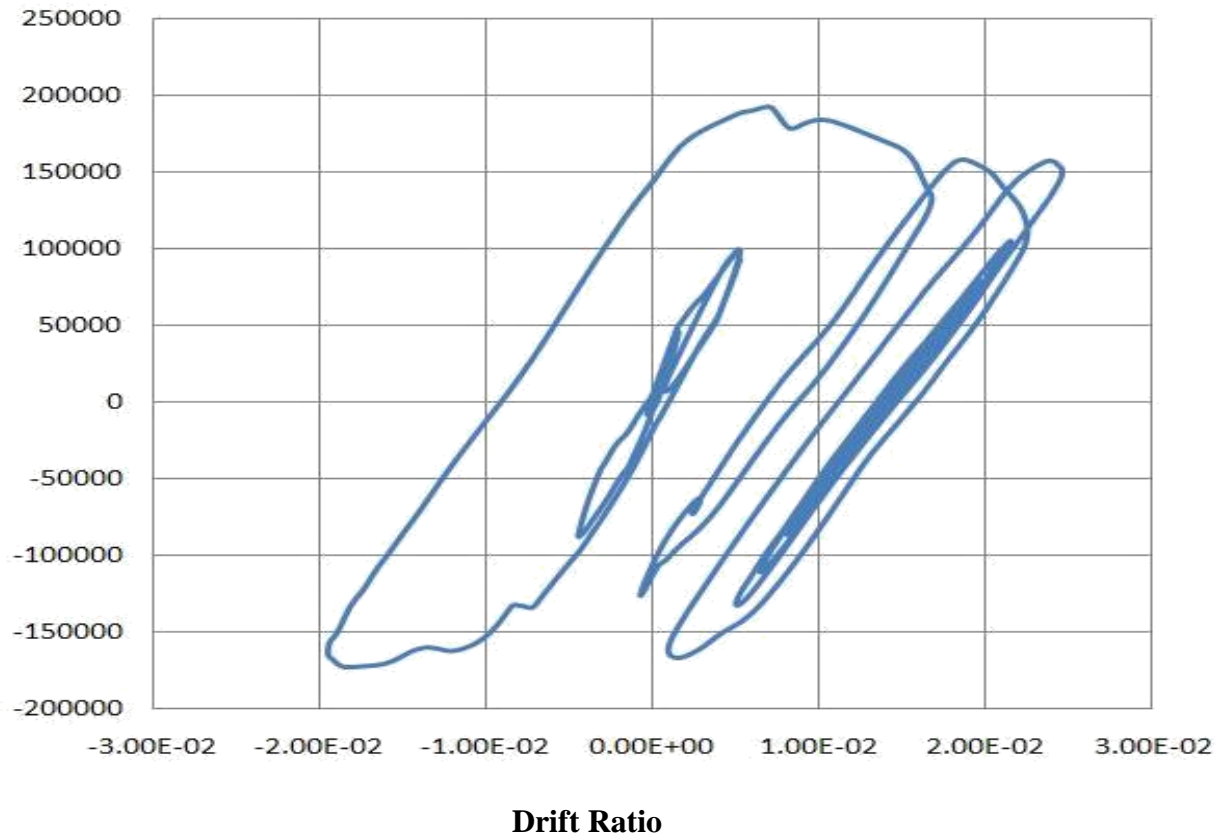
شکل‌های ۱۸-۲۲ نسبت دریفت - برش طبقه اول و طبقه ششم که دارای نامنظمی جرم و سختی در این طبقه می‌باشد نشان می‌دهد. برای بدست آوردن پاسخ طبق استاندارد ۲۸۰۰ در حالتی که از ۷ زلزله استفاده شده باشد می‌توان ماکزیمم هر زلزله بدست آورده و سپس برای پاسخ نهایی از مقدار بدست آمده برای ۷ زلزله متوسط گیری کرد و در نتیجه پاسخ نهایی را با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه کرد. در این تحقیق تنها پاسخ نسبت دریفت - برش طبقه اول و ششم برای زلزله‌های منتخب از هر گروه در جهت X، که در شکل‌های ۱۸-۲۲ نمایش داده شده است.

همانطور که از نمودارهای ۱۶ و ۱۷ مشاهده می‌شود برای زلزله گروه 0.35g و 0.2g مقدار نسبت دریفت حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی از نسبت دریفت مجاز استاندارد ۲۸۰۰ که برابر 0.02 هست کمتر است لذا طبق استاندارد 2800 قابل قبول هست ولی برای سایر گروه زلزله قابل قبول نمی‌باشد البته لازم به ذکر هست سازه مورد نظر برای 0.35g طبق استاندارد 2800 طراحی شده است و در حد این استاندارد قابل قبول هست. با توجه به نمودارهای ۱۶ و ۱۷ مشخص هست در حالتی که اثر مولفه قائم زلزله در نظر گرفته شود موجب افزایش نسبت دریفت طبقات می‌شود.



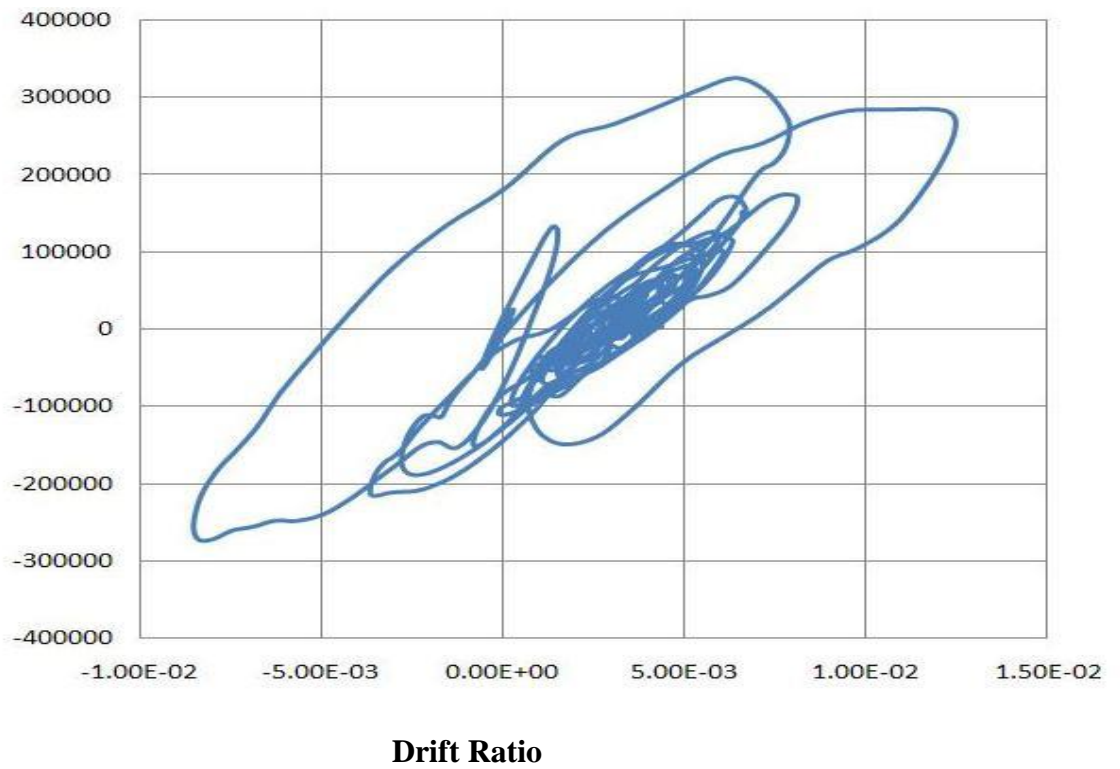
شکل ۱۸- نمودار هیستریزس نسبت دریفت - برش طبقه اول زلزله شماره یک، گروه 0.35g در سازه P1

Force Shear ( kgf)

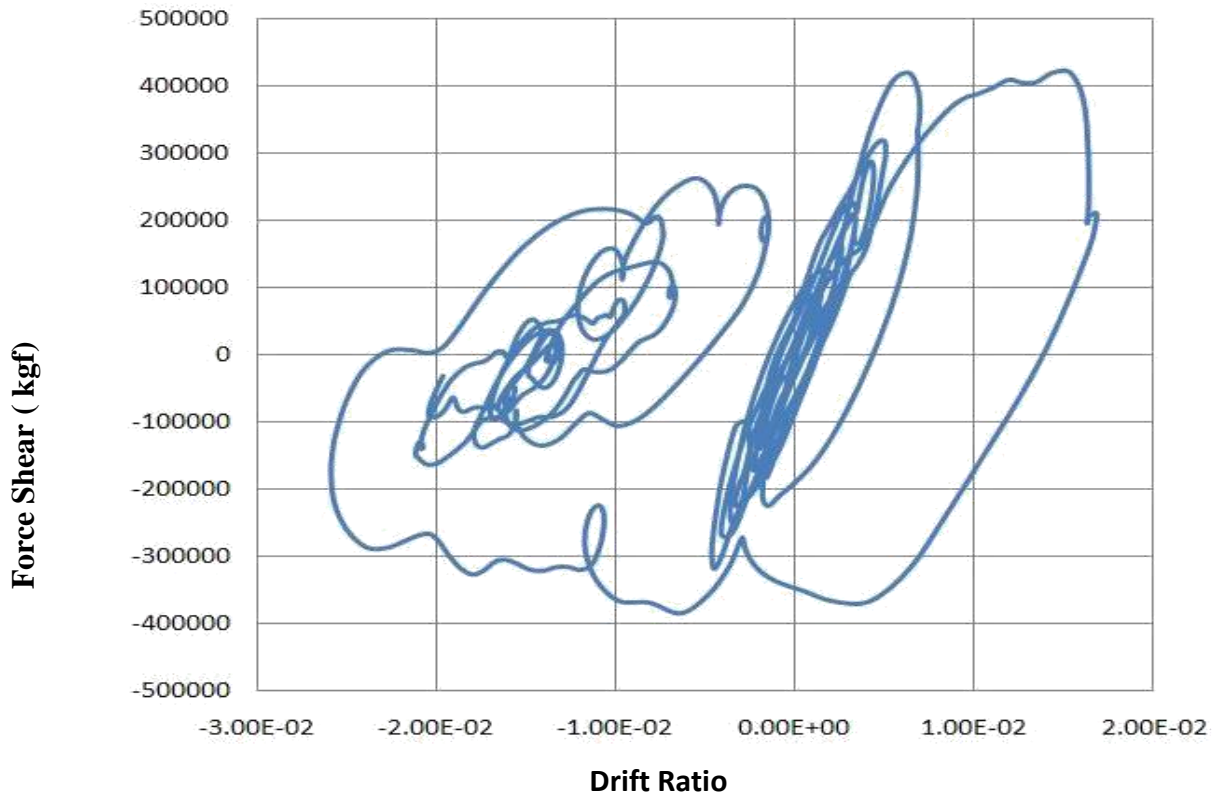


شکل ۱۹- نمودار هیستریزیس نسبت دریفت - برش طبقه ششم زلزله شماره پنج، گروه 0.5g در سازه P1

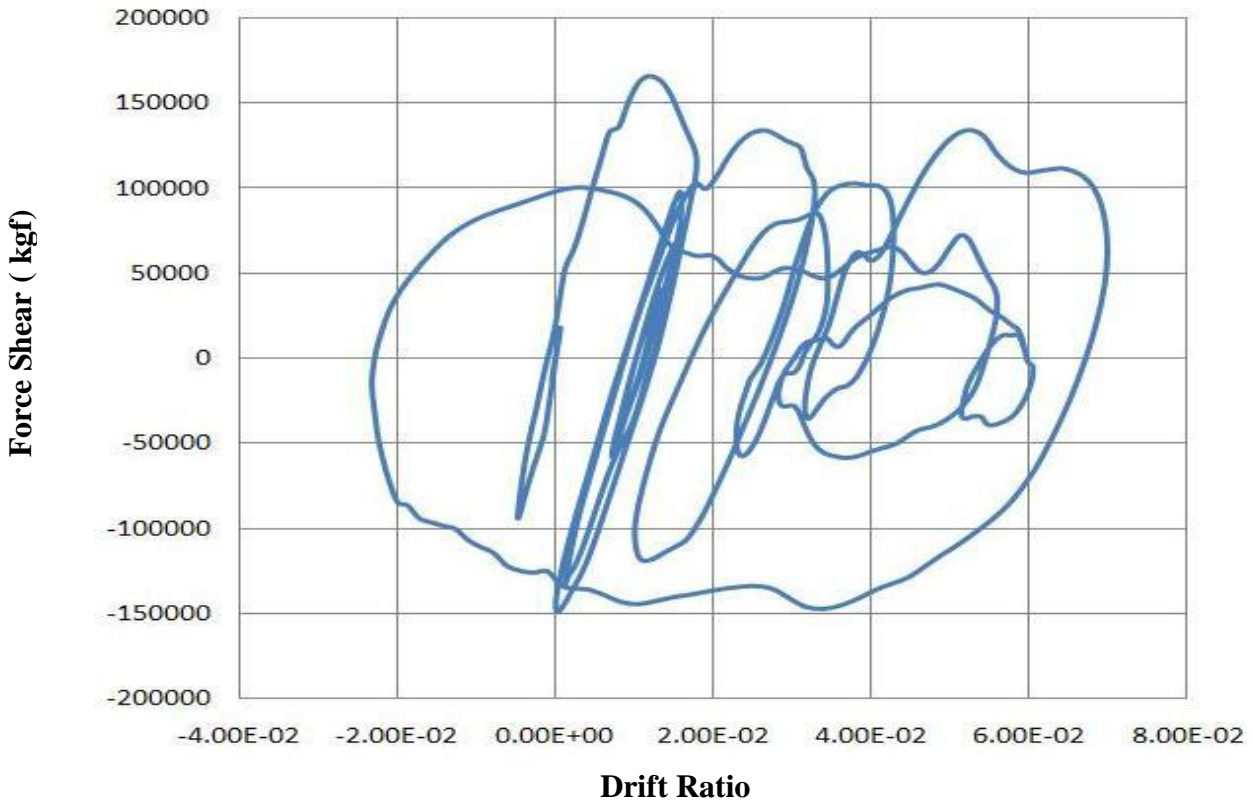
Force Shear ( kgf)



شکل ۲۰- نمودار هیستریزیس نسبت دریفت - برش طبقه اول زلزله شماره پنج، گروه 0.65g در سازه P1



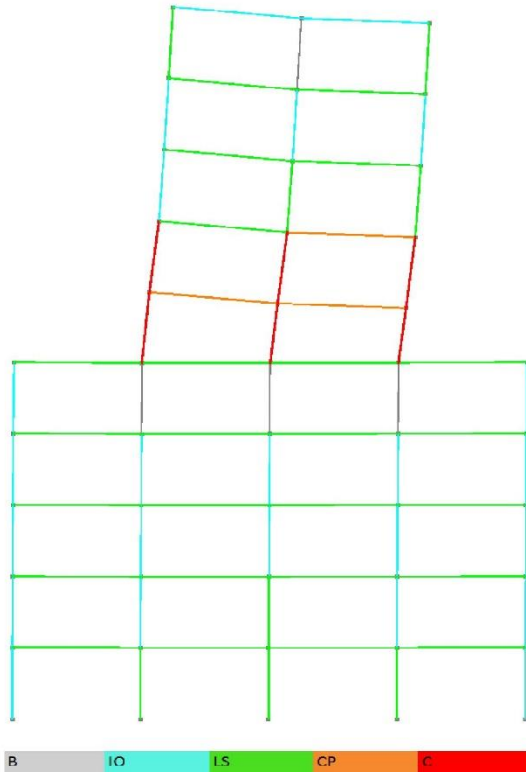
شکل ۲۱- نمودار هیستریزیس نسبت دریفت - برش طبقه اول زلزله شماره شش، گروه 0.8g در سازه P1



شکل ۲۲- نمودار هیستریزیس نسبت دریفت - برش طبقه ششم زلزله شماره شش، گروه 0.8g در سازه P1



که با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ طراحی می‌شوند معیارهای پذیرش آنها برای ایمنی جانی می‌باشد به عبارتی دیگر می‌بایست مفصل‌های پلاستیک از محدوده LS to CP تجاوز نکند.



شکل ۲۳- تشکیل مفاصل خمیری سازه P1 در اثر زلزله شماره سه، گروه 0.35g

جدول ۳- نتایج نهایی حاصل از متوسط گیری از عملکرد مفصل‌های پلاستیکهفت زلزله گروه 0.35g برای اعضای سازه P1، P2، P3

محدوده عملکرد اعضای	A to B	B to IO	IO to LS	LS to CP to C	Beyond	Total	
سازه P1	651	82	214	119	6	8	1080
سازه P2	667	87	198	115	4	9	1080
سازه P3	661	79	211	116	5	7	1080

### اثر توأم مؤلفه‌های افقی و قائم و جهت اعمال زلزله بر نیروی محوری ستونها

به منظور بررسی اثر توأم مؤلفه‌های و قائم زلزله و جهت اعمال زلزله بر نیروی محوری ستونها نیروی محوری ستونهای میانی در طبقات مختلف ساختمانها مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی و مقایسه اثر زلزله بر هر یک از ستونهای میانی در هر یک از ساختمانها، روش کار بدین صورت می‌باشد که در هر یک از ساختمانهای P1، P2، و P3 به ترتیب ستونهای طبقه اول و ششم که دارای نامنظمی جرم و سختی در این طبقه می‌باشد به عنوان نماینده ستونهای طبقات پائینی و بالایی انتخاب شده‌اند.

### بررسی وضعیت مفاصل خمیری تحت زلزله‌های گروه 0.35g

بی‌شک یکی از مهمترین مسائل مطرح در رابطه با آسیب پذیری تعیین نقاط ضعف سازه می‌باشد. زیرا خسارت و شکست سازه در اثر زلزله از این نقاط ضعف شروع می‌شود و چه بسا این نقاط باعث گسترش خسارات به نقاط دیگر می‌شوند. تشکیل تغییر شکل‌ها و مفصل‌های خمیری در اعضای سازه‌ای و مقدار این تغییر شکل‌ها زنگ خطرهایی هستند که می‌توانند نقاط ضعف سازه را نشان دهند.

### مراحل تشکیل مفصل‌های خمیری اعضای سازه P1

با توجه به شکل ۲۳ مفاصل خمیری در طبقه ششم و هفتم از محدوده عملکرد CP تجاوز کرده است و با توجه به این که از 7 زلزله استفاده شده است لذا طبق استاندارد 2800 می‌بایست برای نتیجه نهایی از نتایج هفت زلزله متوسط گیری کرد.

### نتایج نهایی حاصل از متوسط گیری از عملکرد مفصل‌های خمیری هفت زلزله گروه 0.35g برای اعضای سازه P1، P2، و P3

با توجه به این هر سه سازه طبق استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند و همین طور اینکه مرز نامنظمی جرم و سختی طبق استاندارد ۲۸۰۰ در طبقه ششم برای هر سه سازه رعایت شده است، لذا با توجه به جدول ۳ نتایج نشان می‌دهد که تعدادی از مفصل‌های پلاستیک هر سه سازه از محدوده عملکرد LS to CP تجاوز کرده است. و با توجه به اینکه طراحی هر سه سازه در برابر زلزله طبق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ رعایت شده است و سازه‌های



## نتیجه گیری

۱- می توان نتیجه گیری نمود، نیروی محوری ستونها نسبت به شدت مولفه قائم زلزله دستخوش تغییر می باشد.

۲- نتایج این تحقیق نشان می دهد تغییر نیروی محوری در ستونهای میانی سازه P2 نسبت به سایر سازه ها بیشتر است.

۳- نتایج نشان داد که افزایش نسبت دررفت سازه P3 در اثر دخالت مولفه قائم زلزله نسبت به سایر سازه ها بیشتر است.

۴- نتایج نهایی حاصل از متوسط گیری از عملکرد مفصل های خمیری هفت زلزله گروه 0.35g برای اعضای سازه P1، P2 و P3 نشان داد که مرز نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع طبق استاندارد ۲۸۰۰ برای این سه سازه قابل قبول نمی باشد چون تعدادی از مفصل های پلاستیک در طبقات ششم و هفتم از محدوده معیار پذیرش LS to CP تجاوز کرده اند.

در این تحقیق برای بررسی اثر مولفه قائم زلزله بر سازه های دارای نامنظمی جرم و سختی موجود، سه سازه فولادی با قاب خمشی متوسط که ۱۰ طبقه می باشد و در طبقه پنجم دارای سه نوع نامنظمی، که هر نامنظمی به طور جداگانه بر روی یک سازه در نظر گرفته شد. و هدف از این تحقیق ارزیابی اعضای سازه ها بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ و ارزیابی آن با تحلیل دینامیکی غیر خطی که در آن اثر مولفه قائم در نظر گرفته شده است می باشد و همینطور تحلیل دینامیکی غیر خطی بدون اثر مولفه قائم در نظر گرفته شد تا تفاوت آن با حالت دارای اثر مولفه قائم و همینطور استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه شود.

برای بررسی وضعیت سازه های مورد نظر با توجه به ملزومات استاندارد ۲۸۰۰ ظرفیت اعضای سازه ها با تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی بررسی شده است. سپس سازه ها تحت ۵ گروه زلزله که دارای PGA های 0.2g-0.35g-0.5g-0.65g-0.8g که هر کدام دارای ۷ شتابنگاشت به صورت دو مولفه افقی و یک مولفه قائم که برای زمین نوع III می باشد قرار می گیرد و بار دیگر بدون مولفه قائم مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی پارامترهای نظیر تغییر مکانی نسبی طبقات بر ارتفاع طبقه (دررفت)، برش سازه و طبقات، نیروی محوری ستونها، تغییر شکل سازه ها و در دو حالت با دخالت مولفه قائم زلزله و بدون دخالت مولفه قائم، مورد بررسی قرار گرفت.

مهمترین یافته های حاصل از این مطالعه به شرح زیر می باشد.

۱- با دخالت مولفه قائم زلزله در تحلیل دینامیکی غیر خطی، در سازه P1 و P3 موجب افزایش نسبت دررفت طبقات می شود ولی در سازه P2 موجب کاهش نسبت دررفت طبقات می شود.

۲- درصد افزایش نسبت دررفت با دخالت مولفه قائم زلزله برای

سازه P1 در حدود ۱ تا ۱۰ درصد و برای سازه P3 در حدود ۱ تا ۲۶ درصد بدست آمد و درصد کاهش نسبت دررفت با دخالت مولفه قائم زلزله در حدود ۱۰ تا ۲۳ درصد بدست آمد.

۳- بیشترین مقدار نسبت دررفت در طبقه ششم که دارای نامنظمی جرم و سختی هست بوجود می آید.

۴- در سازه P2 مقدار کاهش نسبت دررفت طبقه اول نسبت به طبقه ششم در اثر مولفه قائم زلزله بیشتر هست.

۵- به طور کلی نتایج تحلیل های دینامیکی غیر خطی نشان می دهد که مولفه قائم زلزله در افزایش نسبت دررفت طبقات برای زلزله های بالاتر از 0.35g اثر قابل توجهی را دارد.

۶- نتایج نشان داد برای هر سه سازه مقدار نسبت دررفت از مقدار مجازشان طبق استاندارد ۲۸۰۰ برای زلزله با PGA بیشتر از 0.35g تجاوز می کند.

۷- با دخالت مولفه قائم زلزله افزایش نیروی محوری ستون های میانی در اثر مولفه قائم زلزله برای سازه P1 و P2 نسبت به سازه P3 بیشتر هست.

۸- افزایش نیروی محوری ستون های میانی سازه P1 در حدود ۶ تا ۲۸ درصد و برای سازه P2 در حدود ۴ تا ۳۰ درصد و برای سازه P3 در حدود ۶ تا ۲۵ درصد می باشد.

۹- نتایج نشان داد برای هر سه سازه مقدار نیروی محوری ستون های میانی از مقدار تحلیل طیفی طبق استاندارد ۲۸۰۰ برای زلزله با PGA بیشتر از 0.35g تجاوز می کند.

۱۰- اثر کمناش در ستون های کناری در طبقه ششم که دارای نامنظمی جرم و سختی هست نسبت به ستون های وسطی آن طبقه بیشتر هست.

۱۱- بیشترین رخ داد کمناش در ستون های طبقه اول که وسط نامنظمی قرار دارند و بیشترین بار ثقی را تحمل می کنند اتفاق می افتد.

۱۲- نتایج نهایی حاصل از متوسط گیری از عملکرد مفصل های خمیری هفت زلزله گروه 0.35g برای اعضای سازه P1، P2 و P3 نشان داد که مرز نامنظمی جرم و سختی در ارتفاع طبق استاندارد ۲۸۰۰ برای این سه سازه قابل قبول نمی باشد چون تعدادی از مفصل های پلاستیک در طبقه ششم از محدوده معیار پذیرش ایمنی جانی- آستانه فرو ریزش (LS to CP) تجاوز کرده اند.

۱۳- به طور کلی نتایج تحلیل های دینامیکی غیر خطی نشان می دهد هنگامی که مولفه قائم زلزله را در تحلیل هر سه سازه در نظر گرفته شود در سازه P3 اثرات بحرانی تری نسبت به سازه P1 و P2 دارد.

## منابع

- [12] Karavasilis T.L, Bazeos N, Beskos D.E. Estimation of seismic deformation demands in plane steel MRF with vertical mass irregularities. *Engineering structures* 2008.
- [1] Fernandez D, Cominetti S, Oliva F, Zuniga H. Inclusion of the vertical seismic acceleration in one story. *Earthquake Engineering Structural Dynamics*. 1995.
- ۲- محرمی، حمید؛ اکبری کوشکجه، حسن؛ " بررسی اثرات مولفه قائم زلزله بر پاسخ قابهای ساختمانی"، اولین همایش مقاوم سازی لرزه‌ای، دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۸۴
- ۳- حسینی، سید محمود؛ هاشمی، سید عامر. تاثیر مولفه قائم زلزله بر ستونهای ساختمانهای فولادی با قاب خمشی. پنجمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ۱۳۸۵
- ۴- حسینی، سید محمود؛ مومنی، علی محمد؛ قنبری کاشانی، مصطفی. مطالعه اثر توام مولفه‌های افقی و قائم زلزله و جهت اعمال شتابنگاشت بر نیروی محوری ستونهای ساختمانهای فولادی منظم با قاب خمشی. ششمین کنفرانس بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله ۱۳۸۹
- [5] Wenting Li, Qingjun Chen. Effect of vertical ground motions and overburden depth on the seismic responses of large underground structures. *Engineering Structures*. 2020; 205: 110073.
- [6] Faizan Ahmad. Importance of use of vertical ground motion in seismic analysis for isolated structures. Master thesis. 2017
- [7] Hosseini M, Firoozi Nezamabadi M. A study of the effects of the vertical ground acceleration on the seismic response of steel buildings. 13th WCEE, Vancouver, B.C., Canada. 2004; Paper No. 2377.
- ۸- حسینی، محمود؛ صدرآراء، محمد. اثر مولفه قائم زلزله در قابهای خمشی بزرگ‌دهانه در ساختمانهای فولادی. مهندسی عمران شریف، بهار
- ۹- آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۴، ۱۳۹۳، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
- ۱۰- مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۸
- [11] Stefano M, Pintucchi B. A review of research on seismic behavior of irregular building structures since 2002. *Bull Earthquake Engineering* 2008.

# The Effect of Earthquake Vertical Component on Structures with Mass and Stiffness Irregularities in Height

Masood Jahanpanah

Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

Hossein Sohrabzadeh

Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

## Abstract

The earthquake vertical component and its influence on the analysis of buildings have long been considered by researchers and design engineers. However, so far, the considerations resulting from the effect of the vertical component of the earthquake in the design of buildings (unless partially in beams) with irregular mass and stiffness in height have not been studied. For this reason, this research is important in order to answer the question regarding impact of earthquake vertical component on buildings, which have irregularity in mass and stiffness in the height. So far, most of the research about the buildings with mass and hardness irregularities in the height has been studied only with respect to the influence of earthquake with horizontal component. However, the 2800 standard does not comprehensively predict the effect of the vertical seismic component on seismic loading, and the only effect of the vertical seismic component according to the 2800 standard is significant for the earthquake prone areas, cantilever beams, beams with a span of more than fifteen meters and beams with remarkable concentrated vertical load. According to the above cases to investigate the influence of seismic vertical component in the buildings with mass and hardness irregularity in the height, three 10-floor structures with steel curving frames, each in a different form on sixth floor, with mass and hardness irregularity, were analyzed. This irregularity is observed in standard 2800 boundary. The structures are then subjected to nonlinear dynamic analysis under five earthquake groups with PGA (Earth Acceleration Peak) values of 0.2g, 0.35g, 0.5g, 0.65g and 0.8g. It should be noted that each group has seven earthquakes that have three accelerometers (two horizontal components and one vertical component). Then, the maximum results of each earthquake are obtained and these results are averaged for each separate group and the obtained result is considered as the final result. The results of nonlinear dynamic analysis presented that through the interference of the vertical seismic component, the amount of drift ratio in the floor containing mass and stiffness irregularity, increased by about 5 to 25 percent and the amount of axial force of the column increased by about 5 to 30 percent.

**Keywords:** earthquake vertical component, structures, mass and stiffness irregularities height.