

مطالعه پارامترهای پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های میان مرتبه فولادی با اسکلت قاب لوله‌ای تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک گسل

مسعود اژدری فر^۱، افشین مشکوه‌الدینی^۲
(تاریخ دریافت ۹۳/۱۱/۳۰، تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۶)

چکیده

در این مقاله عملکرد سیستم‌های مقاوم جانبی با ساختار قاب صلب لوله‌ای بر پایه ارزیابی پاسخ دینامیکی غیرخطی سازه‌های فولادی میان مرتبه تحت رکوردهای حوزه نزدیک و حوزه دور از صفحه شکست گسل مورد مطالعه قرار گرفته است. سه مدل مطالعاتی مختلف با اسکلت قاب صلب لوله‌ای انتخاب و بر اساس ضوابط لرزه‌ای موجود در آیین نامه ۲۸۰۰-۳ و نیز مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی) با شکل پذیری متوسط طراحی شده‌اند. همچنین در این پژوهش، معیار اصلی در انتخاب رکوردهای حوزه نزدیک برای انجام تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیر خطی، حضور یک پالس منفرد با پیوند بلند و دامنه بزرگ همراه با ساختارهای چند گانه موجی شکل در تاریخیچه زمانی سرعت زمین بوده است. ارزیابی نتایج تحلیلی این پژوهش با تاکید اساسی بر روی تغییرات دو پارامتر تغییر مکان جانبی و دریافت طبقات که در پروسه طراحی از اهمیت بسزایی برخوردارند، صورت گرفته است. افزون بر آن دیده شد که ماکزیمم ایجاد شده برای پارامتر دریافت بیشتر از ۳/۵ درصد بوده و میزان دوران چشمه اتصال در ترازهای فوقانی سازه‌های مطالعاتی نیز بیشتر از ۵ درصد رادیان بدست آمد. همچنین ملاحظه گردید که ساختار پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی میان مرتبه با اسکلت قاب محیطی خمشی، بطور چشمگیری تحت تاثیر رکوردهای زلزله نیرومند حوزه نزدیک گسل که در تاریخیچه زمانی آنها پالس‌های با پیوند بلند ظاهر می‌شوند، قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی

تحلیل دینامیکی غیر خطی، اسکلت فولادی، قاب محیطی خمشی، حرکات قوی زمین، پالس سرعت

Study on the Seismic Response Parameters of Modular Tube Steel Mid-Rise Buildings under Effects of Near Field Ground Motions

M. Azhdarifar, A. Meshkat-Dini

ABSTRACT

In this research, the performance abilities of tube type lateral load resistant framed systems are studied in order to assess the dynamic response of mid-rise steel structures under effects of far and near-field ground motions. For this purpose, three 10 story structural models with separated framed tube based skeletons were selected and designed. The structural models have been designed according to the Iranian seismic code 2800(3rd edition). The main criterion which was considered to select powerful ground motions for performing nonlinear time history analyses is the existence of energized coherent velocity pulses as well as high amplitude acceleration spikes in the time history of each earthquake record. Assessment of the analytical results should emphasize on the

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران

۲- استادیار دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران، meshkat@khu.ac.ir (نویسنده مسئول)

importance of both lateral displacement and drift parameters which must be taken into account during the design phase. Furthermore, it was concluded that the maximum drift demand is more than 0.035 and the upper level of rotation of rigid connecting zones was obtained more than 5 percentages of a radian. As a general note, it was concluded that the seismic response parameters of mid-rise steel framed tube structures are intensively influenced by those strong earthquake records which contain forward directivity effects and are able to emerge long period pulses in their time histories.

KEYWORDS

Non linear dynamics, Steel skeleton, Framed tube, Strong ground motions, Velocity pulse

۱- مقدمه

مطالعه بر روی مشخصات اصلی جنبش‌های زمین که زلزله نامیده می‌شوند دارای سابقه طولانی است. خسارات حاصله از یک زلزله وابسته به فاکتورهای زیادی از قبیل محتوای فرکانسی، مدت دوام، ماکزیمم دامنه حرکات نیرومند زمین بوده و همچنین بستگی به مشخصات دینامیکی سازه‌ها نیز دارد. ساده‌ترین معیار برای گروه‌بندی رکوردهای زلزله، بر اساس فاصله نسبت به صفحه شکست گسل سنجیده شده و دو دسته عمومی جنبش‌های حوزه نزدیک و حوزه دور از گسل طبقه بندی می‌شوند. مشاهدات و ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی تخریبات سازه‌ای در هنگام وقوع زلزله‌های بزرگ مانند نورتریج ۱۹۹۴ کالیفرنیا، کوبه ۱۹۹۵ ژاپن، چای چای ۱۹۹۹ تایوان و بم ۲۰۰۳ ایران، بیان‌گر تاثیرات بسیار ویران‌گر رکوردهای نیرومند و پرنرژی حوزه نزدیک است.

بطور کلی عملکرد لرزه‌ای مطلوب یک ساختمان، زمانی به وقوع می‌پیوندد که ویژگی‌های رفتار دینامیکی آن در راستای ارتفاع بصورت یکنواخت نمود پیدا نماید. این مفهوم به ویژه برای ارزیابی تغییرات پارامتر دریافت، بسیار حایز اهمیت است. باید اذعان نمود که بر مبنای بررسی آسیب‌های وارده به ساختمان‌های واقع شده در حوزه نزدیک گسل، این مهم قابل مشاهده است که اغلب خسارت‌های سازه‌ای در طبقاتی خاص رخ داده‌اند [۴-۱]. همچنین بایستی به این نکته توجه داشت که کاهش خطر زلزله امری غیر ممکن است و تنها راه حل منطقی، کاهش قابلیت آسیب پذیری در سازه‌ها می‌باشد. بدین لحاظ می‌توان با بررسی ویژگی‌های رفتار سازه‌ها تحت اثر رکوردهای مختلف زلزله‌های بزرگ، یک ساختار اطلاعاتی جامع و گسترده را هم به لحاظ شناخت هرچه بهتر ماهیت

رکوردهای نیرومند ثبت شده در حوزه نزدیک گسل و نیز چگونگی اثرات آن بر روی رفتار سازه‌ها، تدوین نمود. شایان ذکر است که یکی مهمترین موضوعات لرزه شناسی مهندسی و نیز طراحی مهندسی، ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی جنبش‌های نیرومند زمین ثبت شده در حوزه نزدیک گسل‌های فعال و اثرات آن بر عملکرد سازه‌های خاص به ویژه ساختمان‌های میان مرتبه تا بلند است. همچنین انجام مطالعات ساختاری در خصوص درک بهتر حرکات پالس مانند و موج گونه زمین که از مشخصات اصلی جنبش‌های حوزه نزدیک می‌باشد، به لحاظ بررسی رفتار واقعی لرزه‌ای سه بعدی سازه‌ها، از اهمیت بسزایی برخوردار است. پارامتر پررود پالس در این گونه زمین لرزه‌ها نقش مهمی را در ایجاد و گسترش تغییرشکل غیرالاستیک ایفا می‌کند. نزدیکی پررود پالس بزرگ موجود در تاریخچه زمانی رکوردهای حوزه نزدیک به پررود طبیعی اسکلت سازه‌ای، سبب تشدید قابل توجه پارامترهای پاسخ لرزه‌ای ساختمان می‌گردد [۸-۴].

یکی از ساختارهای سازه‌ای کارآمد برای ساختمان‌های میان مرتبه تا بلند، سیستم قاب صلب لوله‌ای است. این ساختار به عنوان سیستم مقاوم جانبی در بسیاری از ساختمان‌های بتنی و فولادی مورد استفاده قرار گرفته است. این سیستم متشکل از چهار قاب صلب صفحه‌ای بوده که در پیرامون پلان سازه قرار گرفته و تشکیل یک ساختار لوله‌ای با نام قاب محیطی خمشی را می‌دهد. ماهیت رفتار این سیستم بسیار پیچیده‌تر از عملکرد یک اسکلت لوله‌ای کامل و توپر است. وجود بازشوهای موجود بین ستون‌ها و شاه‌تیرها، سختی این ساختار لوله‌ای را کاهش داده و بطور مستقیم بر روی کارایی آن تاثیر می‌گذارد. همچنین نسبت منطقی بازشوها نیز متاثر از

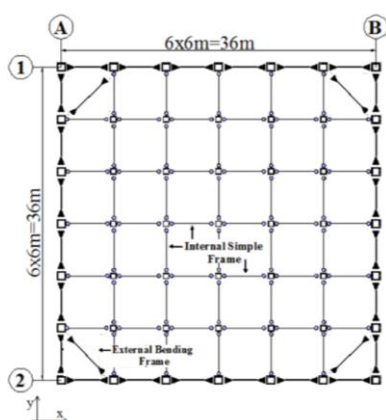


ارتفاع مقطع شاه تیرها و پهنای المان‌های ستون می‌باشد [۹-۱۱].

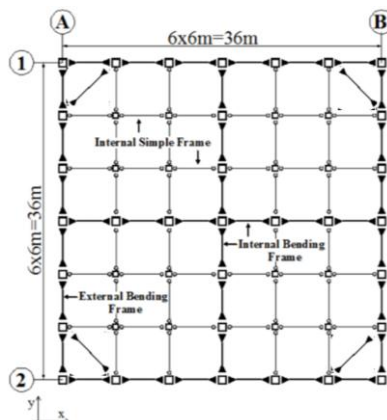
توجه دقیق به موضوعات و مفاهیم طراحی مهندسی سازه‌های قاب محیطی خمشی و همچنین درک درست از چگونگی رفتار دینامیکی المان‌های اصلی سازنده آن که متشکل از شاه تیرهای عمیق و ستون‌های با بعد مقطع بزرگ می‌باشند، در بهینه شدن مشخصات رفتار لرزه‌ای این سازه‌ها تاثیر بسزایی دارد. بر همین اساس بایستی در هندسه پلان سازه، ابعاد دهانه‌ها و نیز چیدمان قاب‌های صلب داخلی در بخش‌های داخلی و پیرامونی پلان سازه‌های قاب محیطی خمشی، دقتی خاص مبذول داشت. چنانچه بتوان با تغییر در آرایش قاب‌های صلب داخلی در سیستم‌های قاب محیطی، مشخصات رفتار لرزه‌ای این سازه‌ها را بهبود بخشیده و نمود اثرات لرزه‌ای را نیز کاهش داد، آنگاه قابلیت کاهش مصرف مصالح همراه با

حفظ ویژگی‌های مطلوب طراحی لرزه‌ای نیز تضمین گردیده است. طراحی و تکمیل دو مدل سازه‌ای مطالعاتی قاب محیطی دسته شده و نیز قاب محیطی کستل در کنار مدل پایه قاب محیطی خمشی، بر همین اساس صورت گرفته است (شکل (۱)). وجود ساختارهای قاب صلب ترکیبی در آرایش داخلی پلان سازه‌های قاب محیطی سبب کاهش قابل ملاحظه ناهماهنگی تنش محوری ستون‌های گوشه‌ای پلان و تنزل اثرات لرزه‌ای می‌گردد [۱۵-۱۲]. مباحث مطالعاتی لرزه‌شناسی و طراحی مهندسی مطرح شده در این پژوهش، به قرار زیر است:

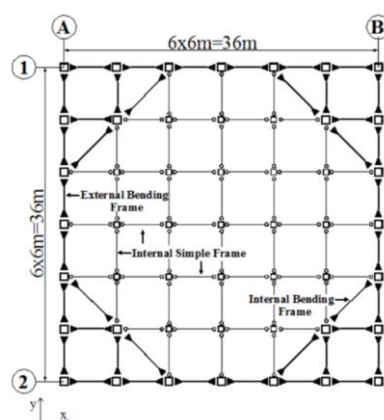
- مطالعه مشخصات زلزله‌های حوزه نزدیک که دارای اثرات جهت‌دار می‌باشند.
- ارزیابی و تحلیل عملکرد لرزه‌ای غیرخطی سه سازه مطالعاتی با اسکلت‌های متفاوت طراحی شده بر پایه مدل قاب محیطی



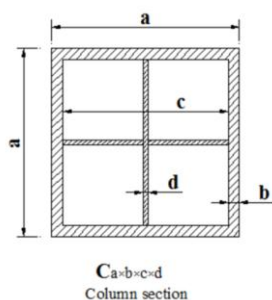
(ج) پلان سازه قاب محیطی منفرد (F.T.)



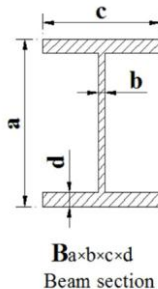
(ب) پلان سازه قاب محیطی دسته شده (B.T.)



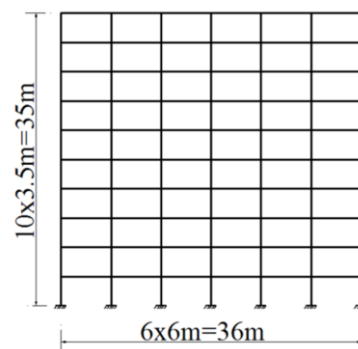
(الف) پلان سازه قاب محیطی کستل (Ca.T.)



(و) مقطع عمومی ستون‌ها



(ه) مقطع عمومی شاه تیرها



(د) نمای سازه‌های ۱۰ طبقه

شکل (۱): مدل سازه‌های مطالعاتی

ساختارهای سازه‌ای مورد مطالعه در این پژوهش مدل قاب منفرد محیطی خمشی، قاب محیطی دسته شده و قاب محیطی کستل با پلان متقارن هندسی می‌باشند. شکل (۱) نمایش‌گر سازه‌های مطالعاتی است. کلیه مدل‌ها بر پایه تعریف قابلیت شکل پذیری متوسط و با استفاده از آیین نامه‌های طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم) و طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی (مبحث دهم) ایران طراحی شده‌اند [۱۶ و ۱۷].

شایان ذکر است که تحقیق بر روی تغییر چیدمان قاب‌های صلب داخلی در سازه‌های ترکیبی قاب محیطی، به جهت دستیابی به آرایش مناسب سیستم مقاوم و نیز ایجاد کاهش در نیازهای سازه‌ای از قبیل دریافت، برش پایه، تنش محوری و مسئله لنگی برش، کمتر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. بر همین اساس در تحقیق حاضر، سعی گردید که بر اساس کنترل پارامترهای مختلف در هر سه مورد بررسی، مطالعه جامع بر روی موارد ذکر شده صورت پذیرد. سطوح عملکردی اعضای سازه‌ای در هر سه مدل مطالعاتی، مورد ارزیابی قرار گرفته و مقادیر حداکثر برش پایه، شتاب، سرعت، تغییرمکان و دریافت، تحلیل عددی شده‌اند [۱۸ و ۱۹].

رکوردهای انتخاب شده شامل دسته ای از جنبش‌های حوزه نزدیک دارای اثرات جهت داری پیشرو و همچنین رکورد حوزه دور السنترو ۱۹۴۰ می‌باشد. معیار اصلی در انتخاب جنبش‌های نیرومند زمین برای انجام تحلیل‌های تاریخیچه زمانی، حضور پالس‌های پر دامنه و بلند مدت سرعت همراه با اسپایک‌های پر انرژی شتاب در تاریخیچه زمانی رکورد ثبت شده در حوزه نزدیک گسل بوده است [۲۰].

۲- روند انجام پژوهش

کاربرد ساختار سازه‌ای قاب محیطی دسته شده در ساختمان‌های میان مرتبه تا بلند، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش نیازهای لرزه ای دارد. مطالعات انجام شده در این پژوهش نیز در همسویی با موضوع یاد شده بوده و سه مدل سازه‌ای هم ساختار، بر پایه استاندارد ۲۸۰۰ ایران

ویرایش سوم و همچنین آیین نامه فولاد ایران طراحی گردیده‌اند. بدین ترتیب سه آرایش متفاوت از کاربرد قاب‌های محیطی برای یک ساختمان فولادی با ۱۰ طبقه انتخاب گردید که جزییات پلان، نما و مقاطع سازه‌ها در شکل (۱) مشهود است.

روند تحلیل‌های سازه‌ای ابتدا با انجام آنالیز مودال و تحلیل استاتیکی خطی صورت گرفته و سپس آنالیزهای تاریخیچه زمانی غیر خطی تحت رکوردهای سه مولفه ای انجام گردید. مجموعه رکوردهای انتخابی نیز شامل انواع ساختارهای موجی شکل در تاریخیچه زمانی شتاب و سرعت زمین می‌باشند.

۳- توصیف سازه مدل‌های مطالعاتی

چنانچه در شکل (۱) مشاهده می‌شود، طول دهانه‌ها ثابت و برابر ۶ متر، ارتفاع طبقات برابر ۳/۵ متر و تعداد دهانه در هر دو جهت x و y، ۶ عدد در نظر گرفته شده است. همچنین فرض بر این است که خاک ساختگاه از تیپ ۲ بوده و منطقه پروژه نیز در پهنه بندی با خطر نسبی زیاد قرار دارد. ضریب رفتار برای سه سازه مطالعاتی شکل (۱) با قابلیت شکل پذیری متوسط، برابر با پنج ($R=7$) لحاظ شده است. دیافراگم سقف با سختی بی نهایت نسبت به عناصر قائم باربر جانبی در نظر گرفته شده است. بارگذاری سازه‌ها نیز بر پایه مبحث ششم مقررات ملی ساختمان صورت گرفته است [۲۱].

پریود سه مود اول ارتعاشی سازه‌ای مطالعاتی در جدول (۱) به نمایش درآمده است.

جدول (۱): پریود سه مود اول ارتعاشی سازه‌های مطالعاتی

سیستم مقاوم باربر جانبی	مود ۱ (انتقالی) (s)	مود ۲ (انتقالی) (s)	مود ۳ (پیچشی) (s)
قاب محیطی خمشی	۲/۲۰	۱/۳۳	۰/۸۳۰
قاب محیطی دسته شده	۱/۸۱	۱/۳۳	۰/۶۹۲
قاب محیطی کستل	۱/۸۰	۱/۱۹	۰/۶۸۷



بر پایه اطلاعات جدول (۱) ملاحظه می‌شود که به دلیل بیشتر بودن پریود مود اول انتقال نسبت به اولین مود پیچشی، سازه‌ها بصورت پیچشی سخت عمل می‌نمایند. این یک ویژگی مطلوب در روند طراحی سازه‌ها است و برای آرایش مودهای انتقالی در هر دو جهت x و y سازه‌های شکل (۱) ملاحظه گردید. همچنین مشخصات و

ملاحظات طراحی نیز شامل کنترل دررفت مجاز، رعایت اصل تیر ضعیف-ستون قوی و بررسی مقاومت چشمه‌های اتصال است که در روند طراحی در نظر گرفته شد. مشخصات مقاطع شاه تیرها و ستون‌ها در مدل‌های مطالعاتی شکل (۱) در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): مقاطع اعضای سازه‌های مطالعاتی شکل (۱)

گروه طبقات	ستون‌های خارجی (قاب‌های مقاوم جانبی)	ستون‌های داخلی (قاب‌های مقاوم جانبی)	تیرها (قاب‌های مقاوم جانبی)
۱ و ۲	C500X30	C500X30X440X25	B500X15X350X25
۳ و ۴	C450X30	C450X30	B500X15X350X25
۵ و ۶	C400X30	C400X30	B450X15X350X25
۷ و ۸	C350X30	C350X30	B450X15X350X20
۹ و ۱۰	C300X20	C300X20	B400X10X250X20

۴- مشخصات کلی زلزله‌های حوزه نزدیک

باید دانست که از جمله مهمترین ویژگی‌های رکوردهای حوزه نزدیک به ویژه هنگامی که دربرگیرنده اثرات جهت دارای پیشرو نیز باشند، پالس‌هایی با پریود بلند و دامنه بزرگ است که در ابتدای تاریخچه زمانی آنها پدیدار می‌گردند. این یک مشخصه مهم در تفاوت گذاری میان این گونه رکوردها با رکوردهای حوزه دور است (شکل (۲-الف و ۲-ب) و شکل (۳-الف و ۳-ب)). همچنین در بسیاری از رکوردهای حوزه نزدیک، دو مولفه شتاب (LN و TR) به نسبت همین دو مولفه در رکوردهای حوزه دور بسیار نیرومندتر می‌باشد. به منظور ارزیابی پاسخ‌های لرزه‌ای مدل‌های مطالعاتی، تمامی رکوردها با در نظرگیری هر سه مولفه LN (مولفه در راستای صفحه شکست گسل)، TR (مولفه عمود بر راستای صفحه شکست گسل) و UP (مولفه قائم رکورد) و بصورت جنبش میدان آزاد زمین به سازه اعمال گردیده است.

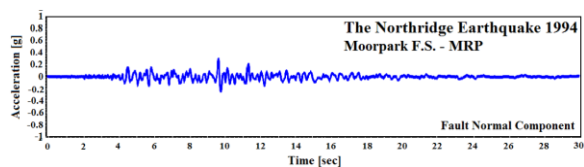
حضور حرکات پالس گونه در تاریخچه زمانی رکوردهای حوزه نزدیک سبب می‌شود که مقدار انرژی ورودی حاصل از این حرکات چندین برابر انرژی ایجاد شده توسط رکوردهای حوزه دور باشد (شکل (۲-ج) و شکل (۳-ج)).

که اعمال انرژی حاصله از رکوردهای حوزه نزدیک در یک بازه زمانی کوتاه به سازه و عدم وجود مدت زمان لازم برای استهلاک آن، سبب گسترش سریع مفاصل غیرخطی در سیستم باربر جانبی سازه و وارد شدن ویژگی‌های رفتاری اعضای سازه به حوزه غیر خطی خواهد شد.

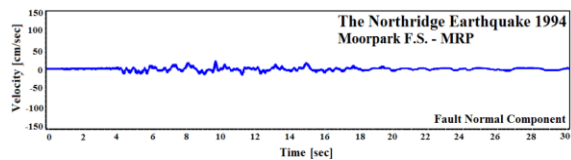
رکوردهای حوزه نزدیک دارای شتاب بالاتر و محتوای فرکانسی‌های پر انرژی در یک باند باریک‌تر نسبت به طیف فوریه جنبش‌های زمین، ثبت شده در حوزه دور از گسل می‌باشند. همچنین در طیف فوریه این رکوردها بجای اینکه ماکزیمم مقادیر طیفی در یک محدوده وسیعی از بازه فرکانسی گسترش یافته باشد (شکل (۲-د))، به یک محدوده کوچک بسامد و یا گاهی چند فرکانس خاص ایجاد می‌گردد (شکل (۲-د))، [۲۲-۱۵].

قرارگیری مودهای ارتعاشی اول و نیز نخستین مود پیچشی سازه در باند فرکانس‌های پرنرزی رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک، موجب تغییرات احتمالی قابل توجه در پارامترهای پاسخ لرزه‌ای می‌شود. مطالعه و بررسی ساختار مکانیزم‌های پلاستیک تشکیل شده در سازه‌های بلند بیانگر آن است که مولفه‌های سرعتی حاصل از طیف فوریه،

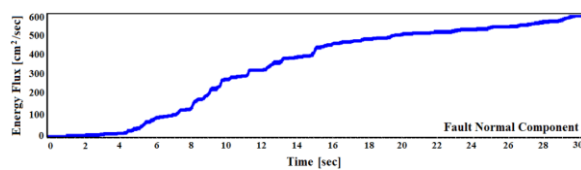




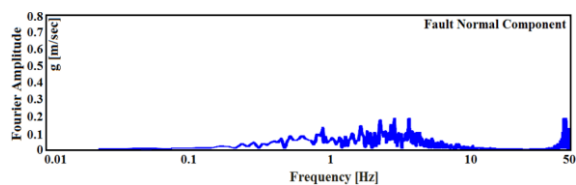
(الف)



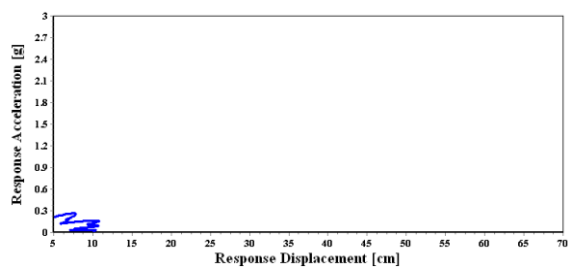
(ب)



(ج)

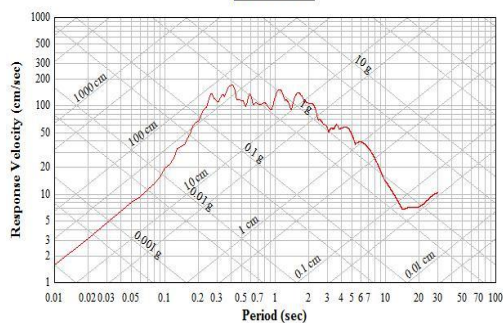


(د)

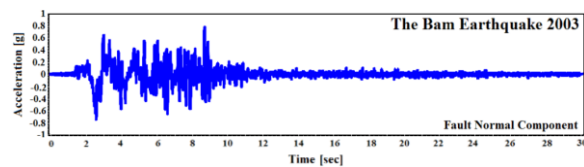


(ه)

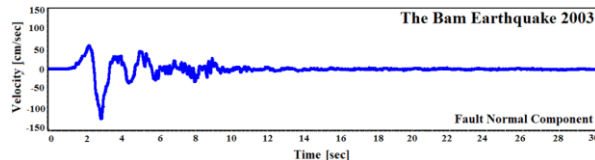
Mrp - TR



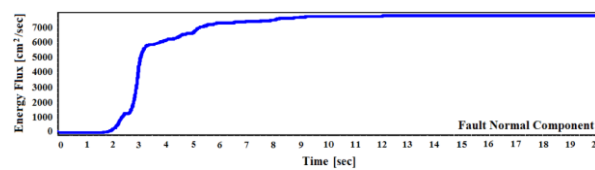
(و)



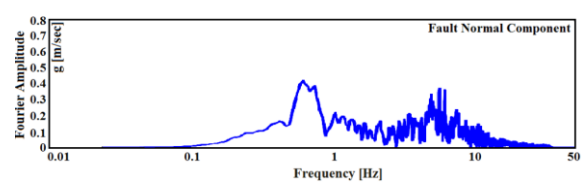
(الف)



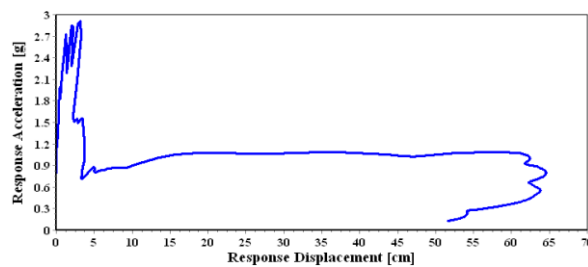
(ب)



(ج)

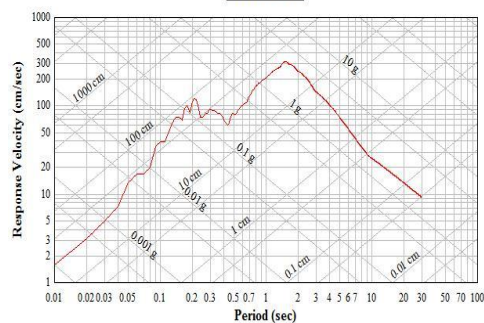


(د)



(ه)

Bam - TR



(و)

شکل (۳): طیف سه جانبه رکورد حوزه دور MPR متناظر با مولفه TR

شکل (۲): طیف سه جانبه رکورد نیرومند بم ۲۰۰۳ متناظر با مولفه TR



متناظر با پیرو مودهای بالاتر نیز دارای مقادیر بزرگ می‌باشد. به این لحاظ در مطالعه رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های میان‌مرتبه تا بلند نیز باید به اثرات نزدیک شدن پیرو مودهای بالاتر، به ویژه پیرو مود پیچشی به پیرو متناظر با مولفه بزرگ سرعتی در طیف فوریه رکورد حوزه نزدیک نیز دقت نمود. بر پایه مطالعات می‌توان استنباط نمود که اگر چه باند پرنرزی رکوردهای SCS و طیس در بازه متناظر با فرکانس‌های پایین واقع شده‌اند، اما ارتفاع سرعتی متناظر با آن برای فرکانس مود اول در رکورد SCS مقدار بالاتری بوده، بنابراین قابلیت ایجاد دامنه بزرگ‌تر برای پارامترهای پاسخ لرزه‌ای، وجود خواهد داشت [۲۲ و ۲۳].

نتایج پژوهش‌های لرزه‌شناسی نشان می‌دهد که برخی از رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک با نسبت‌های بزرگ بیشینه سرعت به شتاب (PGV/PGA) مطابق جدول (۳)، دارای ناحیه کوچک حساس به سرعت و نیز ناحیه بزرگ حساس به شتاب و تغییر مکان در طیف سه جانبه می‌باشند [۲۴].

۵- زمین لرزه‌های مورد استفاده در این تحقیق

یکی از مشخص‌ترین ویژگی‌های که در رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک دیده می‌شود، قابلیت ایجاد پالس‌های پرنرزی کوتاه و بلند مدت در تاریخچه زمانی سرعت زمین است. باید دانست که این ساختارهای موج گونه سرعت نیز بر حسب دوری یا نزدیکی گسل و حوزه مرکز سطحی زلزله به صورت‌های متفاوتی پدیدار خواهد شد. به هرحال وجود پالس‌های پرنرزی و بلند مدت در تاریخچه زمانی هر کدام از مولفه‌های یک رکورد نیرومند حوزه نزدیک می‌تواند پارامترهای پاسخ و مشخصات رفتار سازه‌ها به خصوص سازه‌های میان مرتبه و بلند را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. اهمیت این موضوع با افزایش یافتن مدت دوام حرکات نیرومند در رکورد زلزله دو چندان خواهد شد. شایان ذکر است که در این پژوهش، حرکات زمین جمع آوری شده به جهت تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی حاوی ۸ رکورد حاصل از حرکات زمین ثبت شده در حوزه دور و نزدیک از گسل بوده که رخدادهای مختلف تکنیکی را شامل می‌شود.

زلزله‌های انتخاب شده با جزئیات کامل در جدول شماره یک مشخص شده است.

رکوردهای انتخاب شده از جهت محتوای فرکانسی، مدت دوام حرکات نیرومند زمین و پارامترهای لرزه شناسی، دامنه‌های مختلفی را پوشش می‌دهند که در جدول (۳) نشان داده شده است. تاریخچه زمانی رکوردهای انتخاب شده حاوی اثرات جهت داری پیشرو است. رکوردهای حوزه نزدیک با اثرات جهت داری پیشرو از پایگاه داده‌های حرکات زمین، مرکز تحقیقات مهندسی زلزله کالیفرنیا (دانشگاه برکلی) تهیه شده است. زمین لرزه‌های انتخاب شده در این پژوهش شامل هفت رکورد نیرومند حوزه نزدیک بوده که دارای اثرات جهت داری و پالس‌های پر دامنه و پیرو بلند می‌باشند. رکوردهای سه مولفه‌ای Jensen Filter (JFP)، Rinaldi (RRS)، Sylmar (SCS) و Newhall W.Pico (WPI) از زلزله نورتریج ۱۹۹۴ و همچنین شوک اصلی زمین در هنگام زلزله‌های بم ۲۰۰۳ و طیس ۱۹۷۸ در ایران، انتخاب شده‌اند. همچنین رکورد سه مولفه‌ای حوزه دور و نه چندان نیرومند Moor-park (MRP) از زلزله نورتریج نیز به عنوان یک جنبش ضعیف زمین در نظر گرفته شده است. در این تحقیق پارامترهای پاسخ لرزه‌ای در جهت x پلان مدل‌های مطالعاتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. از آنجا که رکوردهای طبیعی بهترین نمایش از بارگذاری لرزه‌ای در ارزیابی و طراحی سازه می‌باشد، تمامی رکوردها به صورت طبیعی بدون مقیاس و سه مولفه‌ای به مدل‌های سازه مطالعاتی اعمال گردیده است. این امر به ویژه درباره شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده در حوزه نزدیک گسل حائر اهمیت می‌باشد. این شتاب‌نگاشت‌ها در فواصل نزدیک به صفحه شکست زمین ثبت شده و بیانگر رفتار واقعی زمین در لحظه شکست گسل می‌باشند. همچنین در روند مدل‌سازی تمامی سازه‌های مطالعاتی برای توصیف رفتار غیرخطی المان‌های تیر و ستون، به ترتیب از مفصل M3 (خمشی) و نیز مفاصل غیر خطی P-M2-M3 (اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی) بر اساس ضوابط FEMA 356 استفاده شده است [۲۵]. ساختار تحلیلی رفتار

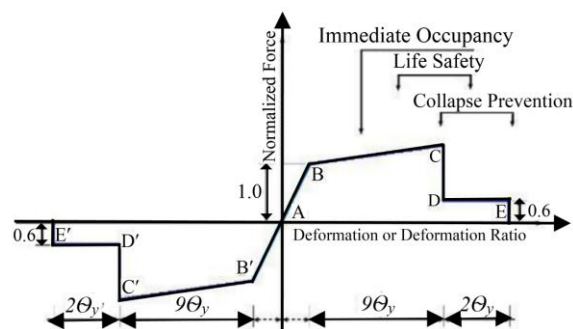
غیر خطی مفاسل فوق در شکل (۴) و جدول (۴) عنوان گردیده‌اند.

جدول (۳): مشخصات زمین لرزه‌های مورد استفاده در این تحقیق

PGD/PGA (s)	PGV/PGA (s)	اندازه M _w	PGD (cm)	PGV (cm/s)	PGA (g)	مدت زمان (s)	مؤلفه	حرکت زمین
۰/۴۰	۰/۱۲	۷/۴	۳۹/۹	۹۷/۷	۰/۸۳۶	۳۰/۰۰	LN	طبس ۱۹۷۸ شهر طبس-۳ km
۰/۷۸	۰/۱۴		۹۴/۵	۱۲۱/۳	۰/۸۵۱		TR	
۰/۳۷	۰/۰۶		۱۷/۰	۴۵/۵	۰/۶۸۸		UP	
۰/۳۴	۰/۰۹	۶/۶	۲۰/۷	۵۹/۶	۰/۶۳۵	۳۰/۰۰	LN	بم ۲۰۰۳ شهر بم-۱ km
۰/۳۰	۰/۱۶		۳۷/۴	۱۲۳/۷	۰/۷۹۳		TR	
۰/۲۶	۰/۰۳		۱۰/۱۱	۳۷/۶۶	۰/۹۹۹		UP	
۰/۴۴	۰/۱۱	۶/۷	۴۵/۲۸	۱۰۲/۲۳	۰/۸۹۷	۳۰/۰۰	LN	نورتریج ۱۹۹۴ ۶/۴ km-SCS
۰/۴۶	۰/۱۹		۵۴/۱۶	۱۱۷/۴۷	۰/۶۱۲		TR	
۰/۷۴	۰/۰۶		۲۵/۶۳	۳۴/۵۹	۰/۵۸۶		UP	
۰/۲۳	۰/۲۱	۶/۷	۱۶/۱	۶۷/۴	۰/۳۲۵	۳۰/۰۰	LN	نورتریج ۱۹۹۴ ۷/۱ km-WPI
۰/۶۱	۰/۲۰		۵۶/۶	۹۲/۸	۰/۴۵۵		TR	
۰/۳۵	۰/۱۳		۱۳/۳	۳۷/۲	۰/۲۹۰		UP	
۰/۲۴	۰/۱۶	۶/۷	۲۳/۹۶	۹۹/۱۰	۰/۵۹۳	۳۰/۰۰	LN	نورتریج ۱۹۹۴ ۶/۱ km-JFP
۰/۴۷	۰/۲۵		۵۰/۶۹	۱۰۵/۹۵	۰/۴۲۴		TR	
۰/۲۶	۰/۰۸		۸/۸۹	۳۳/۹۱	۰/۳۹۹		UP	
۰/۲۷	۰/۱۵	۶/۷	۱۹/۸۲	۷۲/۷۲	۰/۴۷۲	۳۰/۰۰	LN	نورتریج ۱۹۹۴ ۷/۱ km-RRS
۰/۱۷	۰/۱۹		۲۹/۷۹	۱۶۶/۸۷	۰/۸۳۸		TR	
۰/۲۲	۰/۰۶		۱۱/۷۱	۵۱/۰۱	۰/۸۵۲		UP	
۰/۳۸	۰/۰۷	۶/۴	۲۹/۲۱	۲۶/۷۷	۰/۹۹	۳۰/۰۰	LN	نورتریج ۱۹۹۴ ۷/۱ km-TAR
۰/۳۳	۰/۰۶		۳۶/۵۶	۱۰۹/۶۷	۱/۷۷		TR	
۰/۲۷	۰/۰۷		۲۰/۵۲	۷۳/۶۹	۱/۰۴		UP	
۰/۷۹	۰/۱۴	۷/۰	۲۳/۹۱	۳۰/۲	۰/۲۱۵	۳۰/۰۰	LN	السترو ۱۹۴۰ ۸/۳ km-ELC
۰/۴۵	۰/۱۰		۱۳/۳۲	۲۹/۸	۰/۳۱۳		TR	
۰/۸۵	۰/۰۵		۹/۱۶	۱۰/۷	۰/۲۰۵		UP	

جدول (۴): معیارهای پذیرش المان های تیر-ستون

معیارهای پذیرش	زاویه چرخش خمیری
IO-عملکرد بی وقفه	$1 \theta_y$
LS-عملکرد ایمنی جانی	$9 \theta_y$
CP-عملکرد جلوگیری از فروریزش	$11 \theta_y$

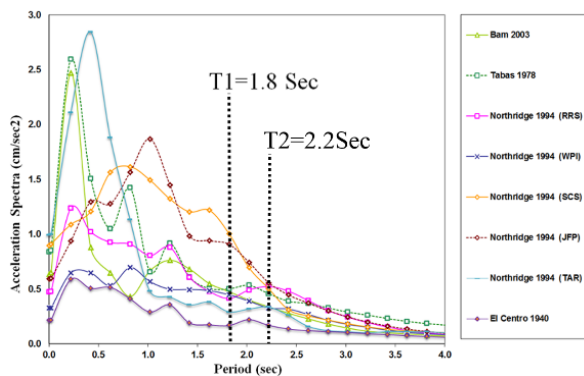


شکل (۴): مدل رفتار غیر خطی المان های تیر-ستون



۶- ارزیابی نتایج حاصله از پژوهش

با استفاده از زلزله‌های انتخابی، یک مجموعه تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی برای کلیه مدل‌ها انجام گرفت. تحلیل دینامیکی تاریخیچه زمانی غیر خطی با استفاده از انتگرال گیری عددی شتابنگاشت زلزله‌های انتخابی و به روش شتاب میانگین (نیومارک $\beta=1/4$ و $\gamma=1/2$) انجام شده است. بر اساس تحلیل مدل‌های مطالعاتی تحت رکوردهای اشاره شده در بخش‌های قبلی و ثبت نتایج، نمودارهای مربوط به مقادیر بیشینه پاسخ‌های بدست آمده به ترتیب شامل برش پایه نسبی (نسبتی از برش پایه لرزه‌ای)، شتاب، سرعت و جابه‌جایی ماکزیمم تمامی طبقات و جابه‌جایی نسبی هر طبقه (دریفت) می‌شود. در نمودارهای مربوط به شتاب، سرعت، تغییرمکان و دریفت ماکزیمم، ستون عمودی مربوط به شماره طبقه و ستون افقی به ترتیب مربوط به بیشینه شتاب، سرعت، تغییرمکان و دریفت لرزه‌ای طبقات می‌باشد. طیف پاسخ شتاب برای رکوردهای انتخابی در شکل (۵) نشان داده



شکل (۵): طیف پاسخ شتاب رکوردهای جدول (۳)



شکل (۶): ماکزیمم برش پایه لرزه‌ای نسبی

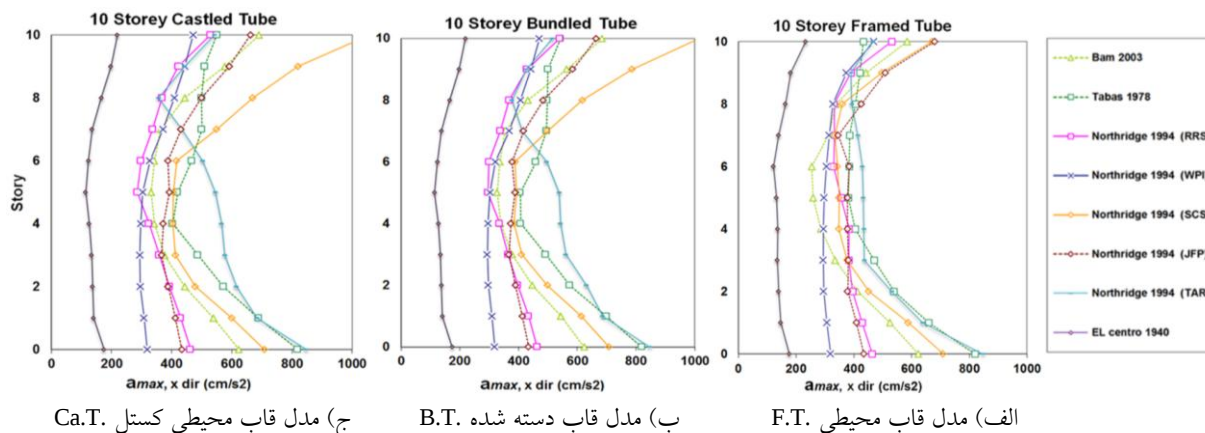
یکی از پارامترهای مهم و قابل اندازه‌گیری جهت ارزیابی سازه، حداکثر جابجایی نسبی طبقات می‌باشد. همچنین در تمامی آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مقداری مجاز برای آن در نظر گرفته شده است. پوش ماکزیمم جابه‌جایی و دریفت بدست آمده از تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیر خطی برای دو دسته رکورد اشاره شده، در شکل (۹) و (۱۰) نشان داده شده است. نتایج تحلیلی و خروجی‌های نشان داده شده مربوط به رکوردهای زلزله حوزه نزدیک دارای پالس،

منحنی‌های پوش بیشینه شتاب و سرعت طبقات مربوط به سه آرایش مختلف قاب محیطی برای تمامی در شکل (۷) و (۸) ارائه شده است. رکوردهای زلزله‌ای که قادر به نمایش ویژگی‌های موج گونه در تاریخیچه زمانی آنها هستند، مخصوصاً در شکل پالس‌های سرعت با دامنه‌های بلند، توزیع شتاب و سرعت در تراز طبقات برای این رکوردها مقادیر بزرگتر از نتایج حاصله از رکوردهای حوزه دور را در بر دارند.

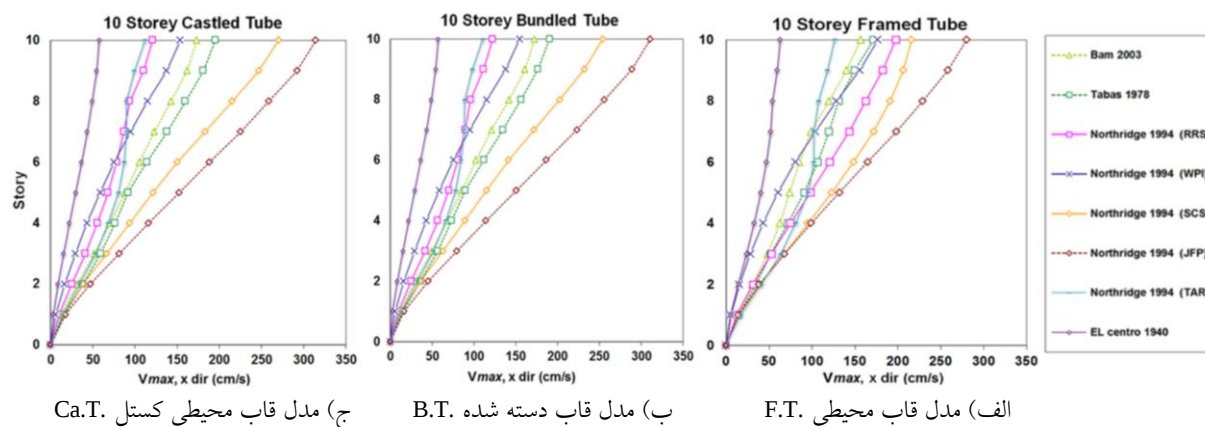


ساختمان‌های ۱۰ طبقه، جنبش‌های دور از گسل به نسبت دریافت یکنواختی را در ارتفاع سازه ایجاد می‌کند.

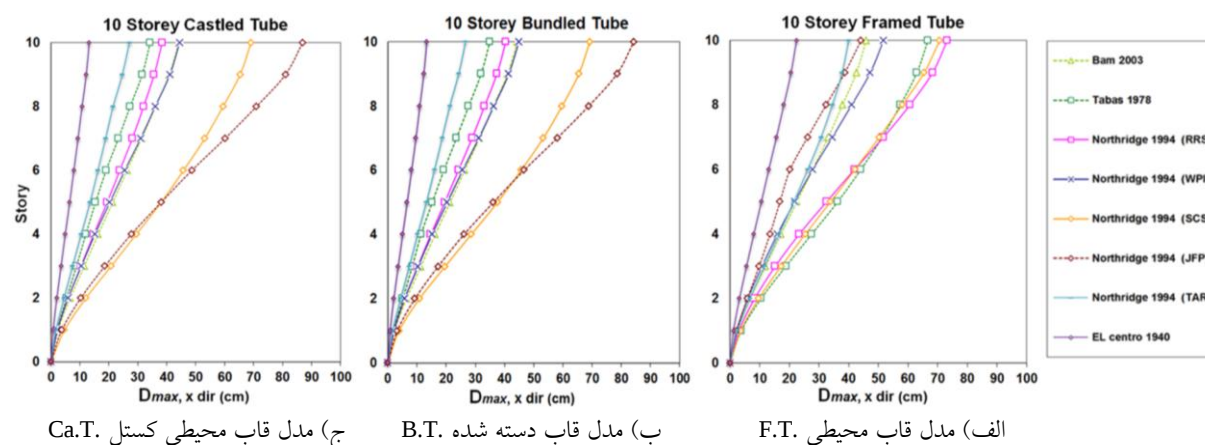
افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقادیر جابه‌جایی و دریافت را نشان می‌دهد. مقادیر دریافت با حدود مجاز آیین نامه (۰/۰۲) مقایسه شده است. ملاحظه می‌گردد که در تمامی



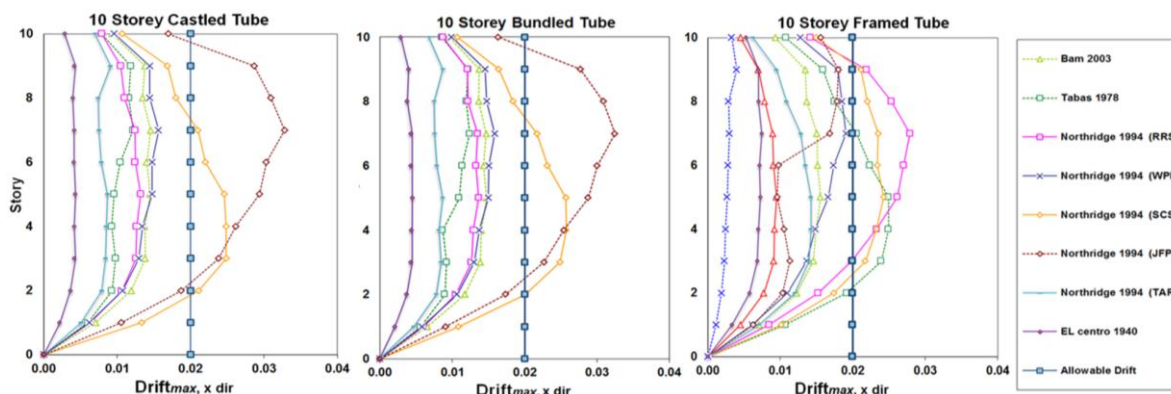
شکل (۷): پوش ماکزیمم شتاب مطلق طبقات



شکل (۸): پوش ماکزیمم سرعت نسبی طبقات



شکل (۹): پوش ماکزیمم جابه‌جایی طبقات



الف) مدل قاب محیطی F.T. ب) مدل قاب دسته شده B.T. ج) مدل قاب محیطی کستل Ca.T.

شکل (۱۰): پوش ماکزیمم دریفت طبقات

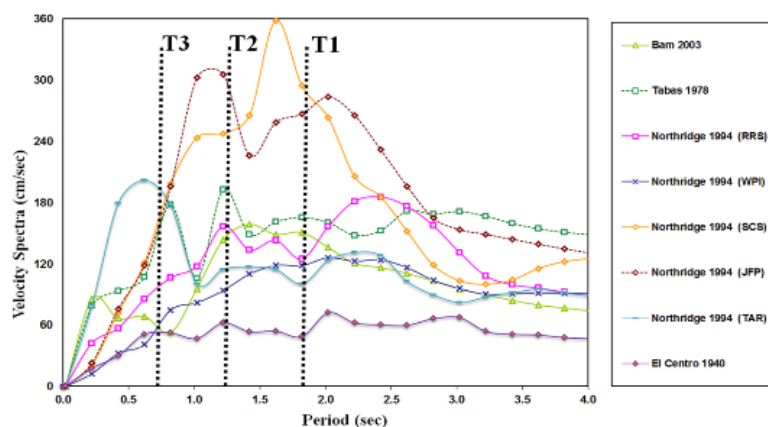
ارتفاعات بیشتر طیف سرعت متناظر با رکورد JFP، نیازها در بخش فوقانی سازه متمرکز شده است که این موضوع با نمایش مکانیزم تشکیل مفاصل پلاستیک بر روی نمای سازه تحت اثر دو رکورد JFP و طیس به روشنی مشاهده می گردد. مطابق شکل‌های (۱۳) و (۱۴) در تمامی قاب‌های خمشی مقاوم مدل‌های مطالعاتی تحت اثر زلزله‌های ثبت شده در حوزه نزدیک گسل دارای پالس سرعت، مکانیزم تشکیل مفاصل در سطوح مختلف عملکردی مشاهده می‌شود. این مفاصل در تعداد زیادی اعضا تشکیل شده اند. در حالیکه تحت اثر زلزله حوزه دور، تشکیل مفاصل در هیچ یک از اعضای هر سه مدل سازه‌ای مشاهده نگردید. همچنین بر اساس مقایسه نمودارهای مربوط به تغییرات و توزیع نیروهای محوری، برش و لنگر ستون‌ها در هر سه آرایش سازه‌ای مطالعاتی، ملاحظه می‌گردد که دو مدل B.T. و Ca.T. مشابهت رفتاری زیادی با یکدیگر دارند (شکل‌های (۱۵) تا (۱۷)). افزون بر آن با مقایسه مکانیزم‌های غیرخطی تشکیل شده در این سازه‌ها تحت دو رکورد JFP و طیس، مشاهده می‌شود که توزیع مفاصل پلاستیک در سازه Ca.T. در شکل یکنواخت‌تری به نمایش در آمده است. ملاحظه می‌شود که مدل Ca.T. از راندمان سازه‌ای و توزیع مناسب‌تر تنش‌ها برخوردار است. همچنین این سازه به نسبت سازه B.T. از تعداد قاب‌های صلب داخلی کمتری برخوردار بوده و رفتار مطلوب‌تری را به نمایش می‌گذارد. می‌توان از نتایج مشخص این پژوهش به کاهش لنگی برش

ماکزیمم نیازها در دو سازه قاب محیطی کستل و قاب محیطی دسته شده توسط رکورد JFP ایجاد شده که دریفت حدود ۳/۵ درصد را در ۲/۳ ارتفاعی از پایه این سازه‌ها بوجود می‌آورد و ماکزیمم دریفت در سازه قاب محیطی منفرد توسط رکورد RRS حدود ۳ درصد می‌باشد. به جهت تبیین روشن‌تر چگونگی تغییرات در پارامترهای پاسخ لرزهای سازه، طیف پاسخ سرعت تمامی رکوردها برای مولفه LN ترسیم و بصورت جداگانه، پریود سه مود اول سازه‌های B.T. و Ca.T. در شکل (۱۱) و نیز پریود سه مود اول سازه F.T. در شکل (۱۲) بصورت خط چین بر روی طیف پاسخ سرعت نمایش داده شده‌اند.

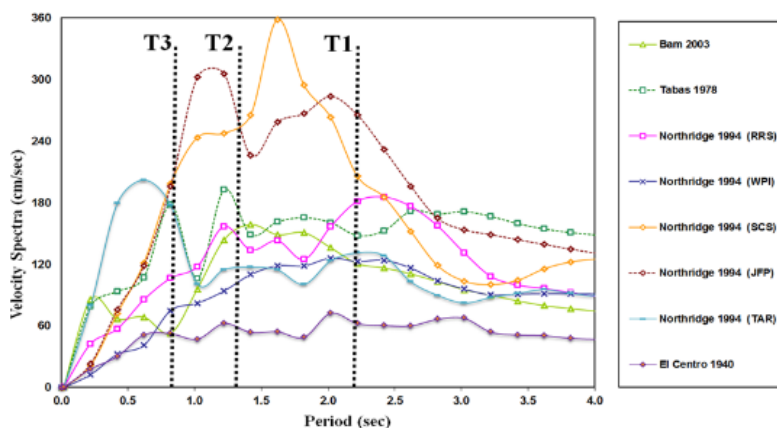
ملاحظه می‌شود که ماکزیمم نیازها در طبقات فوقانی سازه متمرکز شده است. به منظور بررسی شرکت مودهای نوسانی بالاتر، ضروری است که به بررسی طیف پاسخ سرعت حرکات زمین پرداخته شود. با توجه به قرار گیری مود اول نوسانی سازه‌های Ca.T. و B.T. در بخشی با ارتفاعات بزرگتر از طیف پاسخ سرعت رکوردهای طیس و SCS (شکل (۱۱))، ملاحظه می‌گردد که ماکزیمم نیاز دریفت در ترازهای تحتانی و میانی سازه متمرکز شده است. این در حالیست که برای سازه F.T. این پارامتر نیاز در ترازهای میانی و فوقانی سازه به ماکزیمم مقدار خود رسیده که این موضوع به اثر مودهای بالاتر در ارزیابی لرزهای سازه F.T. مطابق آنچه در شکل (۱۲) مشخص است را نشان می‌دهد. همچنین بر اساس قرارگیری پریود مود دوم نوسانی مربوط به هر سه مدل در ناحیه با

می‌کند، (شکل ۱۵)). افزون بر موضوع فوق، مشاهده می‌گردد که سازه B.T. در خصوص چگونگی توزیع نیروهای برشی و لنگرهای خمشی در المان‌های ستون محیطی، رفتار مناسب‌تری از خود به نمایش می‌گذارد (شکل ۱۶) و (۱۷)).

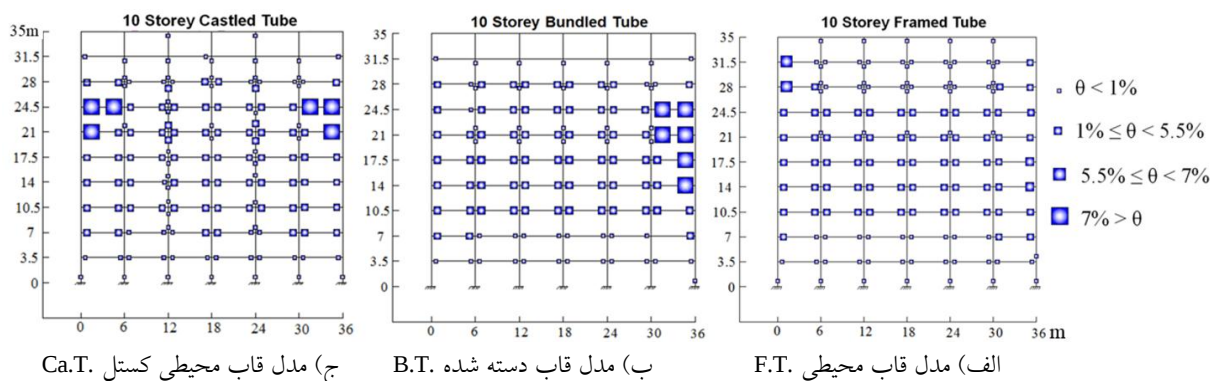
در ستون‌ها به واسطه استفاده از آرایش Ca.T. در ساختار داخلی اسکلت قاب محیطی خمشی اشاره نمود. بطور متوسط ملاحظه می‌شود که سازه Ca.T. به نسبت دو سازه B.T. و F.T. به ترتیب کاهش حدود ۴۰٪ و ۲۵٪ در تمرکز نیروهای محوری در ستون‌های گوشه را تجربه



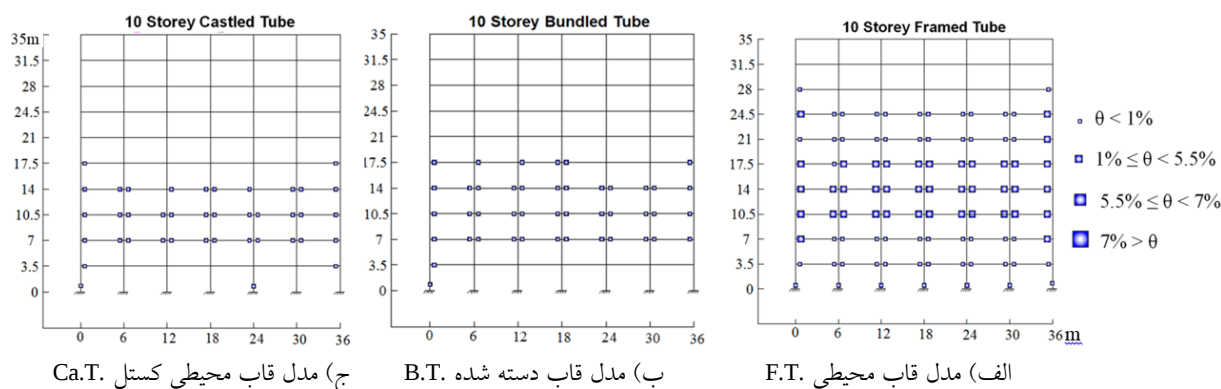
شکل (۱۱): طیف پاسخ سرعت رکوردهای جدول (۳) و آرایش پریود سه مود اول ارتعاشی سازه‌های B.T. و Ca.T.



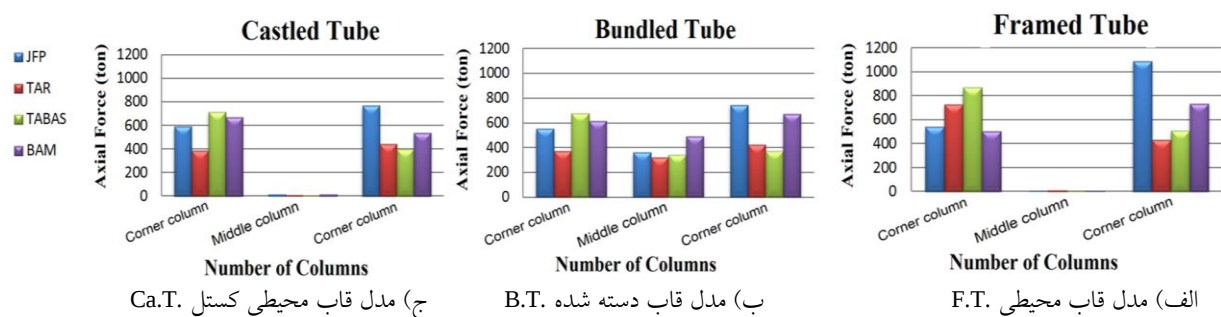
شکل (۱۲): طیف پاسخ سرعت رکوردهای جدول (۳) و آرایش پریود سه مود اول ارتعاشی سازه F.T.



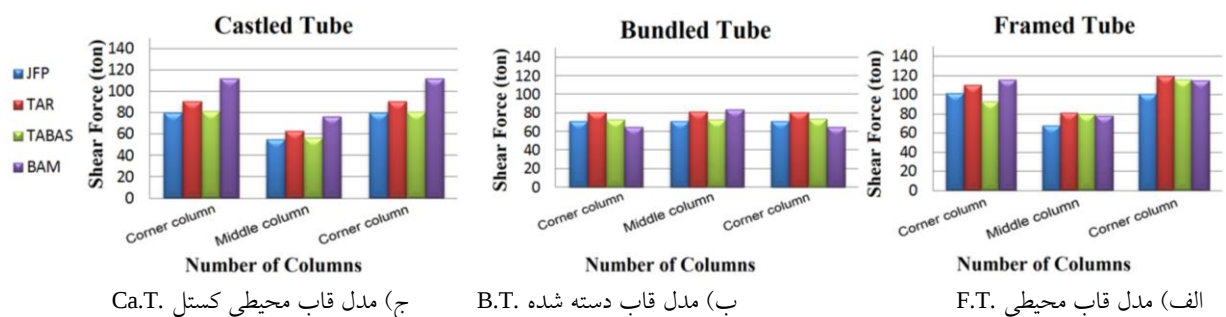
شکل (۱۳): ماکزیمم دوران تیرها و ستون‌ها تحت رکورد JFP در قاب شماره یک



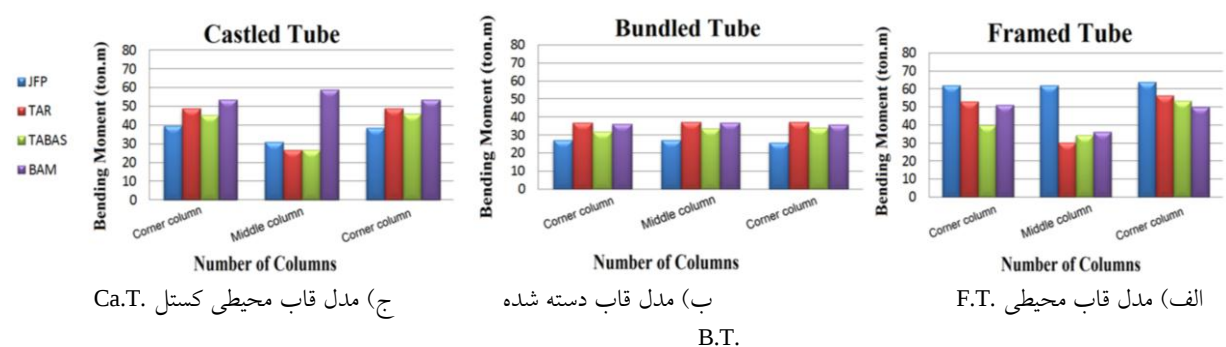
شکل (۱۴): ماکزیمم دوران تیرها و ستون‌ها تحت رکورد طیس در قاب شماره یک



شکل (۱۵): توزیع نیروهای محوری ماکزیمم در ستون‌های گوشه و ستون وسط قاب صلب شماره ۲



شکل (۱۶): توزیع نیروهای برشی در ستون‌های گوشه و ستون وسط



شکل (۱۷): توزیع لنگرهای خمشی در ستون‌های گوشه و ستون وسط

لنگی برش
Castled framed tube
قاب محیطی کستل

۵- مراجع

- [1] Hall, J.F. (1995), "Parameter Study of the Response of Moment-Resisting Steel Frame Buildings to Near-Source Ground Motions", Report No. EERL 95-08.
- [2] Naeim, F. (2001), "The Seismic Design Handbook", 2th edition, Kluwer Academic Publisher.
- [3] Chen, W.F. (2003), "Earthquake Engineering Hand Book", CRC Press LLC.
- [4] Akkar, S., Yazgan, U. and Gulkan, P. (2005), "Drift Estimates in Frame Buildings Subjected to Near-Fault Ground Motions", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 131, pp. 1014-1024.
- [5] Akkar, S., Yazgan, U. and Gulkan, P. (2004), "Deformation Limits for Simple Non-Degrading Systems Subjected to Near-Fault Ground Motions", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Canada.
- [6] Kalkan, E. and Kunnath, S.K. (2006), "Effect of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings", Journal of Earthquake Spectra, Vol. 22, pp. 367-390.
- [7] Aksoylar1, N.D., Elnashi, A.S.F. and Mahmoud, H. (2012), "Seismic Performance of Semi-Rigid Moment-Resisting Frames under Far and Near Field Records", Vol. 138, pp. 157-169.
- [8] Mavroedis, G.P. and Papageorgiu, A.S. (2002), "Near-Source Strong Motion: Characteristics and Design Issues", 7th National Conference on Earthquake Engineering, Boston, Massachusetts, paper 418.
- [9] Smith, B.S. and Coull, A. (1991), "Tall Building Structures: Analysis and Design", Publisher: Wiley-Inter Science.
- [10] Ali, M.M. and Moon, K.S. (2007), "Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects", Architectural Science Review, Vol. 50, pp. 205-223.
- [11] Gunel, M. and Ilgin, M.H. (2007), "A Proposal for the Classification of Structural Systems of Tall Buildings", Building and Environment, Vol. 42, pp. 2667-2675.
- [12] Azhdarifar, M., Meshkat-Dini, A. and Sarvghad Moghadam, A. (2015), "Evaluation of Seismic Response of Tall Buildings with Framed Tube Skeletons in High Seismic Areas", 7th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, Iran.
- [13] Movahed, H., Meshkat-Dini, A. and Tehranizadeh, M. (2014), "Seismic Evaluation of Steel Special Moment Resisting Frames Affected by Pulse Type Ground Motions", Asian Journal of Civil Engineering (BHRC), Vol. 15, pp. 575-585.

هدف اصلی این پژوهش، مطالعه بر روی مشخصات مهم فیزیکی جنبش‌های نیرومند زمین در نزدیک گسل و اثرات آن بر روی پاسخ لرزه‌ای سیستم‌های قاب محیطی خمشی با آرایش‌های مختلف می‌باشد. در این مقاله عملکرد لرزه‌ای سه مدل ساختمان فولادی میان مرتبه ۱۰ طبقه با اسکلت قاب محیطی تحت هشت رکورد حوزه نزدیک دارای پالس سرعت و نیز یک رکورد حوزه دور فاقد اثرات جهت داری، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج تحلیل‌ها حاکی از آن است که حضور پالس‌های سرعت بلند (همانند رکوردهای حوزه نزدیک زلزله نورتریج ۱۹۹۴) می‌تواند سبب ایجاد تقاضاهای غیر الاستیک شدید در ساختمان‌های فولادی میان مرتبه و عدم تامین حدود عملکردی مد نظر می‌گردد.

همچنین مشارکت مودهای نوسانی بالاتر می‌تواند سبب افزایش دامنه پارامترهای پاسخ لرزه‌ای و به ویژه جابه‌جایی ماکزیمم و دریافت از حوزه طبقات تحتانی به طبقات میانی و فوقانی سازه گردد. هر سه مدل مطالعاتی با رعایت معیار شکل پذیری متوسط طراحی شده و مجموعه تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی تحت اثر زمین لرزه‌های حوزه نزدیک و دور انجام شده است. روند تغییرات ماکزیمم برش پایه، شتاب، سرعت، جابه‌جایی، دریافت و همچنین تشکیل مکانیزم پلاستیک مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

شایان ذکر است که وجود یک پیکربندی مناسب آرایش قاب‌های صلب داخلی در پلان قاب‌های محیطی، سبب ایجاد یک توزیع مطلوب از نیروهای محوری، برشی و لنگر خمشی در ستون‌های محیطی اسکلت مقاوم می‌گردد. همچنین به میزان قابل ملاحظه‌ای، در حدود ۲۵ درصد مقادیر لنگی برشی را در دو مدل قاب محیطی کستل و قاب محیطی دسته شده نسبت به مدل قاب محیطی خمشی منفرد کاهش داده است.



[14] Movahed, H., Meshkat-Dini, A. and Tehranizadeh, M. (2012), "Dynamic Behavior of Dual Systems in Tall Buildings under Influencing Wavelike Strong Ground Motions", 15th Word Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 3889, Lisbon, Portugal.

[15] Afsary, M., Keyvani Ghamsari, J. and Meshkat-Dini, A. (2014), "Assessment of Nonlinear Dynamic Response of Steel Tall Buildings with Bundled Tube Structural System Subjected to Ground Motions Caused by Strike Slip Faults", 4th National Conference on Steel & Structure, Tehran, Iran.

[16] Standard No. 2800-3 (2005), "Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings", 3rd edition, Tehran, Iran.

[۱۷] وزارت مسکن و شهرسازی (۱۳۹۲). دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم، سازه‌های فولادی.

[18] CSI (2010). Analysis Reference Manual for Sap2000. Berkeley-California, USA.

[19] CSI (2007). PERFORM3D-Structural Analysis Software, Berkeley-California, USA.

[20] PEER Ground Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/>.

[۲۱] وزارت مسکن و شهرسازی (۱۳۹۲). دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان.

[22] Mukhopadhyay, S. and Gupta, V.K. (2013), "Directivity Pulses in Near-Fault Ground Motions-I: Identification, Extraction and Modeling", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 50, pp. 1-15.

[23] Mukhopadhyay, S. and Gupta, V.K. (2013), "Directivity Pulses in Near-Fault Ground Motions-II: Identification, Extraction and Modeling", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 50, pp. 38-52.

[24] Garcia, J.R. (2012), "Mainshock-Aftershock Ground Motion Features and their Influence in Building's Seismic Response", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 16, pp. 719-737.

[25] FEMA 356. (1998). Federal Emergency Management.

