رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره ششم، شماره دوم، ۱۴۰۱، صفحه: ۱- ۱۳

بررسی اثر جهت‌داری زلزله در رفتار لرزه‌ای سازه‌های بتنی متوسط

بهزاد حاصلی*[۱]، سلمان کیارسی[۲]

[۱] دکتری مهندسی عمران-سازه، پژوهشگر قراراگاه سازندگی خاتم الانبیاء (b.haseli@yahoo.com)

[۲] کارشناس ارشد مهندسی عمران- سازه، موسسه آموزش عالی علاء الدوله سمنانی، گرمسار، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۱۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱)

چکیده

خصوصیات زلزله ها هم به لحاظ دامنه و هم محتوای فرکانسی برای ساختگاه ها در فواصل نزدیک به چشمه لرزه زا و دور از آن متفاوت است. مطالعات انجام شده بر روی رفتار سازه ها تحت اثر زلزله های حوزه نزدیک نشان داده است که شتابنگاشت‌های حاصل از این نوع زلزله ها دارای اثراتی (شامل جابجایی ماندگار و اثر جهت‌داری) نسبت به شتابنگاشت‌های دور از گسل می‌باشند. از اینرو باید ویژگی‌های زمین‌لرزه‌های حوزه نزدیک نیز در تحلیل و طراحی سازه‌ها در نظر گرفته شود. در تحقیق حاضر تلاش خواهد شد تا به بررسی اثر جهت‌داری زلزله های حوزه نزدیک بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بتنی متوسط با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی پرداخته شود. به همین منظور ابتدا رکوردهای حاصل از ایستگاه‌های مختلف زلزله چی‌چی به عنوان مبنای انتخاب شتابنگاشت‌ها تعیین و سپس با استفاده از روش های تحلیلی، طیف پاسخ این شتابنگاشت ها با در نظر گرفتن اثر جهت‌داری و بدون آن در دو جهت شمال- جنوب و شرق-غرب تعیین شد . مهم ترین خصوصیات متمایزکننده جنبش های حوزه نزدیک تولید پالس هایی به علت اثر جهت پذیری و اثر تغییر مکان ماندگار می باشد. جهت جداسازی پالس جهت داری از شتابنگاشت ها با نرم افزار متلب توسط آقای بکر استفاده شده است. سپس با توجه به تحلیل تاریخچه زمانی بر روی سازه متوسط بتنی ۱۵ طبقه، برای ۷ رکورد ایستگاهی از زلزله چی‌چی، دریفت (جابجایی نسبی) طبقات بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که، تاثیر جهت داری رکورد زلزله، منجر به افزایش پاسخ سازه شده است.

کلمات کلیدی

زلزله حوزه نزدیک، اثر جهت‌داری، شتابنگاشت زلزله چی چی، رفتار لرزه ای سازه بتنی متوسط ، دریفت طبقات.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره ششم، شماره دوم، ۱۴۰۱، صفحه: ۱- ۱۳

Investigation of Forward Directivity on Seismic behavior of Mid-Rise Reinforced

Behzad Haseli [1*], Salman kiarsi [2]

*[*1] Ph. D. of Structural Engineering, Khatamol Anbia Resercher (b.haseli@yahoo.com)*

[2] Ms.c. of Structural Engineering, Alaodoleh Semnani Institute of Higher Education, Garmsar, Iran

(Date of received: 01/04/2022, Date of accepted: 12/07/2022)

ABSTRACT

The characteristics of earthquakes vary both in terms of amplitude and frequency of content for sites at distances close to the seismic spring and far from it. However, the 2800 standard, which is used as the basis for the seismic design of the country, does not exclude the effects of the near-fault field on loading, and therefore the necessity of studying and comparing such effects on the response of structures is very necessary. Studies on the behavior of structures under the influence of near-field earthquakes have shown that the tracing of these types of earthquakes has more effects on structures (including permanent displacement and directional effects) than accelerations far from faults. Therefore, in order to estimate the near-active faults of earthquakes, the features of the near-earthquakes should be considered in the analysis and design of structures. Accordingly, in this research, we tried to study the effect of directional earthquakes near the seismic response of mid concrete structure using time histories analysis. For this purpose, firstly, the records of the various stations of the quake were determined as the basis for the selection of accelerometers, and then using the analytical methods, the response spectrum of this acceleration, taking into account the directional effect and without it, as well as the pulse isolated from these records In two directions north-south and east-west. Then, according to the time history analysis on two mid concrete structures with the number of stories 10, for 7 station records of the Taiwan Chichi earthquake, the drainage (relative displacement) of floors in structure was investigated. The results of this study showed that, due to the unpredictable nature of the earthquake, in mide structure, in many cases, the availability of earthquake records has little effect on the response of the structures of the structures, and the effect of the earthquake record on the response of the structure has increased.

Keywords:

Nearfield earthquake, Orientation effect, Chichi earthquake acceleration, Mid concrete structures, Drift of stories.

۱- مقدمه

زلزله‌های حوزه نزدیک به زلزله هایی اطلاق می شود که سایت ثبت زلزله در فاصله ای حدود ۱۵ کیلومتری از منشا وقوع آن قرار داشته باشد. به‌دلیل فاصله‌ی کم، اثر کاهندگی امواج زلزله ناچیز است و بنابراین این زلزله‌ها دارای محتوای فرکانسی بالایی هستند که در آن پالس‌هایی بازمان تناوب بالا نیز دیده می‌شود. مطالعات نشان داده است که رکوردهای زلزله‌های حوزه نزدیک را می‌توان به دو بخش، با ضربه و بدون ضربه تقسیم‌بندی کرد که در بعضی مواقع، پدیده ضربه در تاریخچه شتاب، سرعت و تغییرمکان یکی از ویژگی‌هایی است که زلزله حوزه نزدیک را از زلزله حوزه دور متمایز می‌کند. ضربه در زمین لرزه به‌صورت ضربه شتاب، سرعت و ضربه جابه جایی می باشد که می‌توان آنها را به تغییرات بزرگ در تاریخچه‌های شتاب، سرعت و جابجایی تعریف کرد[۱]. مطالعات انجام شده در حوزه نزدیک نشان می‌دهد که نگاشت‌های افقی عمود بر گسل دارای پالس هایی با تناوب بلند هستند. به‌طوری‌که اینگونه از نگاشت‌ها اثرات بیشتری بر سازه‌ها (شامل جابجایی ماندگار و اثر جهت‌داری) نسبت به نگاشت‌های دور از گسل دارند[۲]. اختلاف بین رکوردهای حوزه دور و نزدیک حتی برای یک زمین‌لرزه نیز کاملا مشهود است و بیشتر این اختلاف نیز نتیجه‌ی وجود دو خصوصیت جهت داری[۱] و جابجایی ماندگار[۲] در زلزله‌های حوزه نزدیک است و باید برای تخمین زلزله‌های نزدیک گسل‌های فعال، ویژگی‌های زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل (جهت داری و جابجایی ماندگار) در نظر گرفته شود. در زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل جابجایی-های ماندگاری ناشی از تغییرشکل ثابت حوزه زلزله دیده می‌شود. اثر زلزله در حوزه نزدیک به مقدار زیادی وابسته به جهت وقوع زلزله است. اگر انتشار شکست به سمت ساختگاه باشد آنگاه Forward Directivity رخ می دهد. از آنجا که خصوصیات زلزله هم به لحاظ دامنه و هم محتوای فرکانسی برای ساختگاه‌ها در فواصل نزدیک به چشمه زلزله و دور از آن متفاوت است، لذا لزوم مطالعه و مقایسه چنین اثراتی بر روی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها ضروری است. در سال‌های اخیر سازه های بیشماری در محدوده نزدیک گسل ساخته شده‌اند که اثرات حوزه نزدیک در طراحی آنها دیده نشده است. طبق تحقیقات صورت گرفته در این خصوص، مشخص شده که تاثیرات زلزله‌های نزدیک گسل از تاثیرات ارائه شده در آئین‌نامه‌ها بیشتر است [۳].زلزله‌های حوزه نزدیک با سرعت بالا و در مدت زمان کم نیروی زیادی را به سازه وارد می‌کنند. در زلزله های حوزه نزدیک که اوج پالس سرعت موجود در آنها از شدت بیشتری برخوردار است و یا مدت زمان پالس در آنها بزرگتر است، پاسخ سازه افزایش می‌یابد، لذا سازه‌هایی که به منبع لرزه‌زا نزدیکتر هستند، باید شکل‌پذیری بیشتری داشته باشند تا بتوانند در مقابل زلزله مقاومت بیشتری از خود نشان دهند[۴]. در تحقیق حاضر تلاش شده است تا به بررسی اثر جهت داری زلزله های حوزه نزدیک بر پاسخ لرزه ای سازه‌های بتنی متوسط با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی پرداخته شود.

۲- پیشینه ی پژوهش

اندرسون و برترو (۱۹۸۷) رفتار سازه ها را تحت حرکت‌های پالس‌گونه‌ی زمین مورد مطالعه قرار دادند[۵]. به این منظور یک سازه فولادی ده طبقه و سه دهانه را تحت زلزله امپریال والی (۱۹۷۹) مورد بررسی قرار داده و نتایج تحقیق آنها نشان داد که افزایش نسبت پریود پالس حرکت زمین به پریود طبیعی سازه و همچنین افزایش نسبت شتاب زمین به مقاومت تسلیم سازه، موجب افزایش پاسخ غیرخطی و خسارات وارده به سازه می شود. براساس مطالعات آنها تمرکز تغییرشکل‌ها در طبقات پایین ساختمان که ستون های آن بار محوری زیادی را تحمل می‌کنند، موجب اعمال اثر P-Δ در طبقات پایین می‌شود؛ بنابراین خسارات ناشی از حرکت‌های ضربه‌ای زمین در طبقات پایین ساختمان متمرکز می‌شود. همچنین زلزله‌های نزدیک گسل باعث افزایش نیاز شکل‌پذیری سازه‌های صلب می‌گردد. هال (۱۹۹۵) با طراحی سازه هایی بر اساس آیین نامه های رایج و بررسی رفتار آنها در زلزله‌های حوزه نزدیک مشاهده کرد که نیاز تحمیل شده به سازه های با پریود بلند و انعطاف‌پذیر و یا سازه‌های ایزوله شده، بطور قابل ملاحظه ای از

[1] Forward directivity

[2] Fling step

ظرفیت آنها تجاوز می‌کند[۶]. شاید تا دو دهه پیش بحث مربوط به فاصله کانون زلزله تا سایت مخاطب چندانی نداشت و تنها به صورتی کلی و در موارد خاصی چون روابط کاهندگی بدان پرداخته می شد. علت این امر عدم وجود موردی خلاف فرضیه های متعارف و نیز در دسترس نبودن هیچ گونه اطلاعات مستند مانند رکوردهای ثبت شده در این خصوص بود. ولی پس از وقوع زلزله های مخرب و قوی همچون زلزله‌های نورثریج، کوبه و چی چی، توجه محققین به زلزله‌های نزدیک به منبع لرزه ای و خصوصیات منحصر به فرد آنها جلب شد. از سال ۱۹۹۴ تحقیقات گسترده ای در مورد زلزله های نزدیک منبع لرزه ای و آثار مخرب آن در جنبه های مختلف طراحی سازه‌ها آغاز شد. در کشور ما نیز پس از وقوع زلزله وحشتناک و خانمان برانداز بم، توجه بسیاری از مهندسین به ویژه محاسب به ویژگی های خاص این زمین لرزه ای معطوف گردید. راوچ و اسمولکا (۱۹۹۶) در مقاله‌ای[۷] با بررسی زمین لرزه نورثریج کالیفرنیا و کوبه ژاپن که از شهرهای مدرن و بزرگ دنیا به حساب می‌آیند و با بررسی خسارت بوجود آمده تحت اثر این زمین لرزه ها از جمله عوامل مهم و متعدد دخیل در انتخاب و توسعه شهرهای آتی و طراحی شهرهای بزرگ آتی عامل تاثیر نزدیکی به گسل و قرارگیری ساختمانها در مسیر گسیختگی گسل را معرفی نمود. ارائه روش های اصلاحی کدهای آیین نامه ای و استفاده از روش های آسانتر برای اصلاح طیف پاسخ سازه ها نیز از زمینه های تحقیقاتی دیگری است که پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام گرفته است. از جمله تحقیقی که توسط ایوان (۱۹۹۹) برای اصلاح طیف پاسخ جابجایی سازه ها انجام شد که در این تحقیق یک معیار جدید برای طیف تقاضای سازه ها تحت اثر جنبش قوی زمین تحت اثر زمین‌لرزه ها ارائه شد[۸]. علاوه بر این، آندره و فیلیارالوت (۲۰۰۰) با انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، قابلیت جذب انرژی قاب‌های خمشی فولادی را تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک گسل مورد بررسی قرار دادند[۹]. تحلیل انجام یافته در این تحقیق بر روی یک سازه معمولی ۶ طبقه با قاب خمشی فولادی بوده است که بر اساس کدهای آئین‌نامه‌ای رایج، انجام شده است. سازه مذکور با دو سیستم میراگر متفاوت تحت اثر جنبش زمین که نماینده شرایط نزدیک گسل هستند تحت رکوردهای بدست آمده در منطقه لس آنجلس با یک احتمال وقوع ۱۰ درصد در ۵۰ سال قرار گرفته و رفتار هر دو سیستم برای جذب انرژی و استهلاک انرژی توسط سیستم بررسی شده است. سعیدی و سامرویل (۲۰۰۵) به بررسی اثرات زلزله نزدیک گسل بر روی ستون‌های طراحی شده بر مبنای آئین‌نامه‌ها پرداختند. در تحقیق آنها، دو نمونه ستون بتنی با زمان تناوب اصلی ۰/۶۶ و ۱/۵ ثانیه که هرکدام دارای خواص مصالح یکسان بودند تحت نگاشت‌های زلزله‌های نزدیک گسل مورد آزمایش قرار گرفتند[۱۰]. در این تحقیق مشخص شد، تحت نگاشتهای حاوی اثرات جهت داری تغییرشکل‌های ماندگار در هر دو ستون باقی می ماند. علاوه بر این، تحقیق دیگری توسط نیکولاس و کرنل (۲۰۰۵) بر روی گسیختگی اتصالات قاب‌های خمشی فولادی انجام گرفته است. در این تحقیق در ابتدا گسیختگی اتصالات قابهای خمشی تحت اثر رکوردهای جنبش زمین در نزدیکی گسل بررسی گردیده و در ادامه روش هایی برای بهبود بخشیدن رفتار اتصالات در قابهای فولادی خمشی در برابر جنبش‌های زمین در نزدیک گسل ارائه شده است. تحقیقات انجام شده در مورد پاسخ سازه در برابر زلزله های نزدیک گسل بیانگر این مطلب می‌باشد که آنالیز مبتنی بر تاریخچه زمانی از آنالیز طیف پاسخ بهتر است، چراکه مشخصات حوزه فرکانسی زمین لرزه (طی طیف پاسخ) فرآیندی را بیان می‌کند که دارای توزیع نسبتاً یکنواختی از انرژی در طول مدت جنبش می‌باشد. لذا زمانی که انرژی در چند پالس از حرکت متمرکز می شود، پدیده تشدید که تصور می شود طیف پاسخ بایستی ارائه دهد به قدر کافی زمان برای شکل گیری ندارد[۱۱]. هال (۲۰۰۸) در تحقیق خود به بررسی رفتار دو ساختمان ۶ و ۲۰ طبقه براساس آئین‌نامه UBC 94 و مقررات رایج ژاپن تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک گسل پرداخته است[۶]. در این گزارش رفتار غیرخطی سازه همراه با رفتار انوع اتصالات در زلزله‌های نزدیک منبع و در موقعیت‌های مختلف نسبت به گسل مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای بررسی محدوده نزدیک گسل در مناطق زلزله خیز، حوزه لرزه خیز به صورت شبکه‌هایی تقسیم شد، و در هر گره اثر نگاشتهای نزدیک منبع بر روی رفتار سازه ها مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه چهار ساختمان ۶ و ۲۰ طبقه با زیرزمین که یک بار براساس آیین نامه ژاپن و یک بار بر اساس آیین نامه UBC 94 طرح شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. در طراحی همه ساختمان‌ها، فونداسیون صلب بوده و از اثر اندرکنش دال بتنی صرف نظر شده است. همچنین در تحلیل اثرات ثانویه P-Δ برای قاب‌های داخلی در نظر گرفته شده بود و در محاسبات، اثر نیروی محوری ستون‌ها بر ظرفیت خمشی پلاستیک ستون‌ها دیده شده بود. در این مطالعه پنج حالت

اتصال مورد بررسی قرار گرفت که شامل اتصال صلب و کامل، اتصال دوم و سوم کیفیت کمتری نسبت به اتصال کامل داشته و برای تعیین معیار گسیختگی اتصال از نسبت کرنش شکست به کرنش تسلیم استفاده شد (به‌طوری‌که اتصال دارای شکل پذیری متوسط است) و اتصالات چهارم و پنجم که دارای کیفیت پایین تری نسبت به اتصال دوم و سوم هستند. به‌طوری‌که این اتصالات در کرنش تسلیم (اتصالات ترد) گسیخته می‌شوند. با مقایسه حداکثر پارامتر های زلزله (حداکثر شتاب، سرعت و تغییرمکان زمین)، مشاهده شد که خسارت وارده به ساختمان‌ها، بیشترین ارتباط را با اوج تغییرمکان زمین دارد. اگرچه در بعضی از ساختمان ها شکستی توسط برنامه کامپیوتری پیش‌بینی نشده است، اما کاهش مقاومت ناشی از کمانش موضعی را نبایستی رد کرد. ملاحضه شد بیشتر شکست جوشی در بال تیرها اتفاق می‌افتد. همچنین در بعضی از ساختمانها با وجود اینکه پاسخ سازه کم بوده است، بعضی از اتصالات شکسته شده است. تهرانی زاده و رحیم لباف زاده (۲۰۰۹) در تحقیق خود دو مدل سازه ای ۵ و ۱۳ طبقه که براساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ در مناطق با لرزه خیزی بسیار زیاد و خاک نوع II طراحی شده اند، را با بررسی رفتار غیرخطی این سازه تحت اثر زلزله های حوزه نزدیک مورد بررسی قرار دادند[۱۲]. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که زلزله های نزدیک گسل دارای خصوصیات لرزه ای و جنبش نیرومند زمین بیشتر ونسبت PGD/PGV کمتری نسبت به زلزله‌های دور از گسل می باشند. هنگامی که سازه در معرض حرکات نزدیک گسل قرار می‌گیرد، نیاز سازه افزایش می یابد. توزیع ارتفاعی پارامترهایی از سازه نظیر تغییر مکان طبقات، تغییر مکان نسبی، سرعت نسبی و شتاب مطلق طبقات نشان می‌هد که مقادیر این پارامتر ها در حوزه نزدیک بیشتر است. یکی از معیار های انتخاب زلزله های نزدیک گسل می‌تواند فاصله باشد، اما به عنوان تنها معیار انتخاب نمی‌تواند مقبول باشد و باید در کنار آن از نگاشت‌های سرعت و جابجایی، طیف پاسخ و طیف دامنه فوریه حوزه نزدیک استفاده نمود. با بررسی تاثیر پارامترهای موثر حوزه نزدیک در پاسخ سازه ها، مشخص شد که هر چقدر نسبت PGV/PGA بیشتر و یا نسبت PGD/PGV کمتر باشد، پاسخ سازه افزایش می یابد. باتوجه به مشخصه های زلزله های نزدیک گسل، می توان نتیجه گرفت در حوزه نزدیک پاسخ سازه بیشتر از حوزه دور است. همچنین زلزله های حوزه نزدیک که پالسهای موجود در آنها از شدت بیشتری برخوردار است (PGV آنها بیشتر است) و یا مدت زمان پالس آنها بزرگتر است (نسبت پریود غالب آنها کمتر است) پاسخ سازه را بیشتر افزایش می دهند، لذا با این وجود سازه هایی که به منبع لرزه‌زا نزدیکتر هستند، شکل‌پذیری بیشتری باید داشته باشند تا بتوانند از پاسخ سازه بکاهند.

۳- روش تحقیق

در پژوهش حاضر به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات ، ابتدا اقدام به مدلسازی ساختمان بتنی متوسط با تعداد طبقات ۱۵ دارای سیستم قاب خمشی در نرم افزار[۳] ETABS شده است. سپس براساس دستورالعمل های پیشنهاد شده در آئین‌نامه‌ی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰- ویرایش چهارم، این سازه ها تحلیل و طراحی می‌شوند. سپس با انتخاب زلزله چی چی به عنوان زلزله مرجع، اثر جهت داری رکورد حاصل از زلزله بر رفتار سازه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. برای این منظور، رکوردهای مختلف زلزله انتخابی و اثر جهت داری آنها با استفاده از نرم افزار Seismostruct[۴] تعیین خواهد شد تا بدین طریق طیف پاسخ شتابنگاشت حاصل از ایستگاه های مختلف ثبت این زلزله بدست آید. لازم به ذکر است که شتابنگاشت حاصل از رکوردهای ثبت شده در ایستگاه های مختلف زلزله چی چی با استفاده از نرم افزار نوشته شده توسط آقای بکر[۵] مورد آنالیز قرار گرفته و پالس‌های جهت‌داری این رکوردها استخراج شده است.سپس سازه‌های تحلیل و طراحی شده در مرحله قبل، با استفاده از نرم افزارSeismostruct بررسی خواهد شد و رفتار این سازه ها تحت اثر ۷ رکورد زلزله انتخابی و با روش تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. لازم به ذکر است که رکوردهای ثبت شده از ایستگاه های مختلف برای زلزله چی چی، در دو حالت با و بدون ویژگی جهت‌داری به سازه‌ها اعمال خواهد شد و پاسخ سازه (دریفت طبقات) مورد سنجش و مقایسه قرار می

[3] **https://www.csiamerica.com/products/etabs**
[2] **https://www.thestructuralengineer.info/software/145-SeismoStruct**
3 Jack W. Baker http://dx.doi.org/10.1785/0120060255

گیرد. درنهایت بر اساس نتایج بدست آمده، تاثیر ماهیت جهت‌داری شتابنگاشت زلزله بر روی سازه‌ها بررسی خواهد شد. سازه بتنی ۱۵ طبقه از نوع مسکونی در شهر تهران با نوع خاک تیپ II در نظر گرفته شده است. همچنین لازم به ذکر است که قاب مدلسازی شده در این تحقیق دارای سیستم باربر به صورت قاب خمشی متوسط در نظر گرفته شده است. همچنین لازم به ذکر است که به منظور در نظر گرفتن اثرات متوسط بودن سازه، سازه مورد مطالعه، نسبت ارتفاع به عرض سازه بین ۱/۵ تا ۳ برای سازه متوسط مورد توجه قرار گرفته است. به این ترتیب، این نسبت برای سازه ۱۵ طبقه برابر با ۱/۸ لحاظ شده است. علاوه بر این مشخصات مصالح مورد استفاده در تحلیل و طراحی برای بتن مصرفی در دال‌ها و فولاد مصرفی در تیر و ستون‌ها در مدل های سازه‌ای به صورت جدول(۱) می‌باشد.

جدول۱: مشخصات مصالح مورد استفاده در مدلسازی سازه ۱۵ طبقه.

نوع مصالح	نسبت پواسون	مدول الاستیسیته (Kg/m^2)	مقاومت فشاری (Kg/m^2)	وزن واحد حجم (Kg/m^3)	تنش تسلیم فولاد (Kg/m^2)
بتن	۰/۲	$۲/۲۳\times ۱۰^{۹}$	۲۵۰×۱۰^{۴}	۲۵۰۰	-
فولاد	۰/۳	$۲/۰۰\times ۱۰^{۱۰}$	-	۷۸۵۰	۲۴۰۰×۱۰^{۴}

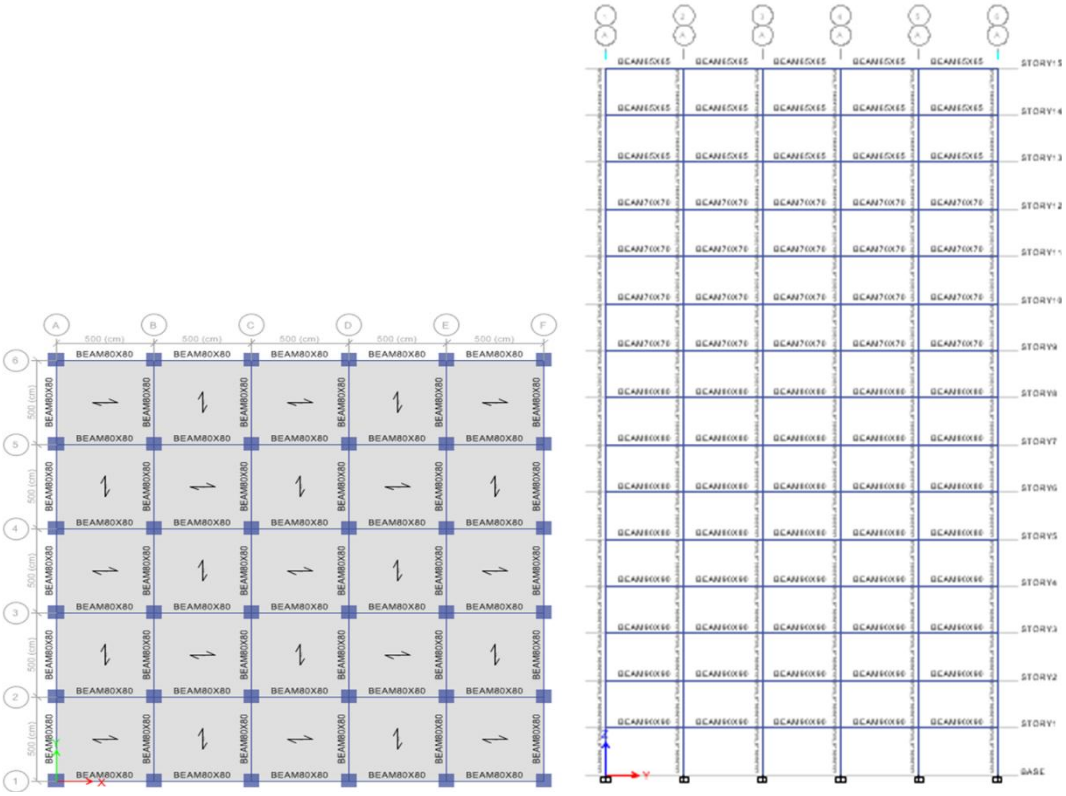
برای تشکیل مدل های ساختمانی مورد مطالعه در این مطالعه، پلانی مطابق شکل(۱) برای سازه ی ۱۵ طبقه بتنی انتخاب شده است. پلان سازه ۱۵ طبقه با ابعاد کلی ۲۴*۲۴ متر و دارای چهار دهانه ۶ متری است. ارتفاع هر طبقه از روی کف زیرین تا روی کف بالایی برابر ۳ متر فرض شده است. ذکر این نکته نیز ضروری است که انتخاب پلان ساختمان به گونه ای صورت گرفته که ساختمان ۱۵ طبقه از نوع متوسط در نظر گرفته شود. در این مطالعه از آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ ویرایش چهارم استفاده شده است. با توجه به اینکه سازه بتنی مورد مطالعه در این تحقیق، در شهر تهران و در زمین نوع II واقع شده، لذا در گروه مناطق پهنه با خط نسبی خیلی زیاد قرار گرفته و پس از محاسبات لازم منطبق بر تحلیل طیفی استاندارد ۲۸۰۰، پارامترهای مربوط به ضریب زلزله در سازه ی مورد مطالعه مطابق با جدول (۲) تعیین شد. مشخصات بارگذاری بر روی سازه ۱۵ طبقه در جدول (۳) ارائه شده است. مشخصات مقاطع به دست آمده برای سازه ی ۱۵، مطابق با جدول(۴) قابل مشاهده است. در شکل(۲) یک نمونه آرماتورگذاری مقطع ستون نمایش داده شده است.

جدول۲: مقادیر پارامترهای مربوط به ضریب زلزله در سازه های بتنی مورد مطالعه براساس تحلیل طیفی منطبق بر استاندارد ۲۸۰۰.

تعداد طبقات	شتاب مبنای طرح (A)	زمان تناوب اصلی (T)	ضریب بازتاب (B)	ضریب اهمیت (I)	ضریب رفتار (R_u)	ضریب زلزله (C)
۱۵	۰/۳۵	۱/۵۳۷	۰/۹	۱	۷۸۵۰	۰/۰۴۵۸

جدول۳: مشخصات بارگذاری سازه های مورد مطالعه.

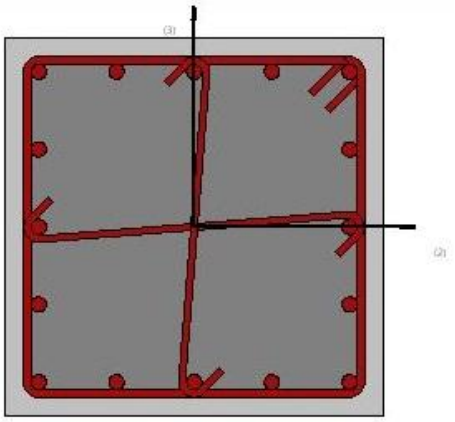
بارگذاری / تعداد طبقات	بار مرده کف‌ها (Kgf/m^2)	بار مرده سقف (Kgf/m^2)	بار معادل تیغه بندی و دیوار (Kgf/m^2)	بار زنده طبقات (Kgf/m^2)	بار مرده بام (Kgf/m^2)	بار زنده بام (Kgf/m^2)
۱۵	۶۵۵	۵۵۵	۱۰۰	۲۰۰	۴۵۵	۱۵۰



شکل۱: پلان و نمای دو بعدی سازه ۱۵ طبقه.

جدول۴: مشخصات مقاطع برای مدل بتنی ۱۵ طبقه.

نوع مقطع / طبقات	مقطع تیر	مقطع ستون
طبقات ۱ تا ۴	BEAM90X90	COL95X95-28TOR28
طبقات ۵ تا ۸	BEAM80X80	COL80X80-28TOR28
طبقات ۹ و ۱۲	BEAM70X70	COL70X70-28TOR28
طبقات ۱۳ تا ۱۵	BEAM65X65	COL65X65-20TOR28



شکل۲ : آرماتور گذاری مقطعی ستون **COL50X50-16TOR20**.

با توجه به نتایج حاصل از آنالیز رکوردها و بررسی طیف‌های پاسخ زلزله چی چی در ایستگاه‌های مختلف، رکوردهایی که اختلاف بین طیف پاسخ در حالت با وجود پالس جهت داری و بدون پالس جهت داری قابل ملاحظه بود، به عنوان رکوردهای مورد استفاده در تحلیل تاریخچه زمانی انتخاب گردید. بر این اساس ۷ رکورد زلزله حاصل از ایستگاه‌های مختلف ثبت شتابنگاشت زلزله چی چی برای تعیین طیف پاسخ شتابنگاشت ها انتخاب شده است. با استفاده از نرم افزار **Seismostruct** محدوده موثر[۶] بین ۵٪ - ۹۵٪ هر یک از شتابنگشت زلزله ها بر اساس زمان استخراج شد تا از هدررفت زمان تحلیل جلوگیری به عمل آید، زمان‌های موثر هر یک از زلزله ها در جهت شرق- غرب و در جهت شمال- جنوب به ترتیب در جداول (۵) و (۶) آمده است. در شکل(۳) مشخصات و موقعیت ایستگاه ها ی انتخاب شده نسبت به گسل چی چی نمایش داده شده است.

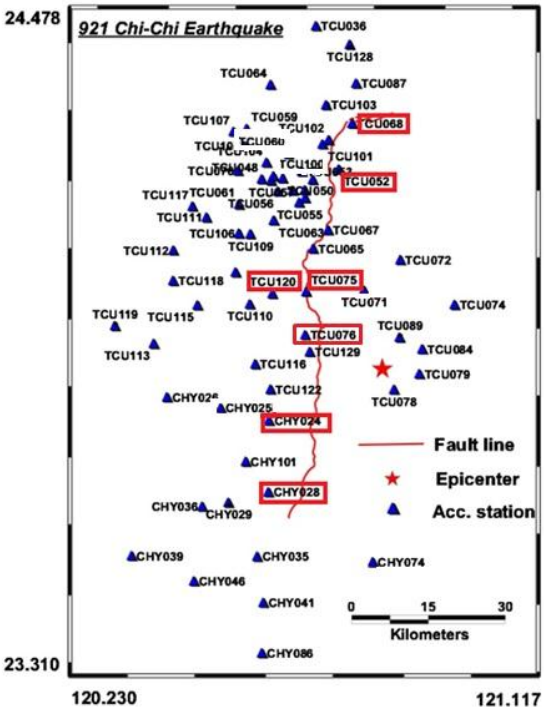
جدول۵: محدوده موثر بین ۵٪ - ۹۵٪ بر حسب ثانیه در جهت شرق – غرب.

	با جهت داری		بدون جهت داری	
	محدوده	زمان	محدوده	زمان
CHY024	۵۲,۱۱-۲۷,۹۲	۲۴,۱۹	۵۳,۰۱-۲۷,۹۲	۲۵,۰۹
CHY028	۳۶,۹۰-۲۸,۲۰	۸,۷	۳۷,۴۵-۲۸,۲۰	۹,۲۵
TCU052	۴۶,۵۲-۲۹,۷۴	۱۶,۷۸	۴۹,۱۴-۲۹,۱۵	۱۹,۹۹
TCU068	۴۴,۳۸-۳۲,۰۱	۱۲,۳۷	۴۴,۲۶-۳۰,۷۲	۱۳,۵۴
TCU075	۵۲,۰۵-۲۵,۰۲	۲۷,۰۳	۵۲,۳۲-۲۴,۹	۲۷,۴۲
TCU076	۵۳,۲۷-۲۳,۶۱	۲۹,۶۶	۵۳,۳۶-۲۳,۵۷	۲۹,۷۹
TCU120	۵۸,۸۶-۲۶,۲۱	۳۲,۶۵	۵۹,۵۷-۲۶,۲۱	۳۳,۳۶

جدول۶: محدوده موثر بین ۵٪ - ۹۵٪ بر حسب ثانیه در جهت شمال-جنوب.

	با جهت داری		بدون جهت داری	
	محدوده	زمان	محدوده	زمان
CHY024	۵۶,۴۵-۲۹,۲	۲۷,۲۵	۵۶,۴۷-۲۹,۲۲	۲۷,۲۵
CHY028	۳۵,۰۰-۲۹,۰۸	۵,۹۲	۳۶,۷۹-۲۹,۰۸	۷,۷۱
TCU052	۴۵,۳۴-۲۹,۴۱	۱۵,۹۳	۴۵,۴۵-۲۸,۶۸	۱۶,۷۷
TCU068	۴۵,۲۵-۳۲,۶۵	۱۳,۲	۴۶,۰۶-۳۰,۲۲	۱۵,۸۴
TCU075	۵۷,۱۳-۳۵,۹۳	۳۱,۲	۵۷,۴۲-۲۵,۹	۳۱,۵۲
TCU076	۵۳,۳۱-۲۷,۰۷	۲۸,۱۴	۵۳,۳۲-۲۵,۰۷	۲۸,۲۵
TCU120	۵۹,۰۵-۲۶,۴۴	۳۲,۶۱	۵۹,۳۴-۲۶,۴۴	۳۲,۹

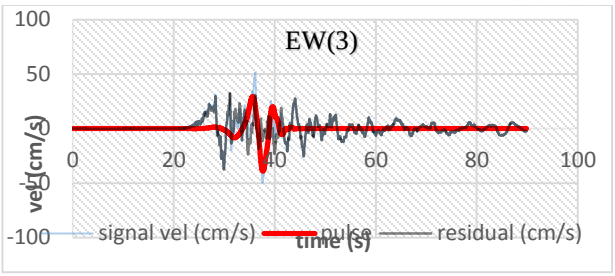
[۶] Arias Intensity



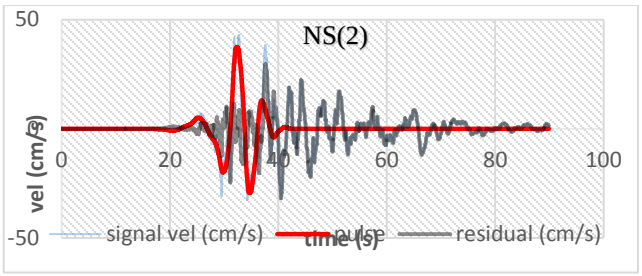
شکل۳: مشخصات و موقعیت ایستگاه ها ی انتخاب شده نسبت به گسل چی چی.

۴- تحلیل نتایج

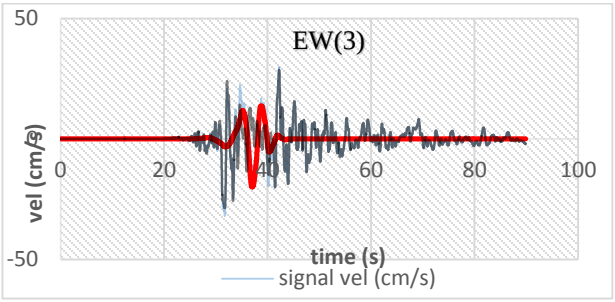
پس از گزینش رکوردهای مورد نظر زلزله چی چی و تعیین طیف های پاسخ مربوط به هر یک از رکوردها در جهت‌های مختلف، اقدام به مدلسازی سه بعدی سازه‌های بتنی با رفتار غیر خطی در نرم‌افزار SeismoStruct شد. سپس سازه ۱۵ طبقه تحت اثر تحلیل تاریخچه زمانی با رکوردهای مشخص شده،قرار گرفته و نتایج حاصل از پاسخ رفتار سازه به صورت دریفت طبقات در دو حالت مختلف با در نظر گرفتن اثر جهت داری (W) و بدون در نظر گرفتن اثر جهت داری (WO) ارائه شده است. پس از انجام تحلیل تاریخچه زمانی بر روی سازه ی مورد مطالعه، به منظور بررسی اثر جهت داری بر پاسخ رفتار سازه، دریفت (جابجایی نسبی) طبقات در سازه ی مورد مطالعه، بررسی شده است. در ادامه، نتایج مربوط به ماکزیمم دریفت طبقات برای سازه ۱۵ طبقه بر اثر زلزله‌های اعمالی هر ایستگاه به تفکیک ارائه شده است. لازم به ذکر است که مولفه های جنوب-شمال و غرب-شرق بطور همزمان در زیر سازه قرار گرفت.زمان تناوب پالس جهت داری (Tp) و زمان تناوب سازه (Ts) که برابر ۱/۷۲۹ می باشد در هر یک از نمودارهای مربوط به نتایج ارائه شده است. در شکل (۴) نتایج تحلیل رکوردهای منتخب و در شکل(۵)، نتایج ماکزیمم دریفت طبقات، حاصل از آنالیز و اعمال زلزله ایستگاه ها ی ۷ گانه ی منتخب در دو حالت با اثر جهت داری (W) و بدون اثر جهت داری (WO) در جهت غرب- شرق و در جهت جنوب- شمال در مورد سازه ۱۵ طبقه نمایش داده شده است.



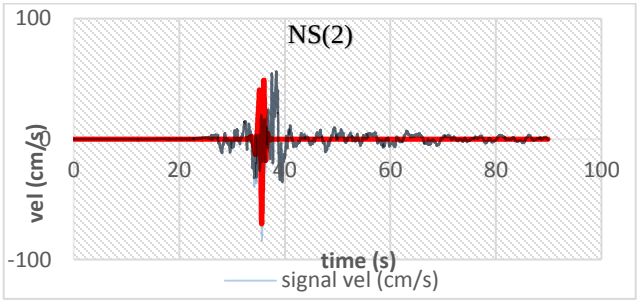
رکورد سرعت در ایستگاه CHY024 در جهت شرق- غرب



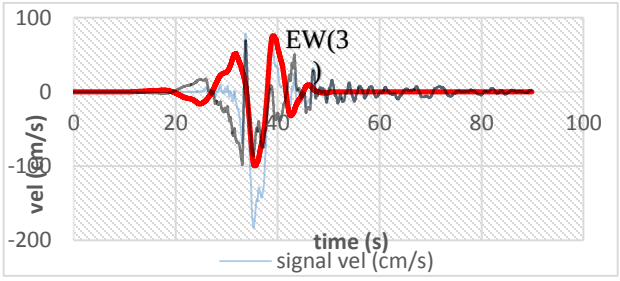
رکورد سرعت در ایستگاه CHY024 در جهت شمال- جنوب



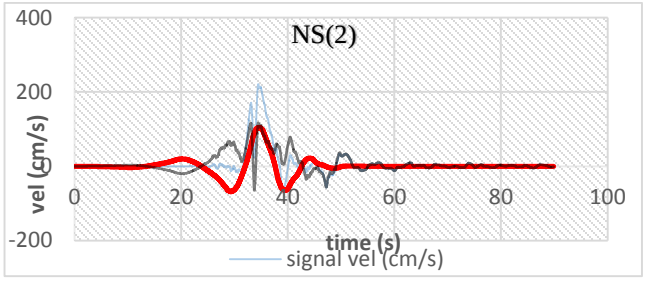
رکورد سرعت در ایستگاه CHY074 در جهت شرق- غرب



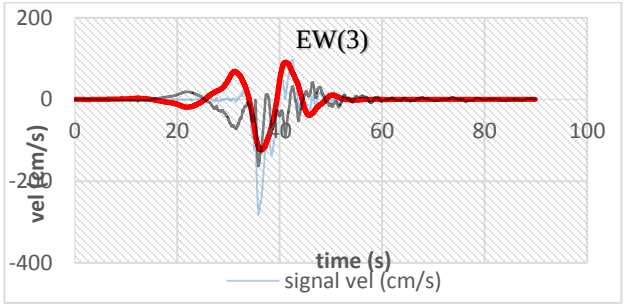
رکورد سرعت در ایستگاه CHY028 در جهت شمال- جنوب



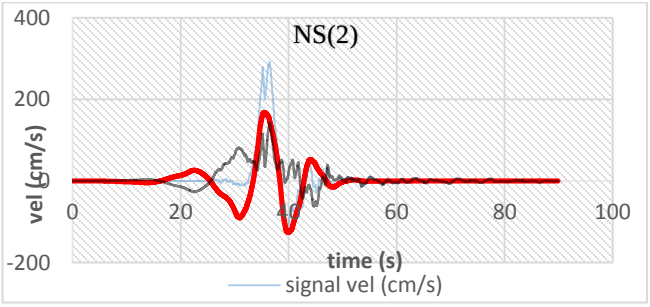
رکورد سرعت در ایستگاه TCU052 در جهت شرق- غرب



رکورد سرعت در ایستگاه TCU052 در جهت شمال- جنوب

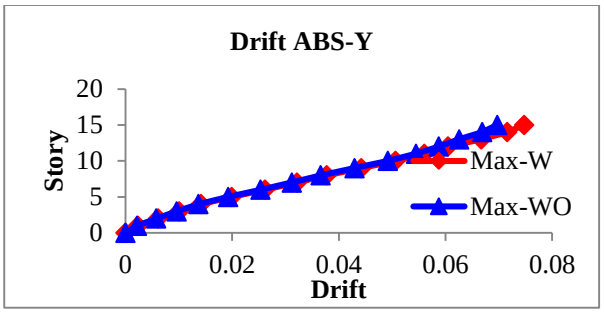


رکورد سرعت در ایستگاه TCU068 در جهت شرق- غرب

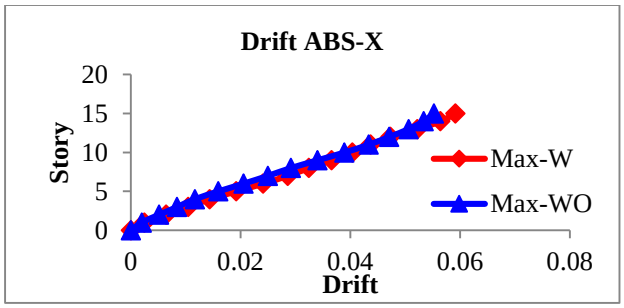


رکورد سرعت در ایستگاه TCU068 در جهت شمال- جنوب

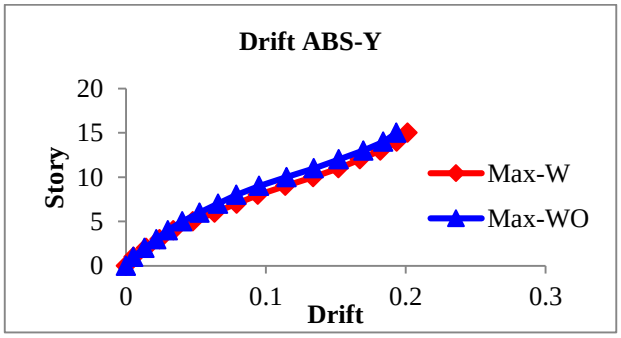
شکل۴: تحلیل رکوردهای منتخب در دو جهت جنوب شمال و غرب شرق.



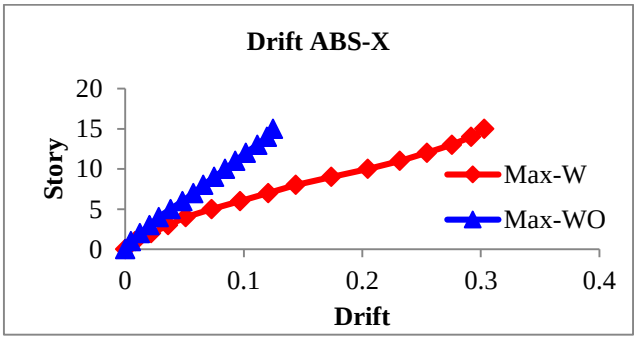
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله CHY024 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت جنوب- شمال



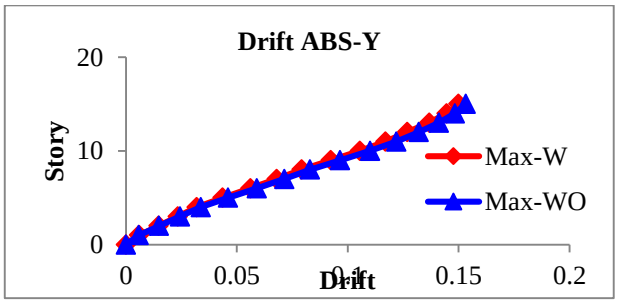
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله CHY024 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت غرب- شرق



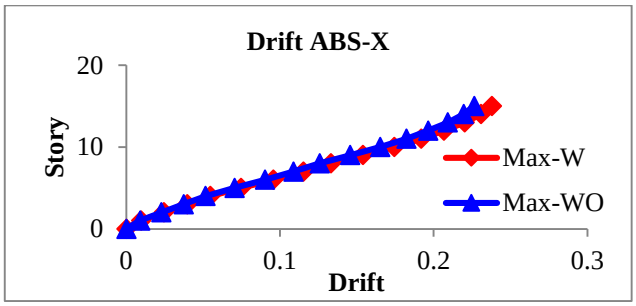
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله CHY028 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت جنوب- شمال



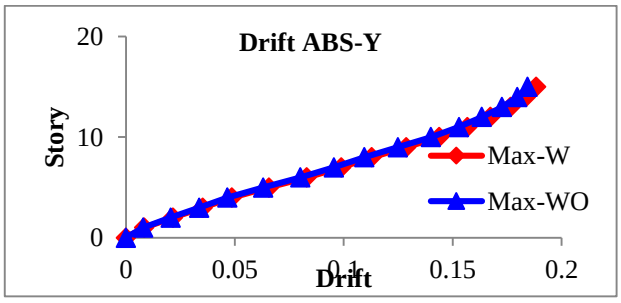
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله CHY028 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت غرب- شرق



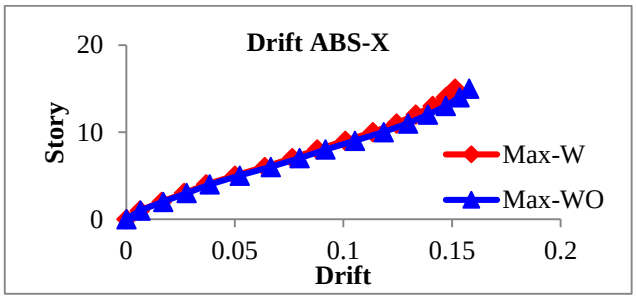
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله TCU052 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت جنوب- شمال



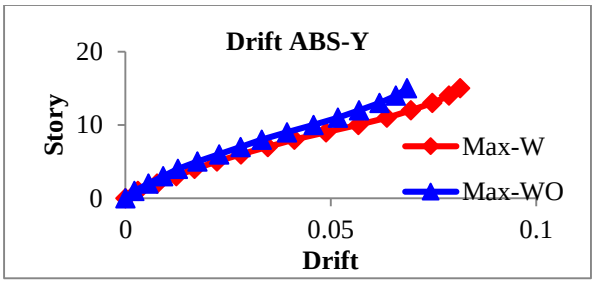
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله TCU052 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت غرب- شرق



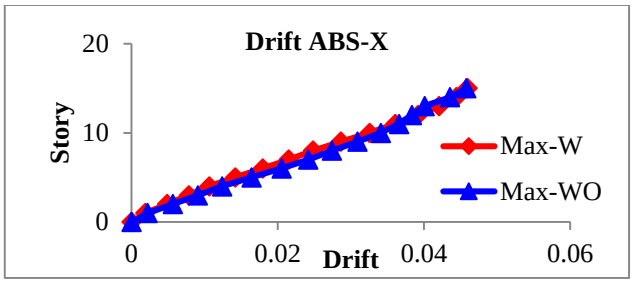
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله TCU068 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت جنوب- شمال



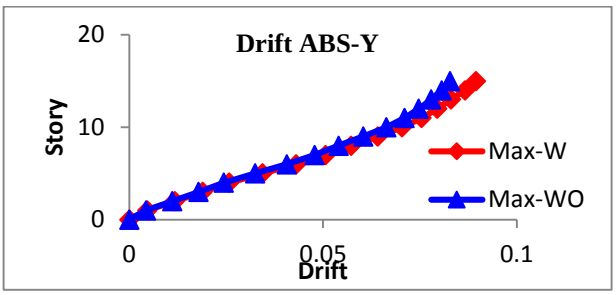
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله TCU068 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت غرب- شرق



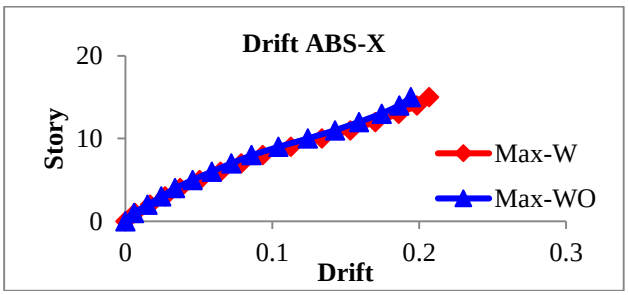
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله TCU075 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت جنوب- شمال



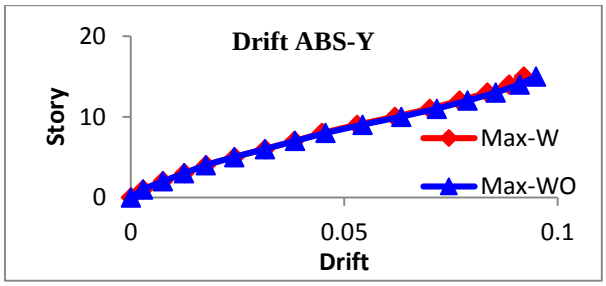
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله TCU075 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت غرب- شرق



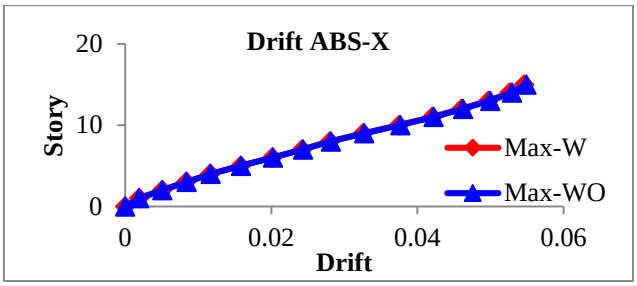
ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله TCU076 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت جنوب- شمال



ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله TCU076 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت غرب- شرق



ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله TCU120 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت جنوب- شمال



ماکزیمم دریفت طبقات تحت زلزله TCU120 برای سازه ۱۵ طبقه در جهت غرب- شرق

شکل۵: ماکزیمم دریفت طبقات سازه ۱۵ طبقه تحت اثر رکوردهای منتخب در دو جهت جنوب شمال و غرب شرق.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

براساس تحلیل های انجام شده در این تحقیق، می توان نتایج حاصل را به صورت خلاصه به شرح زیر بیان نمود:

۱- به طور کلی با توجه به ماهیت غیرقابل پیش‌بینی زلزله، در این مطالعه نتایج به صورت کاملاً اتفاقی بدست آمده و از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. با این حال نتایج بدست آمده نشان داد که در بعضی از رکوردهای حاصل از زلزله چی چی، در سازه ۱۵ طبقه، جهت داری رکورد زلزله ، منجر به افزایش پاسخ سازه شده است.

۲- نسبت پریود غالب حاصل از رکورد زلزله به پریود سازه (T_p/T) با مقدار دریفت نسبی و جابجایی طبقات سازه نسبت مستقیم داشته و در جهت عمود بر گسلش این تاثیر بیشتر است.

۳- نتایج مربوط به بررسی اثر جهت داری رکوردهای مختلف زلزله حوزه نزدیک گسل بر روی سازه های بتنی نشان داد که جهت داری همیشه تاثیر یکنواختی بر روی رفتار سازه نبوده و از الگوی ثابتی پیروی نمی‌کند. چراکه براساس نتایج بدست آمده در نظر

گرفتن جهت داری رکورد زلزله با لحاظ کردن جهات شمال- جنوب و شرق- غرب، در برخی موارد منجر به افزایش دریفت و جابجایی و در برخی موارد منجر به کاهش جابجایی‌ها شده است.

۶- مراجع

[1]-FEMA 356, 2000, **Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings**, prepared by the American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

[۲]- معمارپور، م. م.، ۱۳۸۴، **بررسی پاسخ لرزه ای پلها تحت اثر حرکات نیرومند زمین در حوزه نزدیک گسل**، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۳]-مومن زاده، م. ر.، منصوری، م. ر.، عظیمی نژاد، آ.، و زرفام، پ.، ۱۳۹۴، **بررسی پاسخ های لرزه ای و خسارات ایجاد شده در تونل ها با در نظر گرفتن مولفه قائم زلزله**، نشریه مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی، دوره ۴، شماره ۱.

[۴]-کاظمی، ف.، مرادی شقاقی، ط.، ۱۳۹۳، **بررسی محدودیت ارتفاعی سازه های بتنی در حوزه نزدیک گسل شمال تبریز**، ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران.

[5]-Anderson, J. C., and Bertero, V. V., 1987, **Uncertainties in establishing design earthquakes**, Journal of Structural Engineering, 113(8), 1709-1724.

[6]- Hall, J. F., Heaton, T. H., Halling, M. W., et al., 1995, **Near-source ground motion and its effects on flexible buildings**, Earthquake Spectra, 11(4), 569-604.

[7]-Kalkan, E., and Kunnath, S. K., 2006, **Effects of fling step and forward directivity on seismic response of buildings**. Earthquake Spectra, 22:367-90.

[8]- Ghobarah, A. and Biddah, A., 1999, **Dynamic analysis of reinforced concrete frames including joint shear deformation**, Journal of Engineering Struactures, 21,971-987.

[9]- Hudson, D. E. And Housner, G. W., 1958, **an analysis of strong motion accelerometer data from the San Francisco earthquake of March 22, 1957**, Bullettin of Seismology Society of America, 48, 253-268.

[10]- Rossetto, T., and Elnashai, A., 2005, **A new analytical procedure for derivation of displacement based vulnerability curves for populations of RC structures**, Engineering structures, 27,397-409.

[11]-Rodriguez-Marek, A. And Bray, J. D., 2006, **Seismic site response for near-fault forward directivity ground motions**, Journal of Geo-technical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1611-1620.

[12]-Wang, G. Q., Zhou, X. Y., Zhang, P. Z., et al., 2002, **Characteristics of amplitude and duration for near fault strong ground motion from the 1999 Chi-Chi Taiwan earthquake**, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22(1), 73-96.

[13]-Nielsen, G., and Ozdemir, H., 2013, **Quantification of delay factors using the relative importance index method for contruction projects in Turkey**, Master Thesis, Olabia University.

[14]- Saaty, T.L., 1980, **The Analytic Hierarchy Process**, McGraw Hill, New York, 1980.

[15]- Movahed; Hamed; Meshkat-Dini; Afshin; Tehranizadeh; Mohsen; **Dynamic Behavior of Dual Systems in Tall Buildings under Influencing Wavelike Strong Ground Motions**;15th Int. Conf. world conference on earthquake engineering; Lisboa, 2012.