



کد مقاله: ۱-۱۵۸

## عملکرد لرزه ای سیستم های سازه ای قاب محیطی مهاربندی شده تحت اثر زمین لرزه های حوزه نزدیک پالس گونه

فرشاد براتی<sup>۱</sup>، افشین مشکوه‌الدینی<sup>۲</sup>، عبدالرضا سروقد مقدم

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی، [farshad7941@gmail.com](mailto:farshad7941@gmail.com)

۲- عضو هیأت علمی، دانشگاه خوارزمی

۳- عضو هیأت علمی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

### چکیده

با افزایش تجربه ها از رویداد ها و اتفاقات زمین لرزه ها گذشته به خصوص زمین لرزه های حوزه نزدیک و بررسی رفتار ساختمان ها و خسارت های جدی وارده بر سازه ها، باعث شد تا به اثرات زمین لرزه های حوزه نزدیک توجه بیشتری شود. زلزله های حوزه نزدیک دارای ویژگی های مشخصی هستند که آنها را از زمین لرزه های حوزه دور متمایز می کند. از طرفی سیستم های مختلف باربر جانبی در سازه های بلند به علت خصوصیات مقاومت مصالح و ویژگی های هندسی، عملکرد متفاوتی در برابر بارهای لرزه ای از خود نشان می دهند که از جمله این سیستم ها، قاب محیطی مهاربندی شده است. همچنین در این پژوهش برای تعیین رفتار سازه ها در برابر این نوع تحریکات، از تعداد زیادی تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی سیستم های قاب محیطی مهاربندی شده استفاده شده است. به منظور وارد نمودن اثرات حاصل از قرارگیری سازه ها در ناحیه نزدیک گسل، رکوردهای مختلف حاوی دو مولفه نیرومند موازی و عمودی نسبت به صفحه شکست، مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین در این تحلیل ها اثر همزمان مولفه قائم را نیز در نظر گرفته شده است. مجموعه رکوردها حاوی زلزله بم ۲۰۰۳ و طبس ۱۹۹۴ از ایران و رکورد ایستگاه های زلزله نورتریج ۱۹۹۴ کالیفرنیا می باشد. مدل های سازه ای شامل دو ساختار ۲۰ و ۳۰ طبقه است که براساس آیین نامه لرزه ای ایران طراحی شده‌اند. بررسی پارامترهای پاسخ این نوع سیستم ها نشان دهنده عملکرد لرزه ای بسیار خوب حتی در نواحی نزدیک گسل ها است.

**کلمات کلیدی:** زلزله های حوزه نزدیک، سازه های بلند، قاب محیطی مهاربندی شده، تحلیل دینامیکی غیرخطی، پارامترهای پاسخ

### ۱- مقدمه

حرکات شدید زمین در نزدیکی گسل به طور قابل توجهی نسبت به مناطق دور از گسل متفاوت است. منطقه نزدیک گسل در یک فاصله تا km ۲۰ از صفحه شکست می باشد. در این مناطق نزدیک گسل، حرکات زمین به شدت تحت تاثیر مکانیسم گسلش، جهت انتشار گسیختگی نسبت

به سایت و جابه جایی های ماندگار ناشی از لغزش می باشد. این عوامل منجر به اثراتی تحت عنوان جهت داری و حرکات پرتابی زمین بیان می گردد. تخمین حرکات زمین در حوزه نزدیک یک گسل فعال باید با در نظر گرفتن این ویژگی ها انجام شود [۲۱].

به دلیل نزدیکی محل تا گسل، تاریخچه زمانی سرعت زمین در بسیاری از حالات دارای شکل پالس مانند می باشد که یادآور تحریک به صورت ضربه است. دامنه و مدت زمان این پالس ها بستگی به جهت انتشار شکست دارد. هنگامی که ساختار شکست گسل به سمت سایت منتشر شده و سرعت شکست ساختار زمین نیز در حدود سرعت موج برشی زلزله باشد، بیشتر انرژی زلزله در یک پالس منفرد در ابتدای تاریخچه زمانی سرعت زمین آزاد می شود. این نوع شکست ساختار گسل، شکست با جهت گیری پیشرونده نامیده می شود. همچنین اگر شکست در جهت دور شدن از محل باشد، هیچ گونه ساختار موجی شکل را نشان نمی دهد. این فرایند شکست نیز با وضعیت جهت گیری پسرونده می باشد. افزون بر موارد بالا در حالت جهت داری ختشی، اثر خاصی در تاریخچه زمانی زلزله وجود ندارد و دور یا نزدیک شدن انتشار گسلش، چندان قابل تشخیص نیست [۳و۴]. وجود این پالس های مشخص، ساختار عمومی پاسخ سازه را از حالت مدگونه که در آن یک یا چند مد تعیین کننده پاسخ نهایی سازه می باشند، بصورت موج گونه در می آورد. شایان ذکر است که در این حالت، پاسخ سازه توسط جمع اثرات امواج لرزه ای گذرنده از سازه تعیین می شوند [۵و۶].

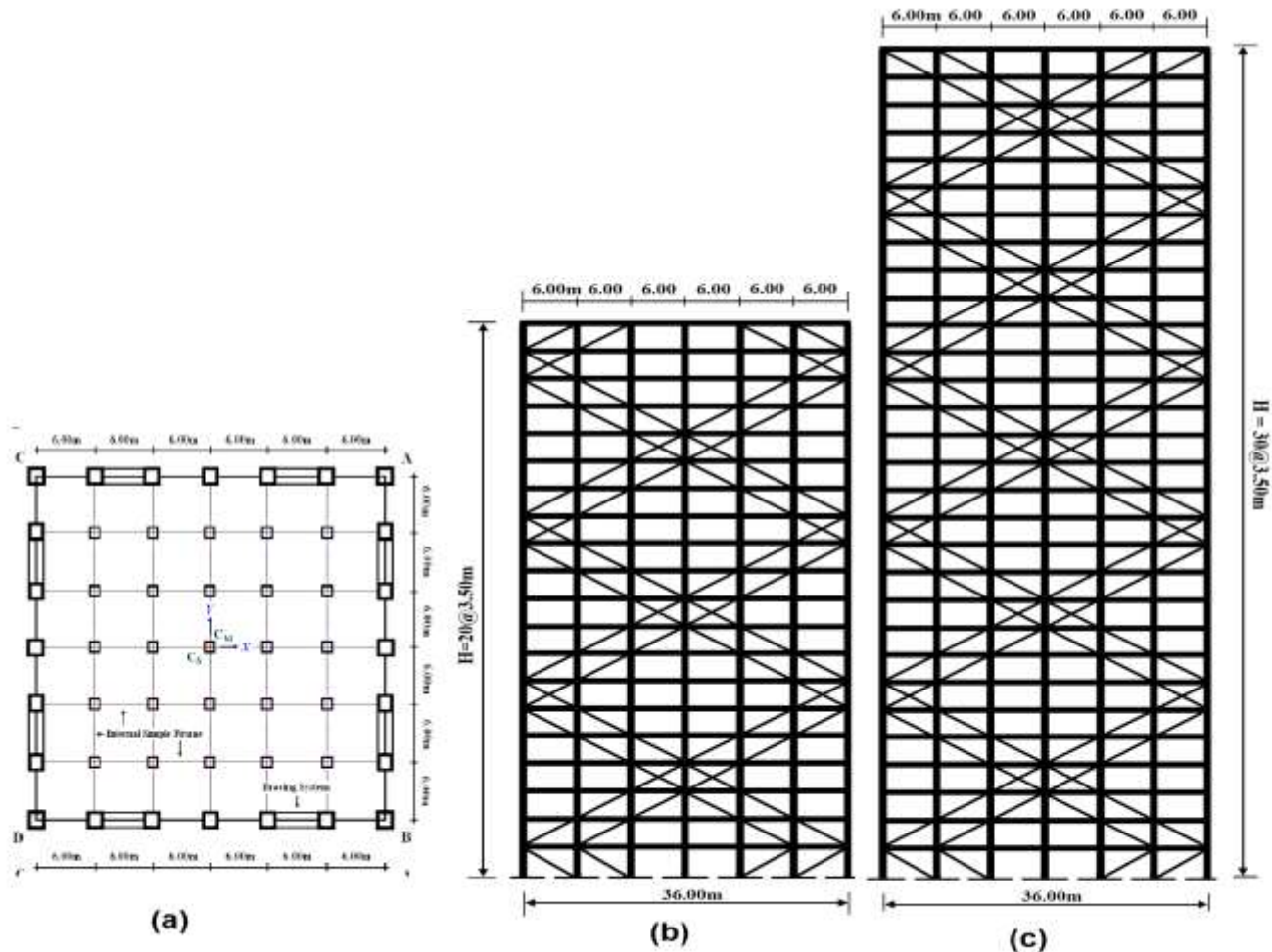
سیستم های سازه ای قاب محیطی مهاربندی شده یکی از کارآمدترین فرم های سازه ای برای ساختمان های بلند مرتبه می باشند. یکی از راه های مقابله با تحریکات زلزله های حوزه نزدیک، افزایش شکل پذیری و کاربرد ساختارهای سازه ای ترکیبی قاب های خمشی-برشی است. سیستم های قاب محیطی مهاربندی شده به دلیل هندسه و سختی جانبی بسیار زیاد، علاوه بر افزایش فاصله بین ستون ها، اثرات پدیده لنگی برش را تا حد زیادی کاهش می دهند. مطالعه چگونگی رفتار لرزه ای مهاربندهای بزرگ تحت اثر رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک، یکی از موضوعات مطالعاتی برای بهبود پارامترهای طراحی انواع سیستم های مهاربندی در ساختمان های میان مرتبه تا بلند است. در تحقیق حاضر، ویژگی های رفتار لرزه ای و پارامترهای پاسخ دینامیکی سیستم قاب محیطی مهاربندی شده تحت اثر رکوردهای حوزه دور و نزدیک تحلیل گردیده و ارزیابی توصیفی بر روی نتایج صورت گرفته است. شرایط بارگذاری، محاسبات بارهای جانبی ناشی از زلزله و پارامترهای مربوطه نیز براساس آیین نامه های ایران صورت پذیرفته است. مجموعه رکوردهای انتخابی نیز دارای انواع اثرات پدیده گسلش و جهت داری بوده و انتخاب شده از زلزله های معروف ایران و نیز زلزله Northridge 1994 کالیفرنیا می باشد. شایان ذکر است که معیار اصلی در انتخاب این رکوردها برای انجام آنالیزهای غیرخطی تاریخچه زمانی، وجود پالس یا پالس های پراثرژی و بلند مدت در تاریخچه زمانی سرعت بوده است. شناخت خصوصیات پالس های پررود بلند برای طراحی سازه ها در حوزه نزدیک گسل از اهمیت زیادی برخوردار است. این نکته قابل ذکر است که برای مقایسه بهتر رفتار لرزه ای دو سازه، محور قائم تمام نمودارها نسبت به ارتفاع نرمال شده می باشد. [۷و۸و۱۳].

## ۲- مدل سازه و ملاحظات طراحی

مدل های سازه ای مورد مطالعه در این تحقیق قاب های محیطی مهاربندی شده است که پلان و قاب سازه ای آن در شکل ۱ نشان داده شده است، هر دو سازه دارای پلان مشابه هستند. طرح سازه آن در هر دو جهت شامل ۶ دهانه به طول معادل ۶ متر و تعداد طبقات ۲۰ و ۳۰ می باشد. بار مرده و زنده اعمالی برای کل طبقات به ترتیب  $0.2 \text{ ton}/m_2$  و  $0.5 \text{ ton}/m_2$  و برای بام  $0.5 \text{ ton}/m_2$  و  $0.15 \text{ ton}/m_2$  است [۹و۱۰].

موقعیت سازه ای در تهران با خطر لرزه ای بسیار بالا و نوع خاک دو که دارای ضریب اهمیت ۱ و ارتفاع تمام طبقات ۳,۵ متر می باشد. مشخصات مقاطع اعضای سازه براساس استاندارد ملی ساختمان ایران (مبحث دهم مقررات ملی ساختمان) طراحی شده اند. [۱۱و۱۲و۱۳]. بر اساس این

استانداردها در کنترل طرح لرزه‌ای، دو معیار محدودیت جابه‌جایی نسبی لرنه‌ای طبقات و رعایت اصل ستون قوی - تیر ضعیف در روند طراحی در نظر گرفته شده است. همچنین توصیف ویژگی‌های رفتار غیرخطی اعضا بر اساس ضوابط آیین نامه Fema356 می‌باشد [۱۴].



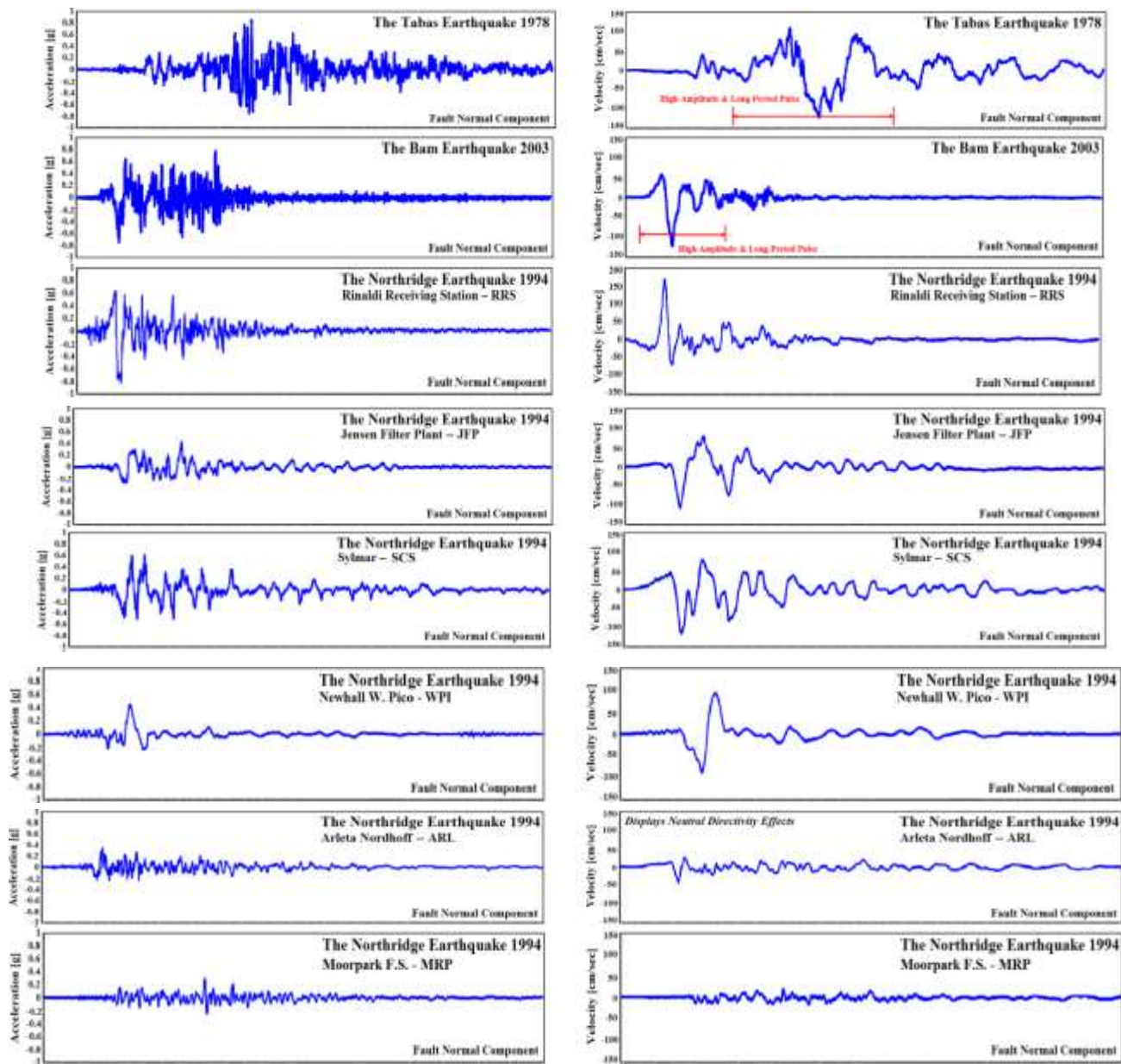
شکل ۱: (a) پلان سازه؛ (b) مدل سازه ای ۲۰ طبقه؛ (c) مدل سازه ای ۳۰ طبقه

### ۳- ماهیت زمین لرزه های مورد استفاده

مسئله انتخاب شتابنگاشت ها در یک پروژه، ارتباط نزدیکی با ساختار زمین‌شناسی و مکانیزم گسل‌های منطقه دارد. معیار اصلی در انتخاب رکوردهای زلزله در این پژوهش، وجود پالس پرانرژی و بلند مدت در تاریخچه زمانی سرعت زمین بوده است. وجود پالس پرانرژی و بلند مدت در تاریخچه زمانی هر کدام از مولفه‌های یک رکورد نیرومند حوزه نزدیک، می‌تواند پارامترهای پاسخ و مشخصات رفتار سازه را تحت تاثیر شدید قرار بدهد. اهمیت این موضوع نیز با افزایش یافتن مدت دوام حرکات نیرومند در رکورد زلزله دوچندان خواهد شد. نمونه‌های مختلفی از پالسهای پردامنه و بلند مدت سرعت در رکوردهای زلزله های نورت ریج، بم و طبس مشاهده شده است. وجود پالس‌های بزرگ سرعت در تاریخچه زمانی رکوردهای ثبت شده در ایستگاه های Sylmar, Rinaldi, NewHall در زلزله نورت ریج کالیفرنیا و نیز دو زلزله بم و طبس، نمونه های از

ساختار های موج گونه با قابلیت ایجاد جنبش های بسیار نیرومند زمین می باشد [۹۵].

نتایج پژوهش های لرزه شناسی نشان می دهند که رکوردهای طبیعی زلزله بهترین نمایش از ساختار بارگذاری لرزه ای برای ارزیابی و طراحی سازه ها می باشند. تمام رکورد ها به صورت طبیعی و سه مولفه ای به مدل های مطالعاتی این پژوهش اعمال گردیده است. توضیح آنکه مولفه موازی با صفحه شکست گسل (مولفه LN) در راستای X، مولفه نیرومندتر عمود بر صفحه شکست (مولفه TR) در راستای Y پلان سازه و مولفه قائم نیز در جهت Z وارد گردیده اند. شکل رکوردهای تاریخچه زمانی سرعت و شتاب مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۲ و مشخصات رکورد های مورد استفاده جدول ۱ نمایش داده شده است [۱۴۹].



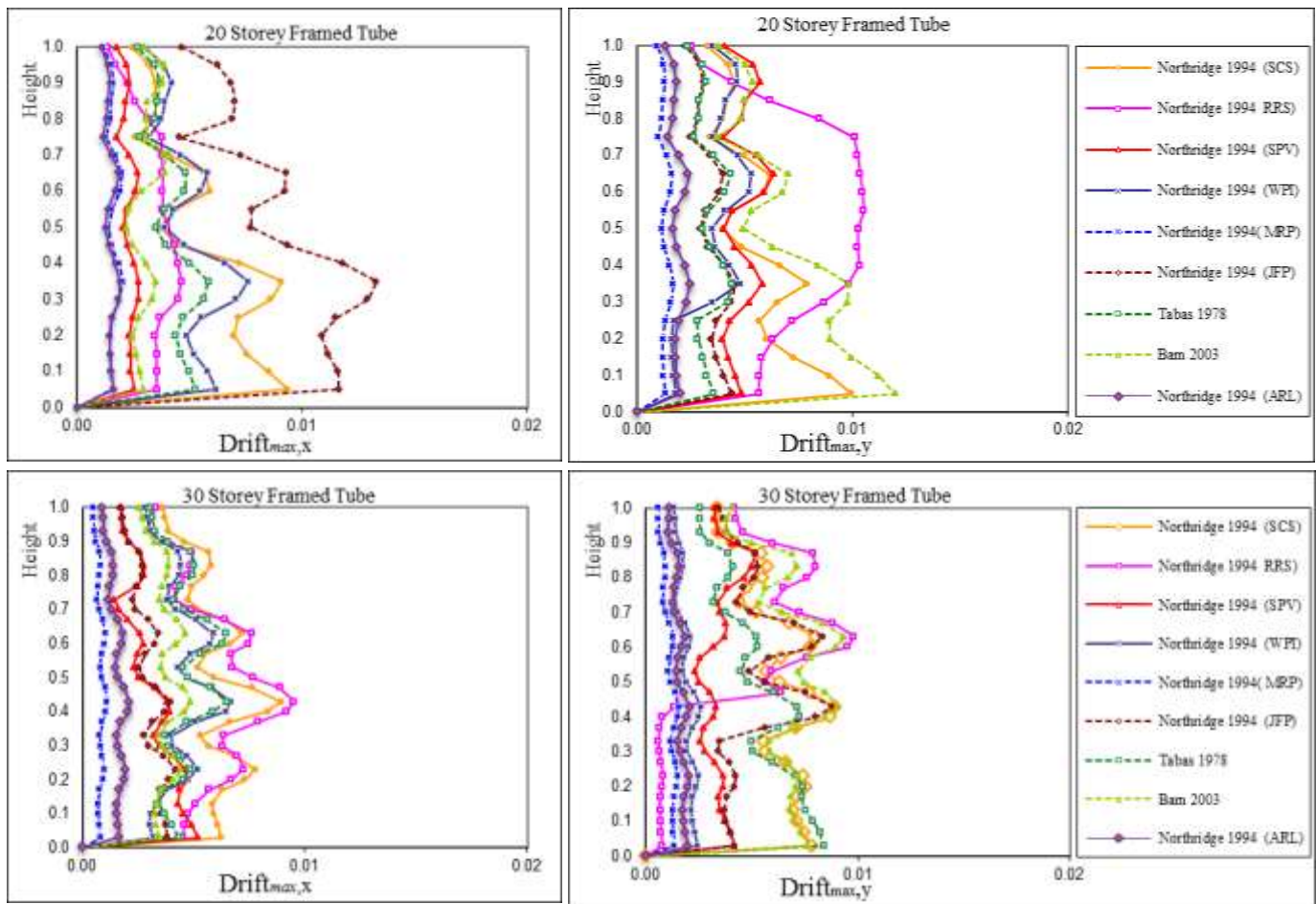
شکل ۲: تاریخچه زمانی شتاب و سرعت رکوردهای انتخابی

جدول ۱: مشخصات رکوردهای انتخابی									
Quake	Year	Station	Ms	Time step	Number	Component	PGA(g)	PGV(cm/s)	PGD(cm)
Northridge	۱/۱۷/۱۹۹۴ ۰:۰۰	Arleta (ARL)	۶.۷	۰.۰۲	۱۵۰۰	LN	۰.۳۰۸	۲۳.۲	۱۰.۷۵
						TR	۰.۳۴۴	۴۰.۶	۱۵۰.۴
						UP	۰.۵۵۲	۱۸.۴	۸۸۳
		Newhall - W. Pico (WPI)	۶.۷	۰.۰۱	۳۰۰۰	LN	۰.۳۲۵	۶۷.۴	۱۶.۱۱
						TR	۰.۴۵۵	۹۲.۸	۵۶.۶۴
						UP	۰.۲۹	۳۷.۲	۱۳.۳۹
		Sylmar (SCS)	۶.۷	۰.۰۰۵	۶۰۰۰	LN	۰.۸۹۷	۱۰۲.۸	۴۶.۹۹
						TR	۰.۶۱۲	۱۱۷.۴	۵۳.۴۷
						UP	۰.۵۸۶	۳۴.۶	۲۵.۴۴
		Sepulveda (SPV)	۶.۷	۰.۰۲	۱۵۰۰	LN	۰.۹۳۹	۷۶.۶	۱۴.۹۵
						TR	۰.۷۵۳	۸۴.۸	۱۸.۶۸
						UP	۰.۴۶۷	۳۳.۲	۹.۵۸
		Jensen Filter Plant (JFP)	۶.۷	۰.۰۲	۱۵۰۰	LN	۰.۵۹۳	۹۹.۳	۲۴
						TR	۰.۴۲۴	۱۰۶.۲	۴۳.۰۶
						UP	۰.۴	۳۴.۱	۸.۸۹
		Moorpark Fire (MRP)	۶.۷	۰.۰۲	۱۵۰۰	LN	۰.۲۹۲	۲۰.۷	۴.۲۴
						TR	۰.۱۹۳	۲۰.۲	۴.۷۹
						UP	۰.۱۵۹	۷.۹	۰.۹
Rinaldi Receiving (RRS)	۶.۷	۰.۰۰۵	۶۰۰۰	LN	۰.۴۷۲	۷۳	۱۹.۷۶		
				TR	۰.۸۳۸	۱۶۶.۱	۲۸.۷۸		
				UP	۰.۸۵۲	۵۰.۷	۱۹.۷۶		
Bam	۲۰۰۳	bam	۶.۶	۰.۰۰۵	۶۰۰۰	LN	۰.۶۳۵	۵۹.۶	۲۰.۷
						TR	۰.۷۹۳	۱۲۲.۷	۳۷.۴
						UP	۰.۹۹۹	۳۷.۶۶	۱۰.۱۱
Tabas	۱۹۷۸	Tabas	۷.۴	۰.۰۲	۱۵۰۰	LN	۰.۸۳۶	۹۷.۷	۳۹.۹
						TR	۰.۸۵۱	۱۲۱.۳	۹۴.۵
						UP	۰.۶۸۸	۴۵.۵	۱۷

#### ۴- بررسی پاسخ لرزه ای سازه ها

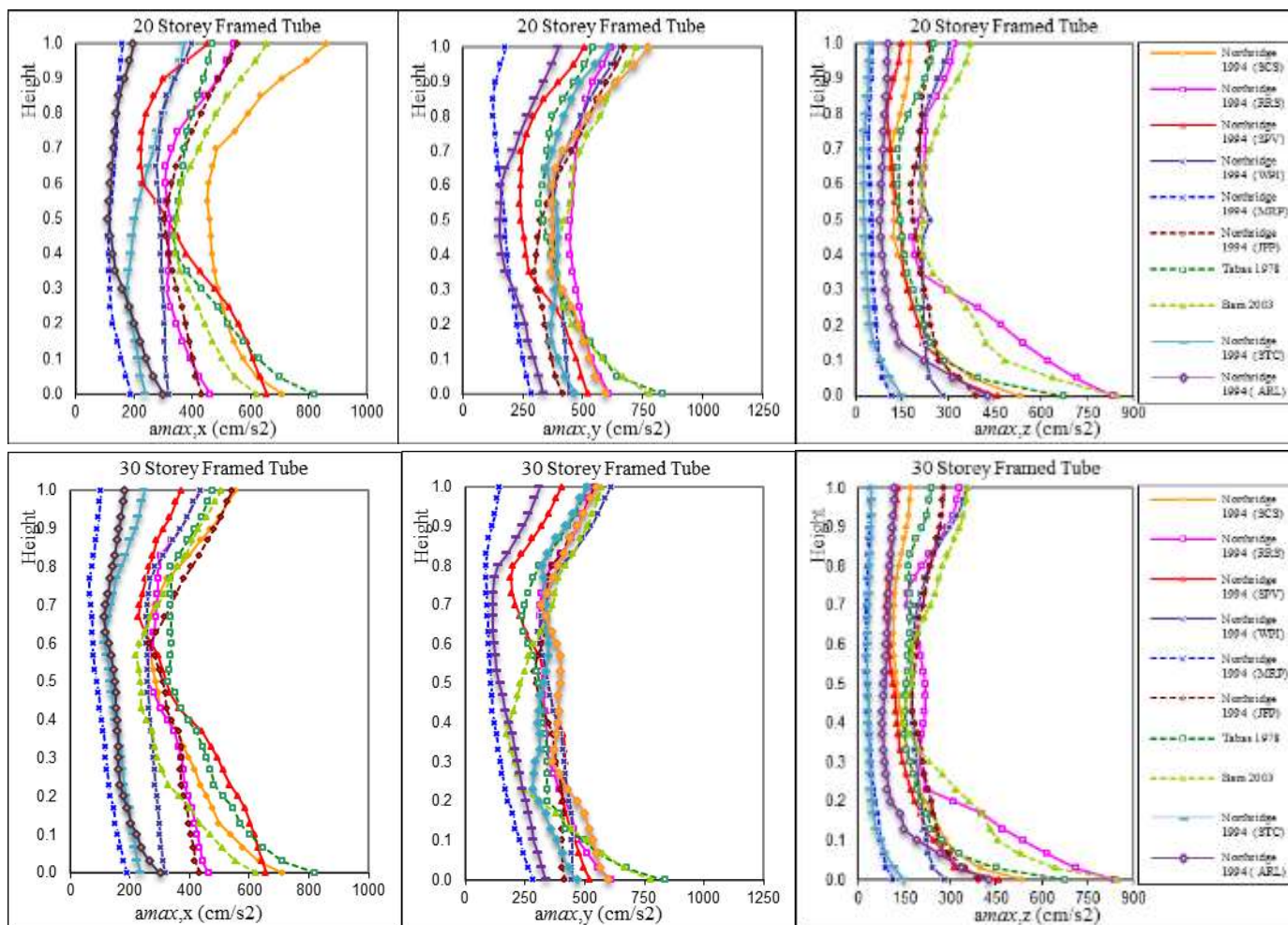
نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی دو سیستم قاب محیطی مهاربندی شده به صورت بیشینه تغییر مکان نسبی، شتاب و سرعت طبقات ارائه شده، بدین گونه که نمودارهای پاسخ لرزه ای طبقات در جهت محور X به ازای پارامتر ارتفاع نرمال شده در جهت Y نشان داده شده است. پارامترهای مدل سازی مفاصل پلاستیک و ویژگی های رفتار غیرخطی اعضا بر اساس ضوابط گزارش Fema356 تنظیم گردیده است [۱۵]. ساختار تحلیلی مفاصل اندرکنشی P و خمشی  $M_3$  به ترتیب برای ستون ها و تیرها و همچنین برای مهاربندها نیز مفصل P (نیروی محوری) تعریف شده است. با توجه به اینکه حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات به عنوان معیاری برای بررسی میزان آسیب وارد بر سازه در نظر گرفته شده است، تغییرات پارامتر دریفیت در نقطه A پلان برای هر دو سازه در شکل ۳ نمایش داده شده است. آهنگ تغییر مکان نسبی بین طبقات برای سازه ۲۰ طبقه به نسبت سازه ۳۰ طبقه بیشتر بوده و با توجه به اینکه اکثر رکوردها دارای مولفه جهت Y نیرومندتری هستند، مقادیر دریفیت نیز در این نمودار بیشتر است. همچنین مقادیر دریفیت در طبقات آخر به حداقل مقدار خود رسیده، که نشان دهنده عملکرد لرزه ای بسیار خوب چنین سیستم هایی در

نواحی نزدیک به گسل است. همچنین حداکثر پاسخ دررفت در هر دو سازه از مقدار مجاز  $0.02$  توصیه شده در استاندارد  $2800$  کم تر است.

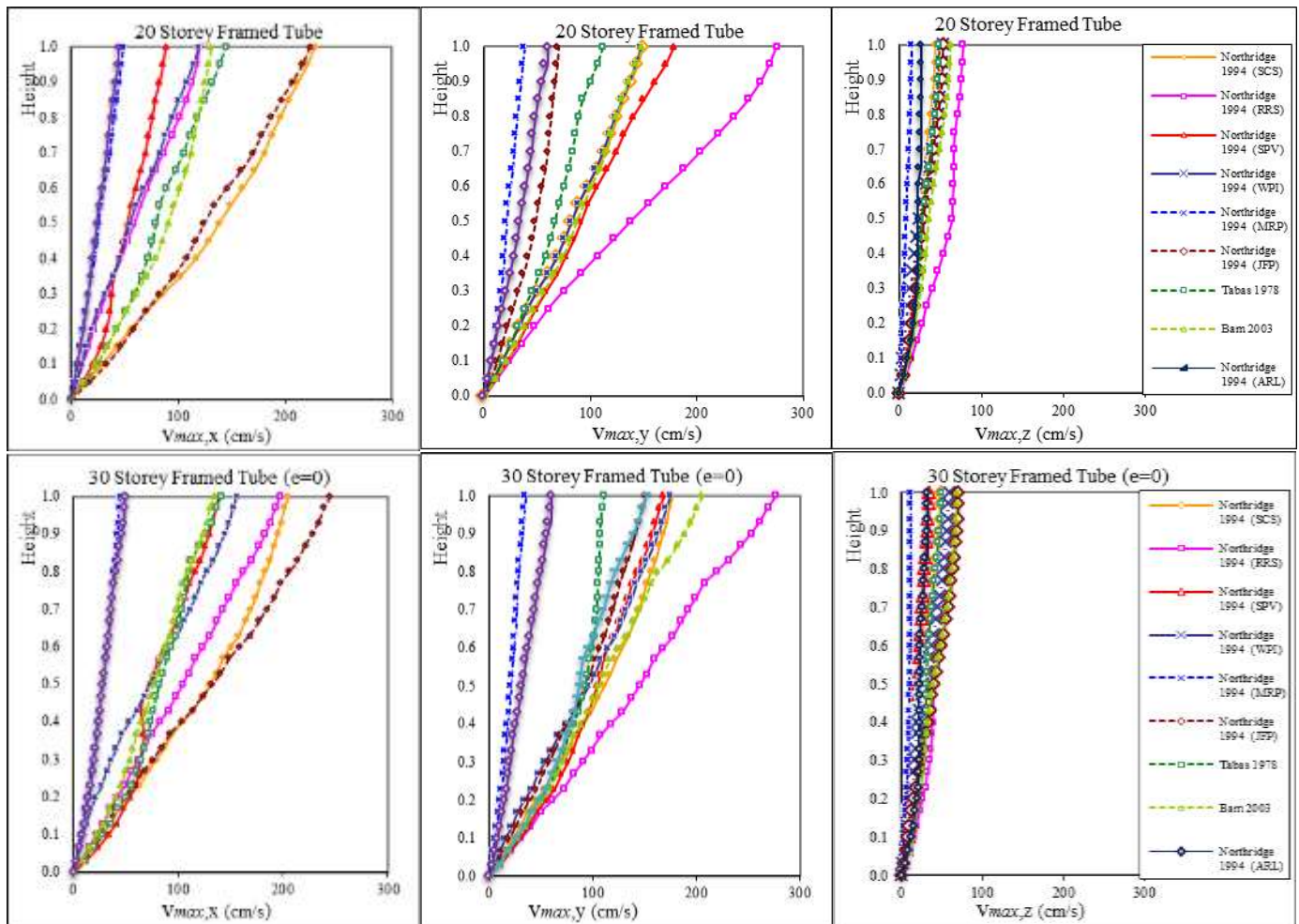


شکل ۳: مقادیر حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات در نقطه A پلان

نمودارهای بیشینه شتاب مطلق و بیشینه سرعت نسبی طبقات در هر سه جهت  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  به ترتیب در شکل های ۴ و ۵ نمایش داده شده است. بر پایه نمودارهای شتاب سه مولفه ای هر دو سازه مطالعاتی، روند تغییرات کاهشی شتاب حداکثر تا ارتفاع ۴. تا ۶. برای جهت  $X$ ،  $Y$  و برای جهت  $Z$  ارتفاعی بین ۲. تا ۴. ملاحظه می شود. سپس یک سیر افزایشی برای هر سه جهت نمود پیدا می نماید. این در حالی است که نمودارهای سرعت دارای سیر صعودی در هر سه جهت می باشند. مقادیر حداکثر پارامترهای پاسخ، متناظر با رکوردهای حوزه نزدیک دارای پالس پرپود بلند مشاهده شده است. همچنین مقادیر نتایج نمودارها برای رکوردهای حوزه نزدیک بدون پالس سرعت و نیز رکورد حوزه دور MPR در بازه عددی کمتری قرار می گیرند که این تفاوت به روشنی در شکل ها مشاهده می گردد. بالا بودن مقادیر شتاب و سرعت طبقات تحت رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک را می توان به مقادیر بالای شتاب پایه ساختمان در محل فونداسیون و همچنین حضور پالس های سرعت در تاریخچه زمانی جنبش های نیرومند نسبت داد. بطور کلی بررسی پاسخ سرعت و شتاب بیشینه در جهت ارتفاع سازه های مطالعاتی، تأثیر مؤلفه قائم زلزله در نواحی نزدیک به گسل و استهلاک سریع این تأثیرات با دور شدن از گسل را مشخص می کند.



شکل ۴: حداکثر شتاب مطلق طبقات در نقطه A پلان



شکل ۵: حداکثر سرعت نسبی طبقات در نقطه A پلان

## ۵- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر عملکرد لرزه‌ای سیستم سازه‌ای قاب محیطی مهاربندی شده بر اساس تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی بررسی شد. تحلیل‌ها با استفاده از مجموعه از رکوردهای نیرومند ثبت شده در حوزه نزدیک گسل با اثرات جهت‌داری و رکورد حوزه دور انجام گردید. دو ساختمان بیست و سی طبقه با آرایش سیستم مهاربندی بزرگ با پلان یکسان و مقاطع براساس آیین نامه ایران طراحی شده است. چگونگی تاثیرگذاری پالس‌های موجود در تاریخیچه زمانی رکوردهای حوزه نزدیک در نمودارهای نمایش دهنده پارامترهای پاسخ سازه‌های مطالعاتی این پژوهش بروشنی مشاهده می‌شود. پارامترهای پاسخ شامل نمودارهای شتاب، سرعت، جابه‌جایی نسبی طبقات است. بر طبق نمودارهای حاصل از تحلیل نتایج، برای رکوردهای حوزه نزدیک بدون پالس سرعت و نیز همراه با اثرات جهت‌داری خشی و رکورد حوزه دور کم‌ترین پاسخ‌ها به دست آمد. این درحالی است که حداکثر پاسخ‌های غیرخطی سازه‌های مطالعاتی برای رکوردهایی حاصل شد که دارای پالس



پردازنده و بلند مدت سرعت در تاریخچه زمانی بودند. با وجود پالس های بزرگ در تاریخچه زمانی سرعت رکوردها، نتایج این پژوهش حاکی از آن است که عملکرد لرزه ای سیستم های قاب محیطی با مهاربندهای بزرگ حتی در نواحی نزدیک گسل ها بسیار مناسب و قابل قبول است.

## مراجع

- [1] Bayan Stafford Smith, Alex Coull ). “*Tall building Structures: Analysis and Design*”;(1991)
- [2] Abrahamson N.A; “*Attenuation of Vertical Peak Ground Acceleration*”; Bull. of the Seismic .Society of America, Vol .79(3) (1989) 549-580
- [3] Stewart. J.P and Chiou. S, Bray, J.D, Somerville, P.G. and Abrahamson, N.A; “*Ground Motion Evaluation procedure for performance based design*”Report2001/09,PEER,Berkeley (2001)
- [4] Elnashi. A.S.et a; “*Significance of sever Distance and Moderate Close Earthquake on Design and Behavior of tall building* “;The Structural Design of Tall and Special Building ,Vol. 15(2006) 391-416
- [5] Kalkan, Erol; Kunnath; Sashi K.; “*Effects of fling step and forward directivity on seismic response of buildings*”; Journal of Earthquake Spectra, Vol22, No 2( 2006) 367-390
- [6] Gillie; Joanna L.; Rodriguez-Marek; Adrian; McDanial; Cole; “*Strength reduction factors for near-fault forward-directivity ground motions*”; Journal of Engineering Structures; Vol 32, No. 1, (2010) 273-285
- [7] Movahed H,Meshkat-Dini.A.,Tehranizadeh. M, “ *Seismic Evaluation of Steel Special Moment Resisting Frames Affected by Pulse Type Ground Motions*”Asian Journal of Civil Engineering ,Vol.15,No.4(2014) 575-585
- [8] Farid Ghahari,A.Reza Khaloo, “*Considering Rupture Directivity Effect, Which Structures should be named long period Building*” Struct.Design Tall Spec .Build; vol 22,NO 2 (2010) 165-178
- [9] 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

[۱۰] براتی؛ فرشاد؛ «مطالعه تاثیر پارامترهای فیزیکی رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک بر رفتار سیستم قاب محیطی مهاربندی شده» پایان نامه کارشناسی ارشد زلزله، دانشگاه خوارزمی (در دست تدوین)

[۱۱] مقررات ملی ساختمان ایران، «مبحث ششم: بارهای وارد بر ساختمان، نشر توسعه ایران»، تهران، ۱۳۸۸

[۱۲] مقررات ملی ساختمان ایران، «مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمان های فولادی»، نشر توسعه ایران، تهران، ۱۳۸۸.

[۱۳] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی (۱۳۸۴).

[۱۴] تهرانی زاده؛ محسن؛ رحیم لباف زاده؛ محمد صالح؛ «پارامترهای موثر پاسخ سازه ها در حرکات افقی حوزه نزدیک منبع لرزه زا»؛ هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران؛ ۱۳۸۵.

[15] FEMA 356, Federal Emergency Management Agency, (1998)