

بررسی تأثیر حذف تغییرمکان ماندگار در زلزله‌های نزدیک گسل بر روی ساختمان‌های چند طبقه

بهرام رضایی بنا

گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، اردبیل، ایران

چکیده

زلزله‌های حوزه نزدیک دارای دو اثر مهم هستند، جهت‌پذیری پیش‌رونده^۱ و تغییرمکان ماندگار^۲ که در آن جهت‌پذیری پیش‌رونده به جهت وقوع زلزله بستگی دارد و تغییر مکان ماندگار یا حرکت پرتابی بخاطر تغییر مکانهای ماندگار زمین در اثر تغییر شکلهای تکتونیکی و همراه شدن آن با مکانیزم پارگی به وجود می‌آید که با پالس سرعت با دامنه زیاد و یک گام یکنواخت در تاریخچه زمانی تغییر مکان همراه است. با توجه به اینکه مطالعات چندانی درباره اثرات تغییرمکان ماندگار روی سازه‌ها بر خلاف جهت‌پذیری پیش‌رونده انجام نشده است و همچنین در بیشتر مرکز اطلاعات رکوردها، تمامی زلزله‌ها با استفاده از روش‌های فیلتر کردن، فیلتر می‌شوند و اثر تغییر مکان ماندگار در آنها حذف می‌شود بنابراین در این تحقیق چهار نوع سازه ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه انتخاب و بر مبنای آیین‌نامه لرزه‌ای آمریکا (ASCE-10) و با رعایت کلیه معیارها و ضوابط در مورد قابهای خمشی ویژه در آیین‌نامه فولاد آمریکا (AISC341-10) طراحی می‌شوند. ۱۶ رکورد از رکوردهایی که دارای اثر تغییر مکان ماندگار هستند انتخاب و به سازه‌ها اعمال می‌گردند. همچنین برای اینکه اثر حذف تغییر مکان ماندگار و فیلتر کردن روی پاسخ سازه‌ها مشخص شود همان ۱۶ رکورد بصورت فیلتر شده به سازه‌ها اعمال و با حالت بدون فیلتر مقایسه می‌گردد. نتایج نشان داد که تغییر مکان ماندگار تأثیر چندانی در پاسخ سازه‌ها ندارد و می‌توان از رکوردهای فیلتر شده استفاده کرد.

کلمات کلیدی: تغییر مکان ماندگار، جهت‌پذیری پیش‌رونده، زلزله نزدیک گسل، قاب خمشی ویژه فولادی، تغییر مکان

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
10.22065/jsce.2018.120429.1478	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
doi: 10.22065/jsce.2018.120429.1478	۱۳۹۹/۰۱/۱۵	۱۳۹۹/۰۱/۱۵	۱۳۹۷/۰۶/۱۱	۱۳۹۷/۰۴/۱۱	۱۳۹۶/۱۲/۰۴
بهرام رضایی بنا			*نویسنده مسئول:		
Bahram.deprem@gmail.com			پست الکترونیکی:		

¹ Forward Directivity

² Fling-Step

Effect of fling-step removal in near-fault earthquakes on multi-story buildings

Bahram Rezayibana *

Assistant Professor, department of civil engineering, Ardabil Branch, Islamic Azad university, Ardabil, Iran

ABSTRACT

Near-field earthquakes have two important effects, Forward Directivity and Fling-step, in which Forward Directivity depends on the direction of occurrence of an earthquake, and Fling-step happens due to permanent displacement of the earth due to tectonic deformations and its integration with the tearing mechanism with a velocity pulse with high amplitude and a uniform step in the displacement time history. Considering that few studies have been done on the effects of fling-step on structures other than Forward Directivity, and also in most earthquake data centers, all earthquakes are filtered using filtering methods and the fling-step effect is eliminated, therefore, four types of 4, 8, 12 and 16-story structures are selected and are designed based on the American Seismic Code (ASCE-10), in accordance with the American Steel Regulation (AISC341-10), in accordance with all the criteria for steel special moment frames. 16 records having fling-step effect are selected and applied to the structures. Also, to show effect of neglecting the fling-step on the response of the structures, the same records having no fling-step are applied to the structures and compared to the unfiltered state. The results showed that fling-step has little effect on the structure response, and filtered records can be used on seismic analysis.

ARTICLE INFO

Receive Date: 23 February 2018
Revise Date: 02 July 2018
Accept Date: 02 September 2018

Keywords:

Fling-step
Forward Directivity
Near-Field Earthquake
Special Steel Moment Frames
Displacement

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.120429.1478

*Corresponding author: Bahram Rezayibana
Email address: Bahram.deprem@gmail.com

۱- مقدمه

زلزله‌های حوزه نزدیک به زلزله‌هایی اطلاق می‌شوند که مکان ثبت زلزله در فاصله‌ای کمتر از حدود ۱۵ کیلومتر از منشأ وقوع آن قرار داشته باشد [۱]. به دلیل فاصله کم، اثر کاهندگی امواج زلزله ناچیز است و بنابراین این زلزله‌ها دارای محتوای فرکانسی بالایی هستند که در آن پالس‌هایی با پریود بالا نیز دیده می‌شود. اختلاف بین رکوردهای حوزه دور و نزدیک حتی برای یک زمین‌لرزه نیز کاملاً مشهود است و بیشتر این اختلاف نیز، نتیجه وجود دو خصوصیت جهت‌گیری پیشرونده و تغییرمکان ماندگار در زلزله‌های حوزه نزدیک است. تغییرمکان ماندگار یا حرکت پرتابی به خاطر تغییر مکانهای ماندگار زمین در اثر تغییر شکل‌های تکتونیکی و همراه شدن آن با مکانیزم گسلش به وجود می‌آید که با پالس سرعت با دامنه زیاد و یک گام یکنواخت در تاریخچه زمانی تغییر مکان همراه است [۲]. این حرکت زمین ممکن است باعث افزایش نیاز نیروهای سازه برای دفع این انرژی ورودی که باعث تولید جابجایی‌های بزرگ می‌شوند، باشند. در نتیجه خطر شکست ترد برای سیستم‌های ضعیف بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد. اثرات مضر این پدیده در طول بسیاری از زلزله‌ها در سراسر جهان شناخته شده است. مطالعات نشان می‌دهد که پالس با سرعت بالا می‌تواند نیازهای کششی شدیدی بر روی سازه‌های چند طبقه بر جای گذارد [۳].

رکوردهای خام ثبت شده توسط دستگاه‌های لرزه‌نگار به دلیل وجود خطاهای دستگاهی و محاسباتی با استفاده از روش‌های پردازش استاندارد (اصلاح پایه^۳، فیلتر باند بالا^۴)، فیلتر می‌شوند و خطاهای موجود حذف می‌شوند. معمولاً به کمک توابع ریاضی مختلف، رکوردها طوری اصلاح می‌شوند که سرعت و تغییرمکان درانتهای زمین‌لرزه صفر گردد. این عملیات در بیشتر مراکز اطلاعات رکوردها انجام شده و رکوردهای فیلتر شده در اختیار محققین قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه زلزله‌های نزدیک گسل با اثر تغییرمکان ماندگار دارای تغییرمکان غیرصفر درانتهای رکورد تغییرمکان می‌باشند، پردازش استاندارد باعث حذف این اثر می‌گردد و بنابراین دیگر نمی‌توان اثر تغییرمکان ماندگار را در رکوردها مشاهده کرد. به همین دلیل در سالهای گذشته مطالعات چندانی درباره اثرات تغییرمکان ماندگار روی سازه‌ها بر خلاف جهت‌گیری پیشرونده انجام نشده است. در شکل ۱ رکوردهای شتاب، سرعت و تغییرمکان در جهت شمال- جنوب مربوط به زلزله دارفیلد نیوزلند^۵ در هردو حالت بدون پردازش و با پردازش نشان داده شده است. خطوط پر رکورد تاریخچه زمانی بدست آمده به کمک پردازش استاندارد (دانلود شده از سایت پیر^۶) را نشان می‌دهد [۴] و خطوط خط چین تاریخچه زمانی رکوردهای بدون فیلتر (ارائه شده توسط بوركس و بیکر [۵]) را نشان می‌دهد.

مطالعات گذشته نشان داده است که پاسخ سازه‌ای به زلزله‌های نزدیک گسل نسبت به زلزله‌های دورازگسل شدیدتر می‌باشد و شدیداً به نسبت پریود پالس به پریود سازه بستگی دارد. هرچه پریود سازه به پریود پالس نزدیکتر می‌شود پاسخ سازه افزایش می‌یابد [۶]. با توجه به اینکه پریود پالس زلزله‌های نزدیک گسل با جهت‌پذیری پیش‌رونده، تقریباً طیف وسیعی از پریودها را دربرمی‌گیرد، می‌تواند از سازه‌های کوتاه تا سازه‌های بلند را تحت تاثیر قرار دهد [۷]. از بین زلزله‌های رخ داده درجهان فقط زلزله‌های ۱۹۹۲ چی-چی تاوان، ۱۹۹۹ کوچالی ترکیه، ۲۰۰۲ دنالی آلاسکا و ۲۰۱۰ دارفیلد نیوزلند دارای تغییرمکان ماندگار می‌باشند [۴]. تمامی این زلزله‌ها در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتر، دارای رکوردهایی با اثر تغییرمکان ماندگار می‌باشند. بررسی مشخصات پالس این زلزله‌ها، نشان می‌دهد که اکثر دارای پریود بلند حدود ۸ ثانیه هستند و ممکن است پاسخ سازه مانند اثر جهت‌گیری به پریود پالس حساس نباشد [۸].

یکی از چالش‌های اساسی در استفاده از رکوردهای نزدیک گسل، مقیاس کردن آنها می‌باشد. اکثر آیین‌نامه‌های طراحی روش‌هایی برای مقیاس کردن رکوردها پیشنهاد می‌دهند. با این حال مقیاس نمودن رکوردها در مورد زلزله‌های نزدیک گسل دارای حساسیت فراوانی است. به دلیل اینکه این رکوردها در نزدیکی یک گسل ثبت می‌شوند شدیداً به مشخصات منبع زلزله بستگی دارند. زمانیکه مشخصات رکورد به دلیل مقیاس کردن، تغییر می‌یابد دیگر رکورد جدید مربوط به آن منبع نمی‌شود و نمی‌تواند خصوصیات آن منبع را دربر بگیرد. به

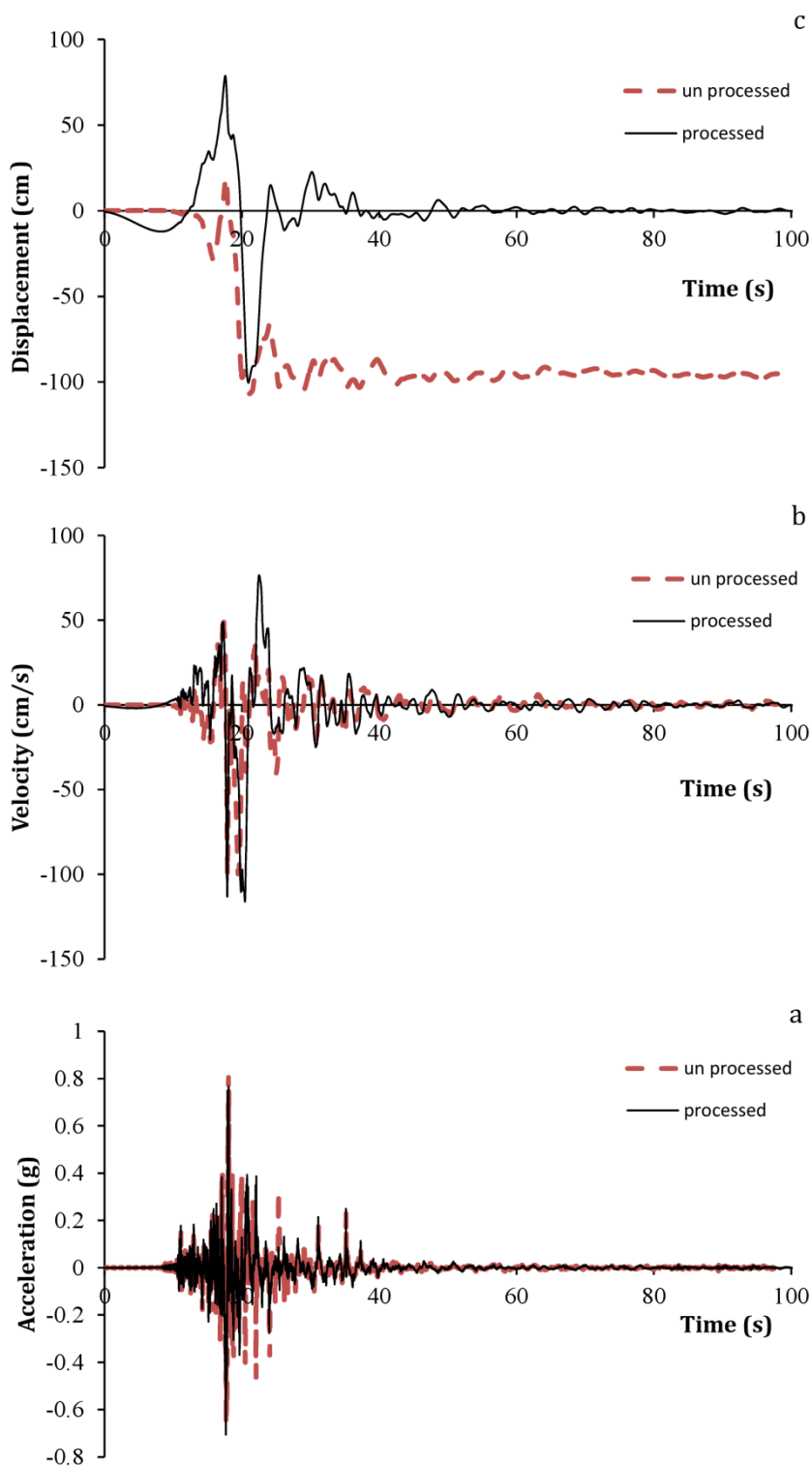
³ Baseline Correction

⁴ High-Pass Filter

⁵ Darfield (New Zealand)

⁶ PEER

همین دلیل است که در مورد زلزله‌های نزدیک گسل با جهت‌پذیری پیش‌رونده توصیه می‌شود از رکوردهای مقیاس نشده استفاده شود [۹]. این مسئله در مورد تغییر مکان ماندگار هنوز بررسی نشده است.



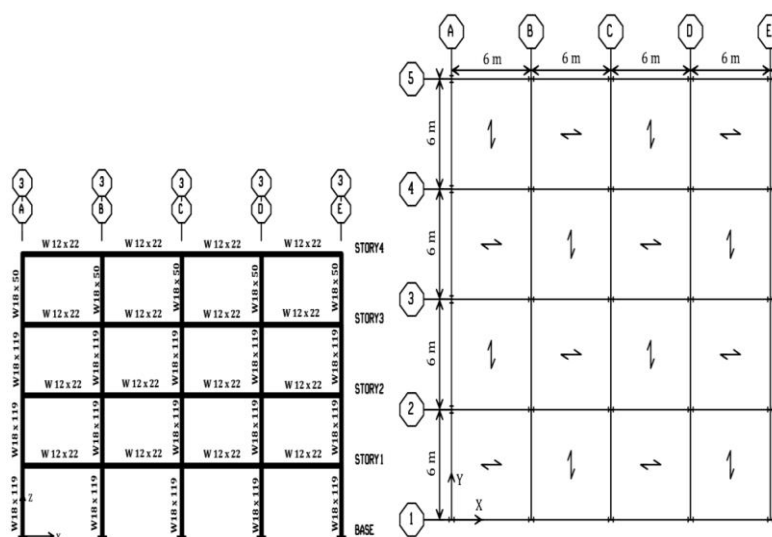
شکل ۱: مقایسه رکوردهای شتاب، سرعت و تغییر مکان زلزله نزدیک گسل با اثر تغییر مکان ماندگار با و بدون پردازش.

با توجه به عدم وجود رکوردهای بدون فیلتر در مراکز اطلاعات رکوردها، مطالعات چندانی در مورد زلزله‌های نزدیک گسل با اثر تغییر مکان ماندگار صورت نگرفته است. ایستوارت و همکاران با اضافه کردن پالسهای تغییر مکان تصادفی بر روی رکوردهای فیلتر شده پاسخ سازه‌ای را بدست آوردند [۱۰]. ولی به دلیل اینکه این تکنیک اثرات پردازش استاندارد را حذف می‌کند نمی‌تواند پاسخهای مناسبی ارائه دهد [۱۱]. کالکان و کونات، ساختمانهای مختلف را در برابر زلزله‌های دور از گسل و نزدیک گسل با مشخصه جهت‌گیری پیش‌رونده و تغییر مکان ماندگار تحت آنالیز قرار دادند. ایشان نشان دادند که زلزله‌های نزدیک گسل با اثر تغییر مکان ماندگار می‌تواند ساختمانها را نسبت به زلزله‌های دور از گسل آسیب پذیر کنند [۱۲]. بورکس و بیکر سیستمهای یک درجه آزادی را با استفاده از رکوردهای نزدیک گسل با مشخصات تغییر مکانی مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. این رکوردها عبارتند از: رکوردهای با تغییر مکان ماندگار بدون پردازش استاندارد، رکوردهای با اضافه کردن تغییر مکان تصادفی به رکوردهای فیلتر شده و رکوردهایی که تغییر مکان ماندگار در آنها به کمک پردازش استاندارد حذف شده‌اند. ایشان نشان دادند که در بیشتر حالتها در سیستمهای یک درجه آزادی پاسخ سازه‌ای بستگی به تغییر مکان ماندگار ندارد ولی اشاره شده که باید در مورد سیستمهای چند درجه آزادی مطالعات بیشتری صورت بگیرد [۱۳].

در این مطالعه سعی می‌شود به سه سوال مهم در مورد زلزله‌های نزدیک گسل با اثر تغییر مکان ماندگار پاسخ داده شود. اولاً، از آنجاییکه تغییر مکان ماندگار، پاسخ سیستمهای یک درجه آزادی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد، آیا در مورد سازه‌های چند طبقه نیز اثری ندارد و یا اگر اثر دارد به صورت می‌باشد؟ دوماً، با توجه به اینکه در مراکز اطلاعات رکوردها، تمامی رکوردها فیلتر شده و اثر تغییر مکان ماندگار در صورت وجود حذف می‌شوند، آیا می‌توان از رکوردهای فیلتر شده که قابل دسترس هستند استفاده کرد؟ سوماً، آیا حساسیت موجود در مقیاس کردن زلزله‌های نزدیک گسل با جهت‌گیری پیش‌رونده در مورد تغییر مکان ماندگار نیز وجود دارد و یا می‌توان از آنها به راحتی در تحلیل‌های لرزه‌ای بصورت مقیاس شده استفاده کرد؟ برای پاسخ دادن به این سوالات چهار سازه ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه با قاب خمشی فولادی ویژه طراحی و تحت ۱۶ رکورد نزدیک گسل دارای تغییر مکان ماندگار آنالیز دینامیکی غیر خطی قرار می‌گیرد.

۲- معرفی ساختمانهای مورد مطالعه

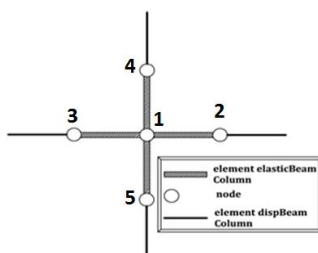
چهار ساختمان با تعداد طبقات ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه برای این پژوهش در نظر گرفته شده است. هر ساختمان دارای ۴ دهانه در راستای X و ۴ دهانه در راستای Y می‌باشد. طول همه دهانه‌ها ۶ متر و ارتفاع طبقات ۴ متر می‌باشد. سیستم باربر جانبی ساختمان، قاب خمشی با شکل‌پذیری ویژه می‌باشد. اتصال پای ستون‌ها به پی، به صورت گیردار فرض می‌گردد. اثر $P-\Delta$ برای ستون‌ها لحاظ می‌شود. بار مرده اعمال شده بر روی کف طبقه‌ها، ۴ کیلونیوتن بر متر مربع و بار زنده ۲ کیلونیوتن بر متر مربع می‌باشد. گره‌های موجود در ترازهای هر طبقه به گونه‌ای به هم وابسته شده‌اند که بتوانند رفتار سقف صلب را از خود نمایش بدهند. مقاطع استفاده شده برای تیرها و ستون‌ها از مقطع W با تنش تسلیم ۳۵۰ و مدول الاستیسیته ۲۰۰۰۰۰ مگاپاسکال می‌باشد. همه سازه‌ها در شهر لس‌آنجلس منطقه با لرزه‌خیزی بسیار زیاد و خاک نوع C مطابق با ASCE/SEI 7-10 انتخاب می‌شود [۱۴]. بار لرزه‌ای مطابق با ASCE/SEI 7-10 تعیین می‌گردد. تحلیل غیر خطی تاریخچه‌زمانی به روش نیومارک با میرایی ۵٪ و اختصاص جرم‌ها در هر طبقه در محل اتصال تیر به ستون انجام می‌گیرد. در شکل ۲ پلان تیب طبقات نشان داده شده است. یکی از قابها برای انجام آنالیزهای تاریخچه زمانی غیر خطی انتخاب می‌شود. قاب انتخاب شده مطابق با AISC2010 طراحی می‌شود [۱۵]. برای نمونه در شکل ۲ مقاطع اختصاص داده شده برای قاب ۴ طبقه نشان داده شده است.



شکل ۲: ابعاد و تیر ریزی پلان و مشخصات مقاطع سازه ۴ طبقه.

۳- مدل سازی عددی قابهای خمشی در نرم افزار اپنسیس^۷

برای مدل سازی قابهای طراحی شده از نرم افزار OpenSees استفاده می شود [۱۶]. این نرم افزار یکی از رایج ترین ابزارهای تحلیل المان محدود پیشرفته است که قابلیت های متنوع از جمله توانایی انجام مدل سازی قاب های سه بعدی و دو بعدی با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی هندسی و همچنین رفتار غیر الاستیک مصالح، تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی را دارد. برای کلیه اعضای قاب شامل تیر و ستون از دو المان تیر-ستون تغییر مکانی^۸ با تعداد ۱۵۰ رشته استفاده می گردد. برای بخش چشمه اتصال، المان الاستیک بکار برده می شود. در شکل ۳ مدل عددی اتصال قاب خمشی فولادی ارائه شده است. همانطور که در شکل مشاهده می گردد، برای مدل سازی چشمه اتصال از پنج گره استفاده می شود. گره شماره ۱ به عنوان محل اتصال محور تیر به ستون، گره های شماره ۲ و ۳ محل اتصال محور تیر به محور ستون و گره های ۴ و ۵ محل اتصال محور ستون به محور تیر را مشخص می کند. برای کلیه المانهای غیر خطی از مصالح منگوتو - پینتو^۹ با سخت شدگی ایزوتروپیک و کینماتیک با نسبت سخت شدگی کرنشی برابر با ۱٪ استفاده می شود [۱۷]. با توجه به اینکه آنالیزهای تاریخچه زمانی دوی بعدی انتخاب می شود، قاب ها در صفحه X-Z مدل می گردند. به جهت اینکه تغییر مکان در جهت عمود بر صفحه قاب برای تیر و ستون محدود است، تغییر مکان در جهت عمود بر قاب Y و دوران حول محورهای X و Z برای گره های اتصال تیر به ستون بسته می شود. اتصال ستون به تکیه گاه به صورت گیردار می باشد.



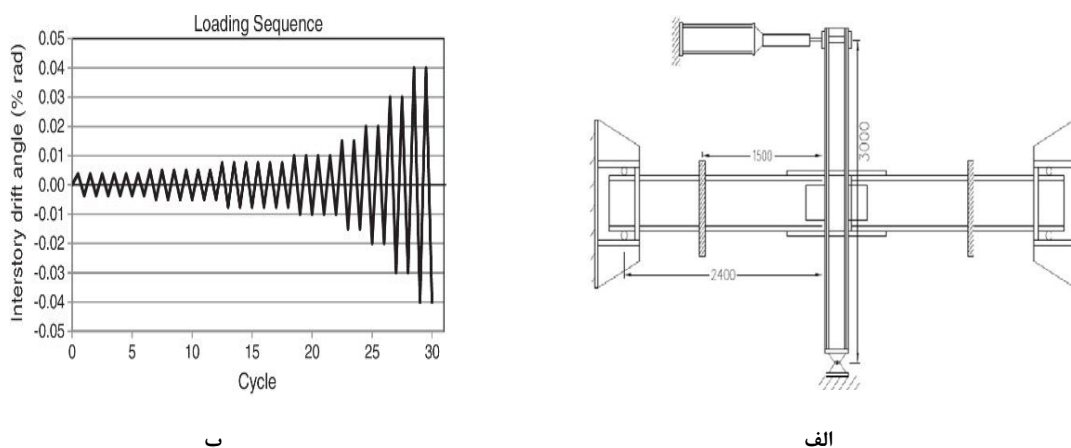
شکل ۳: مدل عددی چشمه اتصال.

⁷ OpenSees

⁸ Element Disp Beam Column

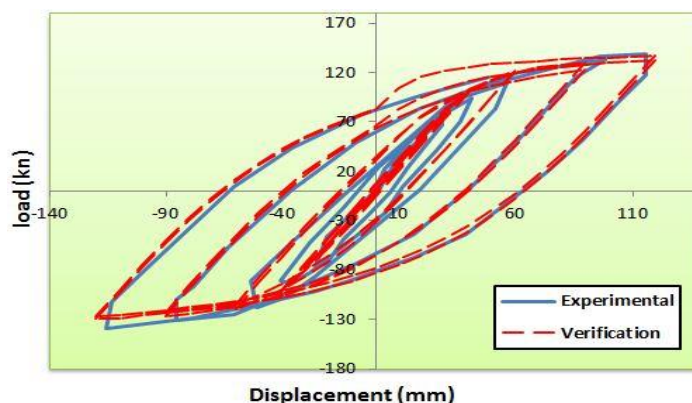
⁹ Menegotto-Pinto

برای صحت سنجی مدل عددی از نتایج نمونه آزمایشگاهی DIP1 مربوط به آزمایشات سازمند و آقا کوچک استفاده می‌شود [۱۸]. همانطور که در شکل ۴ (الف) نشان داده شده است، مدل از یک ستون با مقطع دابل IPE و یک صفحه فولادی عمودی سرتاسری متصل به یک تیر با پروفیل IPE تشکیل شده است. در انتهای ستون، تکیه گاه بصورت مفصلی و در انتهای مقاطع تیر تکیه گاه غلتکی بکار گرفته شده است. جکهای هیدرولیکی برای اعمال بارگذاری چرخه‌ای به نمونه، در بالای ستون و با سرعت پایین با روش شبه استاتیکی و بصورت تغییر مکان جانبی اعمال می‌شود. مشخصات بارگذاری در شکل ۴ (ب) نشان داده شده است.



شکل ۴: (الف) مدل آزمایشگاهی چشمه اتصال (ب) بارگذاری چرخه ای [۱۸].

نتایج آنالیز عددی و آزمایشگاهی در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مدل عددی بادقت مناسب می‌تواند پاسخ واقعی قاب را پیش‌بینی کند. تغییر مکان تسلیم اولیه، افزایش مقاومت پس از تسلیم، سختی اولیه، سختی مرحله بارگذاری، باربرداری و بارگذاری مجدد تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.



شکل ۵: نتیجه صحت سنجی.

۴- رکوردهای مورد استفاده

در این پژوهش ۱۶ رکورد فیلتر شده از سایت پیر [۵] و ۱۶ رکورد فیلتر نشده از تحقیقات بورکس و بیکر [۴] انتخاب می‌شود. بورکس و بیکر نشان دادند که ۸۸ رکورد از ۶۳ ایستگاه، شامل زلزله چی چی تایوان^{۱۰}، زلزله کوچالی ترکیه^{۱۱}، زلزله دارفیلد نیوزلند و

¹⁰ Chi Chi Taiwan(1999)

زلزله دنالی آلاسکا^{۱۲} دارای تغییرمکان ماندگار در انتهای رکورد تغییرمکان می‌باشند. در این مطالعه، رکوردها طوری انتخاب می‌شوند که دارای مقادیر تغییرمکان ماندگار مختلفی باشند. مشخصات رکوردها جهت انجام تحلیل‌ها به شرح جدول ۱ می‌باشد. همانطور که از جدول ۱ مشاهده می‌شود محدوده تغییرمکان ماندگار از ۲۵ سانتی‌متر برای رکورد شماره ۱۶ تا ۶۵۳ سانتی‌متر برای رکورد شماره ۵ متغیر می‌باشد. با توجه به اینکه در تعیین نیروهای لرزه‌ای قابها، منطقه با لرزه‌خیزی بالا و خاک نوع C انتخاب شده است، همه رکوردهای انتخابی مربوط به زلزله چی چی تایوان با بزرگی ۷/۶ و نوع خاک C می‌باشند.

۵- نتایج آنالیز تاریخچه زمانی غیرخطی

برای بررسی تأثیر تغییرمکان ماندگار بر روی پاسخ لرزه‌ای سازه‌های چند طبقه، سازه‌های ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه طراحی شده با سیستم قاب خمشی ویژه تحت ۱۶ رکورد فیلتر شده و ۱۶ رکورد فیلتر نشده قرار می‌گیرد. نتایج به صورت نمودارهای حداکثر نسبت دریافت طبقه برای حالت فیلتر نشده و پاسخ حداکثر تغییرمکان برای هر دو حالت فیلتر شده و نشده بصورت جداگانه برای هر کدام از سازه‌ها ارائه می‌گردد.

جدول ۱: مشخصات زلزله‌های مورد استفاده

Record Number	Earthquake Name	Year	Station Name	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Fling-disp (cm)
01	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY028	0.765	77.74	109	90.7
02	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU047	0.407	36.28	73.88	65.17
03	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU052	0.45	218.55	697.82	640
04	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU067	0.5	98.31	190.68	133.44
05	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU068	0.51	285.66	783	653
06	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU071	0.54	95.75	457	433
07	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU071	0.65	83.68	277.18	251.72
08	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU072	0.475	82.59	146.82	136.21
09	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU072	0.38	66	180	158
10	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU074	0.6	70.65	212.77	202.65
11	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU074	0.379	48.74	145.77	136.68
12	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU076	0.43	64.66	79.74	54.38
13	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU078	0.45	43	105	91.4
14	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU084	1	133	212	186
15	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU084	0.432	46.65	95.46	82.46
16	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU129	0.62	54	45	25

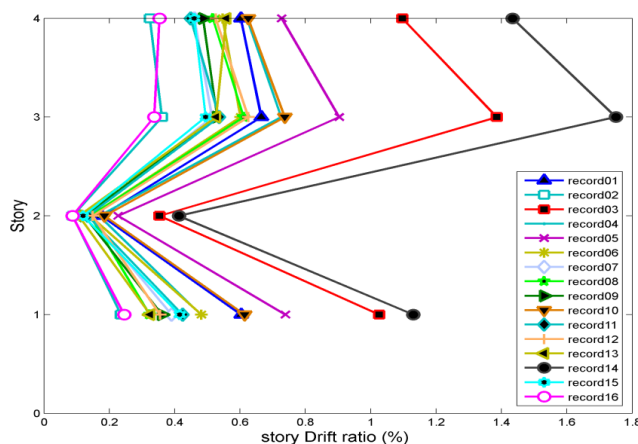
¹¹ Kocaeli-Turkey(1999)

¹² Denali-Alaska(2002)

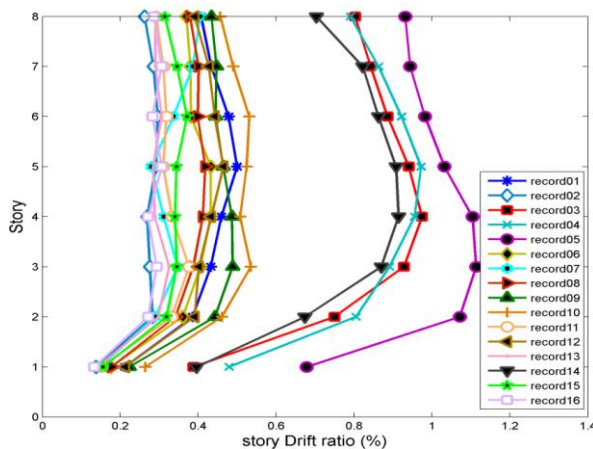
۵-۱- پاسخ حداکثر دریفت طبقه تحت رکوردهای فیلتر نشده

در شکل ۶ پاسخ حداکثر نسبت دریفت طبقه تحت رکوردهای فیلتر نشده برای سازه ۴ طبقه ارائه شده است. با مراجعه به شکل مشاهده می‌شود که بیشترین پاسخ مربوط به رکورد شماره ۱۴ می‌باشد. مطابق جدول ۱، مقدار تغییرمکان ماندگار این رکورد برابر با ۱۸۳ سانتی‌متر در مقابل ۶۵۳ سانتی‌متر رکورد شماره ۳ می‌باشد که نشان می‌دهد تغییرمکان ماندگار تأثیری روی پاسخ سازه ۴ طبقه ندارد. عاملی که باعث اختلاف پاسخ می‌شود را می‌توان در مقادیر طیفی جستجو کرد اگرچه عوامل دیگری شامل نحوه اعمال انرژی زلزله، مدت زمان زلزله و محتوای فرکانسی می‌تواند بر پاسخ سازه تأثیر گذار باشد. مقدار شتاب طیفی در مود اول مربوط به رکورد ۱۴، $2/15g$ می‌باشد که دارای بیشترین مقدار نسبت به رکوردهای دیگر است و باعث افزایش پاسخ تحت این رکورد گردیده است. برای رکورد شماره ۳ مقدار شتاب طیفی $1/8g$ تخمین زده شده است.

در شکل ۷، پاسخ نسبت دریفت طبقه تحت رکوردهای فیلتر نشده برای سازه ۸ طبقه ارائه شده است. با توجه شکل مشاهده می‌شود که رکورد شماره ۵ بیشترین پاسخ را اعمال کرده است. همچنین می‌توان گفت پاسخ سازه ۸ طبقه تحت رکوردهای ۳، ۴ و ۱۴ تقریباً برهم منطبق می‌باشند. رکورد شماره ۵ و ۳ تقریباً مقادیر تغییرمکان ماندگار نزدیک به هم دارند (مطابق جدول ۱) با اینحال پاسخهای آنها متفاوت می‌باشند. مقدار شتاب طیفی برای رکورد شماره ۵، $1g$ و برای رکورد شماره ۳، $0/68g$ می‌باشد که نشان می‌دهد تغییرمکان ماندگار تأثیری روی پاسخ سازه ۸ طبقه ندارد و مقدار شتاب طیفی است که باعث اختلاف پاسخها گردیده است.

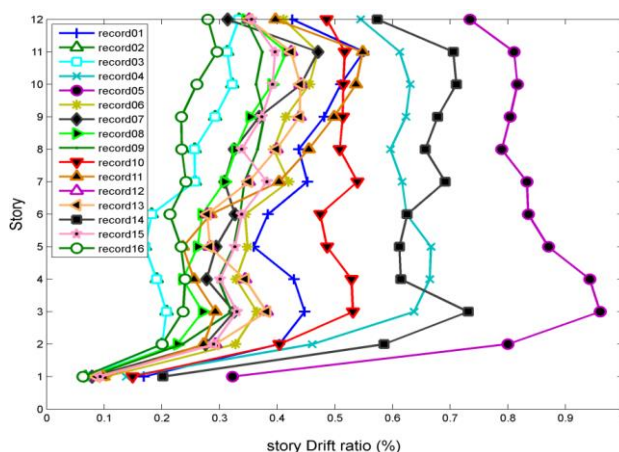


شکل ۶: پاسخ حداکثر نسبت دریفت طبقه سازه ۴ طبقه برای رکوردهای فیلتر نشده.



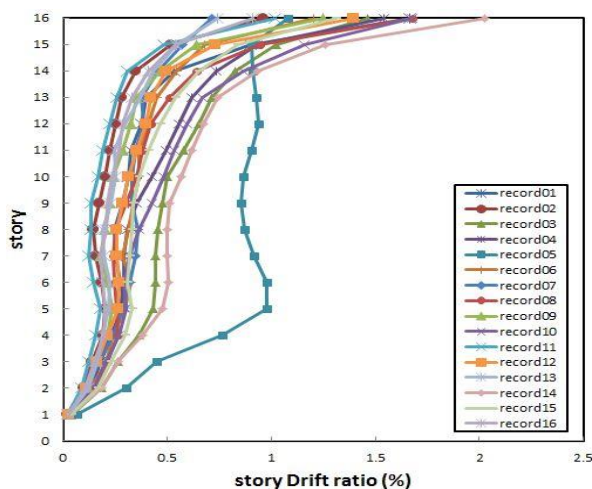
شکل ۷: پاسخ حداکثر نسبت دریفت طبقه سازه ۸ طبقه برای رکوردهای فیلتر نشده.

در شکل ۸، پاسخ نسبت دریفت طبقه تحت رکوردهای فیلتر نشده برای سازه ۱۲ طبقه ارائه شده است. با توجه شکل مشاهده می شود که پاسخ حداکثر مربوط به رکورد شماره ۵ می باشد. مقدار شتاب طیفی برای رکورد شماره ۵، $0.69g$ می باشد که دارای بیشترین مقدار نسبت به رکوردهای دیگر است و باعث بیشترین پاسخ تحت این رکورد گردیده است. مقدار شتاب طیفی در مود اول برای دو رکورد ۱۴ و ۴ به ترتیب $0.54g$ و $0.48g$ تعیین شده است که نسبت به رکورد شماره ۵ پایین تر بوده و پاسخها کاهش یافته است. با توجه به اینکه مقدار تغییر مکان ماندگار برای رکورد شماره ۵ از همه رکوردها بیشتر است (653 سانتی متر) با اینحال مقدار شتاب طیفی تاثیرگذارتر از آن می باشد.



شکل ۸: پاسخ حداکثر نسبت دریفت طبقه سازه ۱۲ طبقه برای رکوردهای فیلتر نشده.

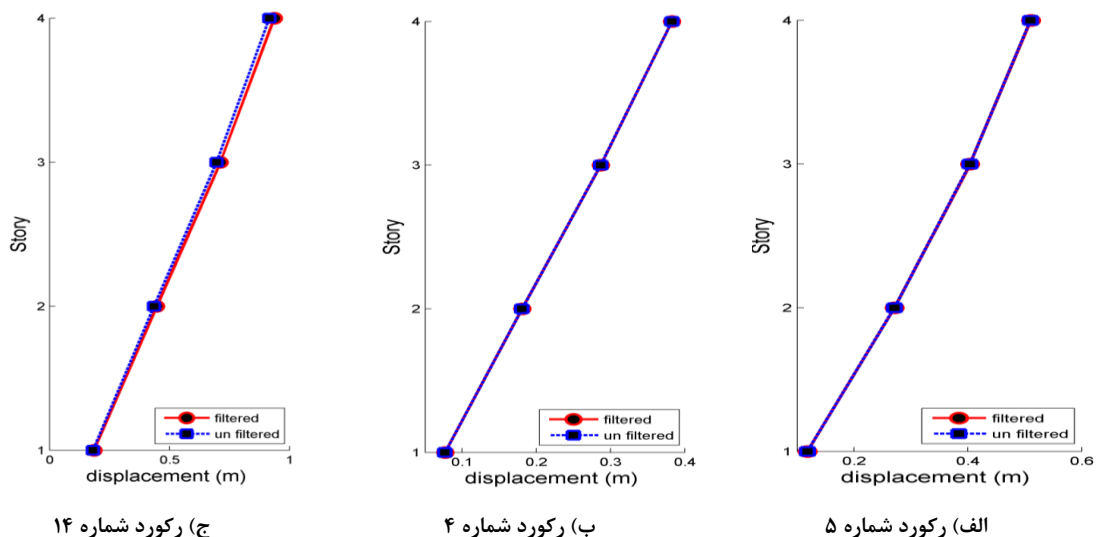
مطابق شکل ۹ در سازه ۱۶ طبقه رکوردی که بیشترین پاسخ را دارد رکورد شماره ۵ می باشد که مقدار شتاب طیفی آن برابر $0.48g$ می باشد. برای دو رکورد ۳ و ۱۴ که پاسخی نزدیک به هم دارند مقدار شتاب طیفی به ترتیب برابر $0.28g$ و $0.30g$ می باشد در صورتیکه مقدار تغییر مکان ماندگار آنها بترتیب برابر 640 و 186 سانتی متر می باشد که نشان دهنده آن است که اختلاف زیاد تغییر مکان ماندگار آنها تأثیری در پاسخ سازه ها نداشته و عامل تعیین کننده در پاسخ سازه ها مقادیر طیفی آنها می باشد. با توجه به شکل ۹ مشاهده می شود که مقدار پاسخ رکورد شماره ۱۴ در طبقات بالا بیشتر از رکورد ۵ می باشد با محاسبه مقدار شتاب طیفی این دو رکورد در مود دوم مشاهده می شود که شتاب طیفی آنها در مود دوم برای رکورد ۵ و ۱۴ بترتیب $0.82g$ و $2.49g$ می باشد که تأثیر مودهای بالاتر را نشان می دهد.



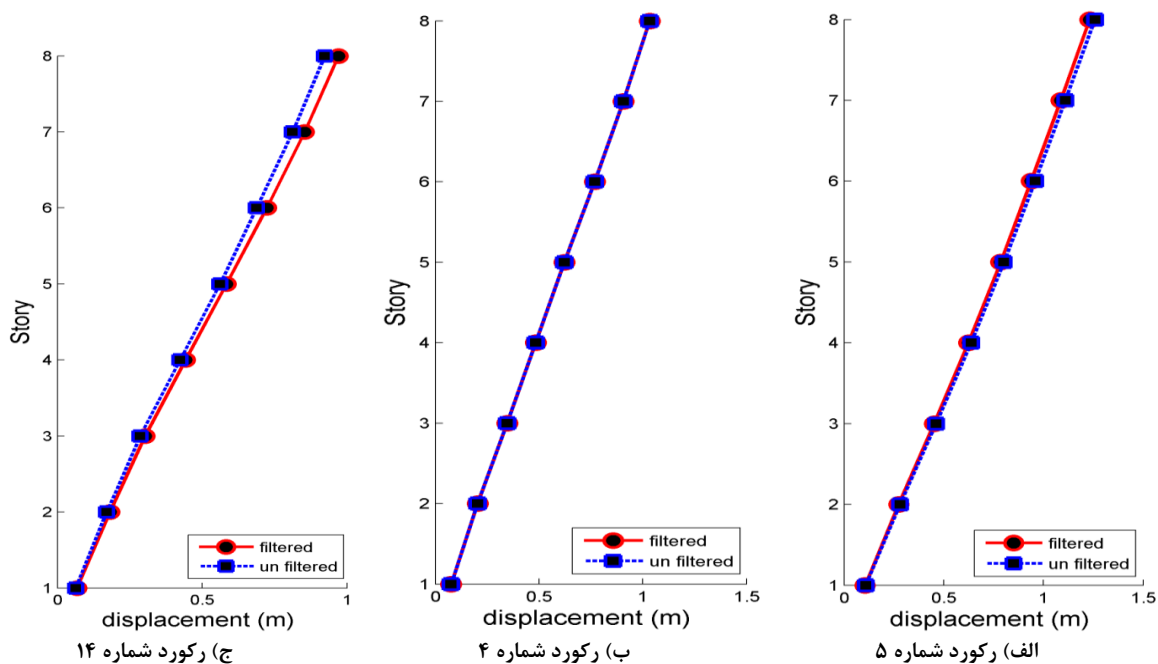
شکل ۹: پاسخ حداکثر نسبت دریفت طبقه سازه ۱۶ طبقه برای رکوردهای فیلتر نشده.

۵-۲- پاسخ حداکثر در یفت طبقه تحت رکوردهای فیلتر نشده

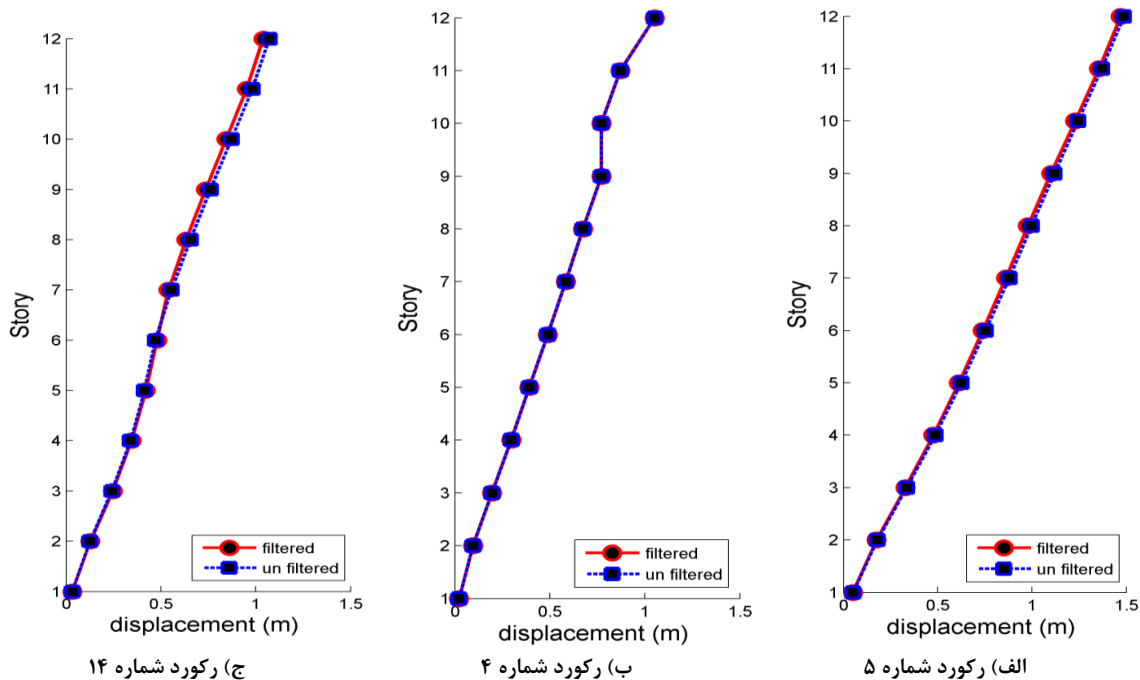
در بخش قبلی مشاهده شد که تقریباً در تمامی سازه‌های انتخابی، رکورد شماره ۵ بیشترین پاسخ را نشان داد. با توجه به اینکه این رکورد دارای بیشترین مقدار تغییر مکان ماندگار در بین ۱۶ رکورد انتخابی بود باینحال مقدار شتاب طیفی پارامتر تاثیرگذار بر روی پاسخ سازه‌ها تعیین شد. برای بررسی دقیقتر، در این بخش ۱۶ رکورد انتخابی بصورت فیلتر شده و نشده به سازه‌ها اعمال و پاسخ تغییر مکان آنها بررسی می‌گردد. به عنوان نمونه در شکل‌های ۱۰ الی ۱۳ پاسخ سازه‌ها تحت سه رکوردیکه بیشترین پاسخ را ارائه نمودند (۵، ۳ و ۱۴) نشان داده شده است.



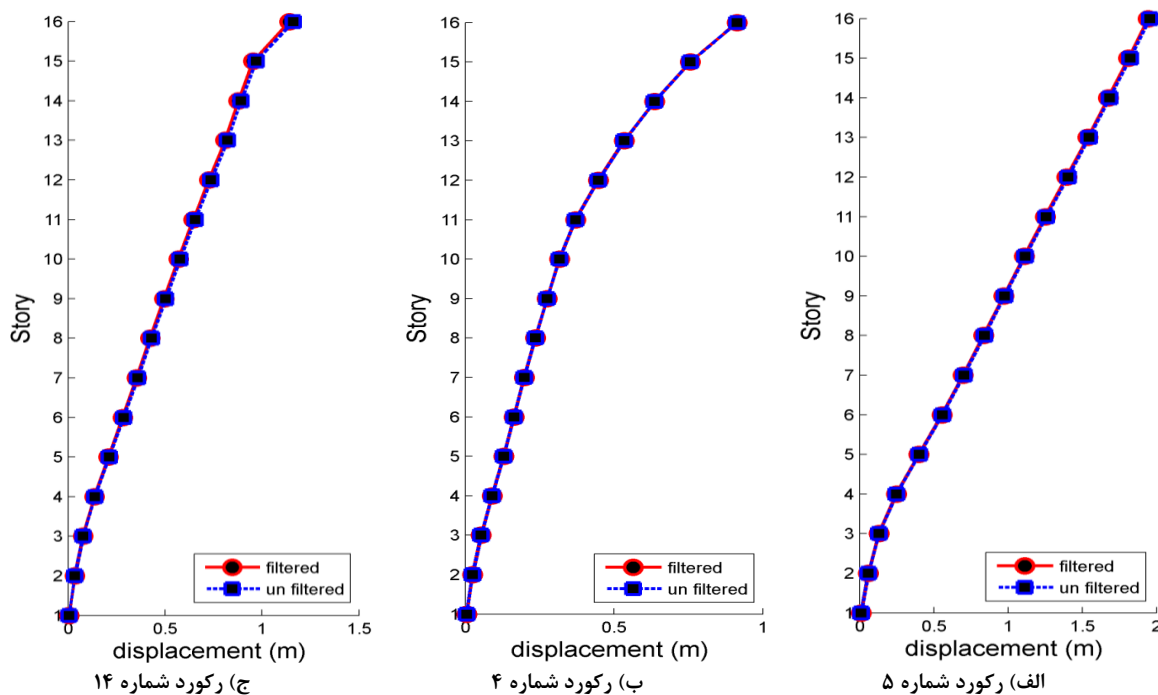
شکل ۱۰: پاسخ حداکثر جابجایی سازه ۴ طبقه تحت رکوردهای فیلتر شده و فیلتر نشده



شکل ۱۱: پاسخ حداکثر جابجایی سازه ۸ طبقه تحت رکوردهای فیلتر شده و فیلتر نشده



شکل ۱۲: پاسخ حداکثر جابجایی سازه ۱۲ طبقه تحت رکوردهای فیلتر شده و فیلتر نشده



شکل ۱۳: پاسخ حداکثر جابجایی سازه ۱۶ طبقه تحت رکوردهای فیلتر شده و فیلتر نشده

همانطوریکه مشاهده می‌شود، تغییرمکان ماندگار اثر چندانی بر روی پاسخ سازه‌ها ندارد و هردو منحنی تقریباً برهم انطباق دارد. نتیجه مشابه برای سایر رکوردها نیز مشاهده شد که به دلیل تعداد زیاد آنها در اینجا آورده نشده است.

۶- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به بررسی اثر تغییرمکان ماندگار بر روی سازه‌های چند طبقه پرداخته شد. تغییرمکان ماندگار یکی از اثرات زلزله‌های نزدیک گسل می‌باشد که بصورت تغییرمکان غیر صفر درانتهای رکورد تغییرمکان دیده می‌شود. با توجه به اینکه در مراکز اطلاعات رکوردها این اثر به دلیل فیلتر کردن حذف می‌شود مطالعات چندان زیادی روی سازه‌ها انجام نشده‌است و اطلاعات دقیقی در مورد اینکه تغییرمکان ماندگار چه اثری روی سازه‌ها می‌تواند داشته باشد وجود ندارد. برای این منظور، سازه‌های قاب خمشی ویژه فولادی مطابق با آیین نامه لرزه‌ای آمریکا (ASCE-10) طراحی شد. سازه‌های ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه با سیستم قاب خمشی با شکل پذیری ویژه بصورت غیر خطی مدلسازی و با استفاده از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی آنالیز شد و هر سازه بصورت جداگانه تحت ۱۶ شتابنگاشت با اثر تغییرمکان ماندگار و ۱۶ شتابنگاشت بدون اثر تغییرمکان ماندگار قرار گرفت.

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل عددی و همچنین با بررسی نمودارهای حداکثر جابجایی و نسبت دریافت طبقات برای هر کدام از سازه‌ها تحت رکوردهای فیلترشده و فیلترنشده نتیجه گرفته شد که پاسخها در هردو حالت تقریباً بر روی هم انطباق دارند و حذف تغییرمکان ماندگار و یا اضافه کردن آن تفاوتی نمی‌باشد و می‌توان از رکوردهای فیلتر شده که در بیشتر مراکز رکوردها وجود دارد استفاده کرد. مهمترین عامل تأثیر گذار در پاسخ سازه‌ها مقادیر طیفی می‌باشد اگر چه عوامل دیگری نظیر محتوای فرکانسی، مدت زمان، نحوه‌ی اعمال انرژی ورودی و زلزله نیز می‌تواند پاسخ سازه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به اینکه امروزه اکثر شتابنگاشت‌های موجود در مرکز اطلاعات زلزله‌ها با کمک روشهای پردازش استاندارد فیلتر می‌شوند و خطاهای موجود حذف می‌گردند نگرانی از بابت استفاده از شتابنگاشت‌های با اثر تغییرمکان ماندگار وجود ندارد و می‌توان با اطمینان از آنها استفاده کرد. همچنین به دلیل اینکه مهمترین عامل تأثیرگذار در پاسخ سازه‌های چند طبقه، مقادیر طیفی تعیین شد بنابراین می‌توان گفت حساسیت موجود در مورد مقیاس کردن زلزله‌های نزدیک گسل با جهت گیری پیشرونده درباره زلزله‌های با اثر تغییرمکان ماندگار وجود ندارد و می‌توان از روشهای مقیاس کردن شتابنگاشت‌ها در آنالیزهای لرزه‌ای استفاده کرد.

مراجع

- [1] Bray, J. D. and Mark, A. R. (2004). Characterization of Forward- Directivity Ground- Motions in the Near- Fault Region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 815-828.
- [2] Somerville, P. G. (1998). Development of an Improved Representation of Near- Fault Ground Motions. In: SMIP98 Proceedings, Seminar on Utilization of Strong- Motion Data Oakland, CA, Sept. 15, California Division of Mines and Geology. Sacramento: CA, 1-20.
- [3] Hall, J. F. Heaton, T. H. Halling, M. W. and Wald, D. J. (1995). Near- Source Ground Motions and Its Effects on Flexible Buildings. *Earthquake Spectra*, 11(4), 569-605.
- [4] Burks L.S. and Baker, J.W. (2016). A Predictive Model for Fling - Step in Near-Fault Ground Motions Based on Recordings and Simulations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 80, 119-126.
- [5] Pacific Earthquake Engineering Research-PEER (2016). Ground motion database. [online] Available at: http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database.
- [6] Alavi, B. and Krawinkler, H.(2001). *Effects of near-fault ground motions on frame structures*. Blume Earthquake Engineering Center Technical Report 138, Stanford, CA.
- [7] Yahyai, B. Rezayibana, B. and Mohammadrezapour, E. (2011) Effect of near-fault earthquakes with forward directivity on telecommunication towers. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 10, 211-218.
- [8] Jamnani, H.H., Karbassi A. and Lestuzzi, P. (2013). Fling-step effect on the seismic behaviour of high-rise RC buildings during the Christchurch earthquake. In: *2013 new Zealand Society for Earthquake Engineering Technical Conference and AGM*, April 26-28, Wellington, New Zealand 13NZSEE.
- [9] NEHRP Consultants Joint Venture(2011). *Selecting and Scaling Earthquake Ground Motions for Performing Response-History Analyses*. NIST GCR 11-917-15, U.S Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology(NIST), Gaithersburg, MD.
- [10] Stewart, J.P. Chiou, S.J. Bray, J.D. Graves, R.W. Somerville, P.G. and Abrahamson, N.A. (2001). *Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design*. Pacific Earthquake Engineering Research Center Technical Report 2001/09; Berkeley, CA.

- [11] Ventura, C.E. Archila, M. Bebamzadeh, A. and Liam Finn, W.D. (2011). Large co-seismic displacements and tall buildings. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 20, 85–99.
- [12] Kalkan, E. and Kunnath, S.K. (2006). Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings. *Earthquake Spectra*, 22 (2), 367–390.
- [13] Burks, L.S. and Baker, J.W. (2014). Fling in near-fault ground motions and its effect on structural collapse capacity. In: *Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering*, July 21-25, Anchorage, Alaska 10NCEE.
- [14] ASCE/SEI 7-10(2010). *Minimum design loads for buildings and other structures*. American Society of Civil Engineers.
- [15] AISC (2010). *Seismic provisions for structural steel buildings*. American Institute of Steel Construction.
- [16] OpenSees (2010). *Open system for earthquake engineering simulation*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- [17] Yahyai, B. and Rezayibana, B. (2015). Direct displacement-based design of special concentrically-braced frames in near-fault regions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13, 2945–2971.
- [18] Sazmand, A. and Aghakouchak, A. A. (2012). Modeling The Panel Zone In Steel MR Frames Composed Of Built-Up Columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 77, 54–68.