



تأثیر تراز کمر بند سخت کننده بر عملکرد ساختمان های بلند فولادی تحت زلزله های نزدیک گسل

مهرداد عبدی مقدم، افشین مشکوه الدینی*

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۴ خرداد ۱۳۹۴
بازنگری: ۲۲ تیر ۱۳۹۵
پذیرش: ۱۰ آبان ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۱۷ بهمن ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:

ساختمان بلند مرتبه
اسکلت فولادی
قاب محیطی مهاربندی
کمر بند سخت کننده
طیف پاسخ سرعت

چکیده: در این پژوهش با استفاده از روش تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی، تحت یک گروه هفت گانه از رکوردهای سه مولفه‌ای حوزه نزدیک و یک رکورد حوزه دور، پارامترهای پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های بلند با سازه مقاوم ترکیبی قاب محیطی مهاربندی شده و کمر بند سخت کننده بررسی شده است. یک مدل سه بعدی با ساختار قاب محیطی مهاربندی شده، همراه با سه مدل دیگر که دارای آرایش‌های گوناگونی از قرارگیری کمر بند سخت کننده در ارتفاع سازه هستند، بر اساس ضوابط لرزه‌ای موجود در ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰ و نیز مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی) طراحی و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. بر پایه تحلیل رفتار دینامیکی واقعی سازه، رکوردها در حالت میدان آزاد اعمال شده‌اند. از آنجایی که پاسخ دینامیکی سازه‌ها رکورد به رکورد با یکدیگر متفاوت است، برای توجیه چگونگی رفتار مدل‌های مطالعاتی، طیف پاسخ سرعت متناظر با هر رکورد رسم شده است. هم‌چنین به منظور تبیین اثرات مدهای بالاتر نیز طیف‌های پاسخ سرعت، در محدوده طیفی متناظر با پرید سازه‌های مطالعاتی بررسی شده است. ارزیابی نتایج این پژوهش حاکی از آن است که وجود کمر بند سخت کننده سبب افزایش قابل توجه سختی سازه و کاهش دررفت و لنگر پای سازه می‌شود. هم‌چنین بیشترین تقاضای دررفت برای مدل بدون کمر بند سخت کننده و مدل با کمر بند سخت کننده میانی، در حدود $0/83$ تا $0/9$ تراز نرمال شده و برای مدل‌هایی که کمر بند سخت کننده در تراز بالای سازه قرار دارد، در $0/5$ تا $0/8$ تراز نرمال شده اتفاق می‌افتد.

۱- مقدمه

با افزایش ارتفاع سازه، وزن مصالح مصرفی به منظور تامین سختی و کارایی آن نیز بیشتر می‌گردد. استفاده از کمر بند سخت کننده به عنوان یک سیستم کارآمد نقش بسیار مهمی در کاهش میزان مصالح و مقاطع اعضای سازه‌ای دارد [۱]. اسکلت مهارهای بازویی بطور مستقیم به هسته برشی و ستون‌های پیرامونی متصل شده و لنگر خمشی حاصله در هسته برشی نیز به زوج نیروی قائم در ستون‌ها تبدیل می‌گردد. هم‌چنین در ایده مهارهای بازویی مجازی، انتقال لنگر خمشی به نیروی محوری بدون اتصال مستقیم بین مهارهای بازویی و هسته برشی انجام می‌شود. حذف اتصال مستقیم بین هسته و خرپاها، از بروز مشکلات بسیاری که ناشی از مهارهای بازویی مرسوم است، جلوگیری می‌کند [۲]. ایده اولیه در مورد مهار بازویی مجازی استفاده از دیافراگم طبقه می‌باشد که دارای سختی بسیار در صفحه خود است. خرپاهای مهاری یا دیوارهای برشی، زوج نیرویی افقی را به زوج‌های عمودی در ستون‌ها یا عناصر ساختاری خارجی دیگر تبدیل می‌کنند [۳]. بدین لحاظ مهار بازویی مجازی در واقع همان کمر بند سخت کننده است. این توضیح اضافه می‌شود که در طرح مهندسی مهارهای بازویی، ساختارهای صلب وجود دارند که هسته داخلی سازه مقاوم را به ستون‌های پیرامونی

متصل می‌نمایند. هم‌چنین در ایده مهارهای بازویی مجازی، این ساختارها دور تا دور پلان ساختمان بلند را مانند کمر بندی احاطه می‌نمایند.

تارانان^۱ (۱۹۷۹) رفتار سازه‌هایی دارای یک مهار بازویی را مطالعه نمود و با معیار حداقل ساختن جابه جایی طبقه آخر، محل مهار بازویی را در فاصله $0/455$ ارتفاع سازه از بالای آن پیشنهاد داد [۴]. روتنبرگ^۲ (۱۹۷۹) با لحاظ نمودن فرضیات تحلیلی ساده کننده، برای پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بلند مرتبه با مهار بازویی یک راهکار تحلیل مودال ارائه داد. هم‌چنین ثابت کرد که میزان سهم مشارکت مدهای بالاتر نیز حساس به تغییر محل مهاربازویی است [۵]. استفورد اسمیت^۳ (۱۹۸۳) با معیار حداقل کردن دررفت سازه و فرضیات پایه مدل‌سازی، محل بهینه مهار بازویی را تعیین کرد. فرمول‌های پیشنهادی پژوهش مذکور برای تخمین تقریبی نیروها و تغییر شکل‌ها مفید هستند [۶]. روتنبرگ و تال (۱۹۸۷) درباره اثرات چندین نوع بارگذاری جانبی با توزیع یکنواخت، مثلثی، مثلث وارون و سهموی، بر روی رفتار سازه‌های بلند با مهار بازویی و کمر بند سخت کننده مطالعه کردند [۷]. نیر^۴ (۱۹۹۸) ایده استفاده از مهاربازویی مجازی را ارائه داد. وی استنباط نمود که کمر بندهای سخت کننده در پیرامون پلان ساختمان قرار گرفته و دیافراگم کف طبقات،

1 Taranath
2 Rutenberg
3 Stafford Smith
4 Nair

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: meshkat@khu.ac.ir

الدینی (۱۳۹۳) اسکلت مهاربندی هسته برشی پلان سازه مطالعاتی دارای آرایش صلیبی شکل مرکزی بوده و بیشینه دررفت و تغییر مکان طبقات سازه در دو راستای X و Y پلان مطالعه شده است. هم‌چنین برای رکوردهای سه مولفه‌ای نیز مؤلفه موازی با راستای صفحه شکست گسل در راستای X و مؤلفه عمود بر صفحه مذکور در راستای Y پلان سازه وارد گردیده است. نتایج حاکی از آن بود که حرکات نیرومند زمین در جهت عمود بر صفحه شکست گسل، نیازهای بالاتری را به سازه تحمیل می‌کنند [۲۳]. از این رو در این مقاله بررسی پاسخ مدل‌ها، تنها برای مولفه عمود بر صفحه شکست گسل بیان و بررسی شده است.

هم‌چنین روند طراحی سازه‌های مطالعاتی نیز بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم [۱۴] و مباحث ششم و دهم مقررات ملی ساختمان [۱۵ و ۱۶] صورت گرفته است. مدل‌سازی رفتار غیرخطی اعضا و تعریف مشخصات تحلیلی مفاصل پلاستیک بر اساس FEMA 356 [۱۷] می‌باشد. هم‌چنین بر پایه انجام یک مجموعه بزرگ تحلیل‌های غیر خطی، یک مطالعه عددی جامع بر روی پارامترهای پاسخ رفتار لرزه‌ای سازه‌های مطالعاتی انجام گردیده است [۱۸ و ۱۹].

۲- روند انجام پژوهش

روند تحلیل مدل‌های سه‌بعدی، ابتدا با انجام آنالیز مودال و تحلیل استاتیکی خطی صورت گرفت و سپس آنالیزهای تاریخچه زمانی غیر خطی تحت رکوردهای سه مولفه‌ای انجام شد. مدل‌های مطالعاتی این تحقیق شامل سازه‌های قاب محیطی مهاربندی شده فولادی ۳۰ طبقه بوده و تمامی مدل‌ها دارای پلان مشابه با ۶ دهانه ۶ متری می‌باشند. آرایش مهاربندی اسکلت مقاوم نیز دارای کمربندهای سخت‌کننده خرابایی است. ارتفاع کف تا کف طبقات ۳/۵ متر است. پیوند شش مود اول ارتعاش سه‌بعدی سازه‌های مطالعاتی در جدول ۱ و پلان و نماها در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. برقراری تقارن هندسی سازه و نیز آرایش بارگذاری سبب یکسان شدن پیوند موده‌های ارتعاش انتقالی نسبت به هر دو راستای X و Y پلان است. قرارگیری موقعیت طیفی نخستین مود پیچشی نسبت دو مود اول انتقالی راستاهای X و Y نشان دهنده توجه ماهیت رفتار دینامیکی پیچشی سخت برای مدل‌های مطالعاتی شکل ۱ است. وجود این ویژگی، یک مشخصه مطلوب در طرح لرزه‌ای ساختمان‌های بلند محسوب می‌گردد.

وظیفه انتقال لنگر خمشی به ستون‌های بیرونی را بر عهده دارند. هم‌چنین ستون‌های بیرونی به طور مستقیم به هسته برشی مرکزی متصل نمی‌شوند [۲]. طبق نظر کیان و همکاران (۲۰۰۱) تغییر شکل جانبی به طور موثر با آرایش بهینه کمربندهای سخت‌کننده کاهش می‌یابد [۸]. پودجیسرایدی^۱ و همکاران نیز به مقایسه روش‌های تحلیل دینامیکی کمربند سخت‌کننده پرداختند. ایشان با مقایسه‌ای که بین دو روش تحت تحلیل دینامیکی فزاینده و تاریخچه زمانی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی دارای قابلیت پذیرش بالاتری است [۳]. هم‌چنین به نظر فاطیما^۲ و همکاران (۲۰۱۰) در طراحی سازه‌های بلند، کارایی بیش از مقاومت اهمیت دارد. مطالعات آن‌ها بر روی یک سازه ۶۰ طبقه تحت بارگذاری باد بود [۹].

سعادت پور و کامگار (۲۰۱۲) یک مدل ریاضی ساده برای تحلیل ارتعاش آزاد سیستم‌های لوله‌ای با کمربند سخت‌کننده و مهاربازویی ارایه دادند. نتیجه مشخص تحقیق ایشان، ارائه یک روش تقریبی ساده برای تخمین فرکانس طبیعی مود اول سیستم‌های یاد شده است [۱۰]. هاندرکمپ^۳ و همکاران (۲۰۱۲) یک مدل ساده برای تخمین پیوند لرزه‌ای سازه‌های بلند مرتبه با سیستم قاب مهاربندی شده با کمربند سخت‌کننده ارایه دادند [۱۱]. معین‌الدین و افروزخان (۲۰۱۳) به بررسی رفتار مدل‌های دارای هر دو ساختار مقاوم مهاربازویی و کمربند سخت‌کننده پرداختند [۱۲]. لی و توار^۴ (۲۰۱۴) در راستای کاهش پاسخ سازه‌ها تحت بار باد بر روی محل مهار بازویی با روش بهینه‌سازی توپولوژی مطالعه کردند و تطبیق پذیری روش خود را با روش تحلیل اجزای محدود انجام دادند. مطالعات آن‌ها بر روی سازه‌های دارای رفتار خطی و تحت بارگذاری استاتیکی باد انجام گرفت [۱۳].

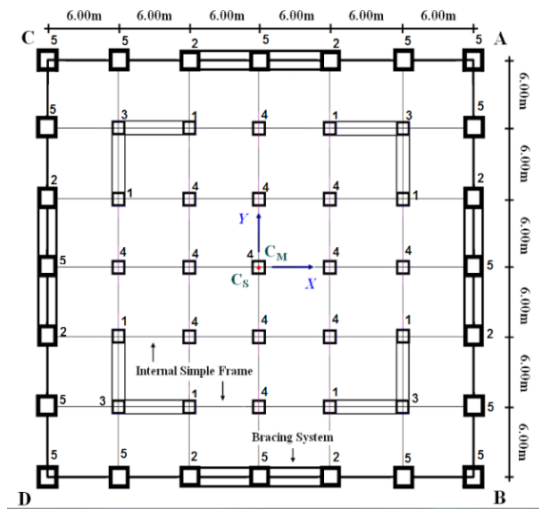
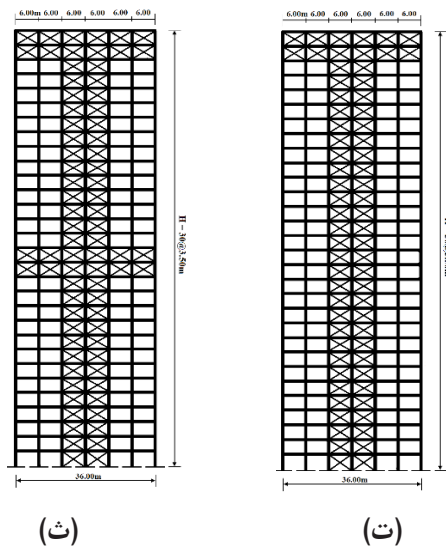
بیشتر مطالعات پیشین بر اساس مطالعات تحلیلی رفتار خطی و با در نظر گرفتن فرضیاتی بوده که منجر به ارایه فرمول‌هایی برای تخمین محل بهینه مهاربازویی شده است. تحقیق بر روی مدل‌های سه‌بعدی با تغییر در محل قرارگیری کمربند سخت‌کننده و اثرات آن بر روی پاسخ دررفت، برش پایه، لنگر خمشی پای سازه، تنش محوری، اثرات لنگی برش بر روی توزیع نیروی محوری در ستون‌های پیرامونی پلان سازه و نیز آرایش مفاصل غیر خطی، کمتر مورد بررسی و توجه قرار گرفته است. بر همین اساس در تحقیق حاضر علاوه بر بررسی جامع موارد فوق به مطالعه ویژگی‌های رکوردهای حوزه نزدیک و دور پرداخته شده و تاثیر این مشخصات فیزیکی بر دامنه حداکثر پاسخ دینامیکی سازه‌ها ارزیابی شده است. استفاده از رکوردهای واقعی سه مولفه‌ای، نمایش رفتار دقیق‌تری از سازه‌ها را نشان می‌دهد. از اینرو در این پژوهش به بررسی پاسخ لرزه‌ای سیستم قاب محیطی مهاربندی با کمربند سخت‌کننده تحت یک سری رکوردهای میدان آزاد حوزه نزدیک پرداخته شده است. در مطالعه پیشین نویسندگان (عبدی مقدم و مشکوه

1 Pudjistryadi
2 Fatima
3 Honderkamp
4 Lee and Tovar

جدول ۱: آرایش مودال چهار سازه مطالعاتی (sec)

Table 1. Modal characteristics of the studied structures

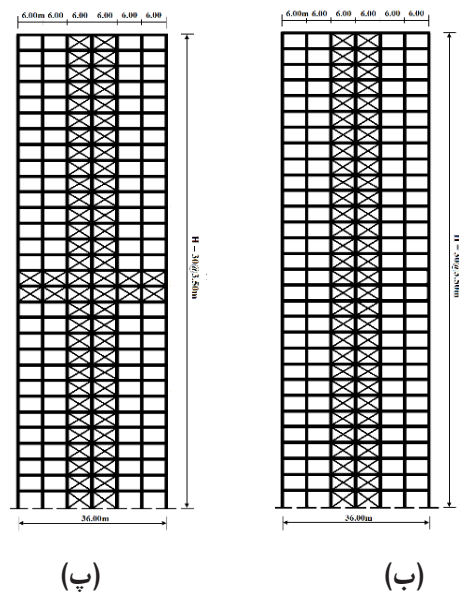
مدل بدون کمر بند سخت کننده	مدل با کمر بند سخت کننده میانی	مدل با کمر بند سخت کننده انتهایی	مدل با کمر بند سخت کننده در دو تراز میانی و انتهایی	
۳/۹۴	۲/۹۷	۳/۳۳	۲/۶۸	مود ۱ (انتقال X)
۳/۹۴	۲/۹۷	۳/۳۳	۲/۶۸	مود ۱ (انتقال Y)
۲/۵۸	۱/۸۵	۲/۱۱	۱/۶۴	مود ۲ (پیچش)
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۸۷	مود ۳ (انتقال X)
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۸۷	مود ۳ (انتقال Y)
۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۵۷	۰/۵۶	مود ۴ (پیچش)



شکل ۱: اسکلت سازه‌ای و پلان مدل‌های ۳۰ طبقه مطالعاتی (الف) آرایش پلان و موقعیت هندسی پانلهای مهاربندی شده، C_M و C_S به ترتیب مراکز جرم و برش طبقه می‌باشند. (ادامه دارد)

ادامه شکل ۱: اسکلت سازه‌ای و پلان مدل‌های ۳۰ طبقه مطالعاتی؛ (ب) مدل بدون کمر بند سخت کننده، (پ) مدل با کمر بند میانی، (ت) مدل با کمر بند انتهایی، (ث) مدل با کمر بند در دو تراز میانی و انتهایی، شماره گذاری ستون‌ها نیز بر اساس جدول ۲ است.

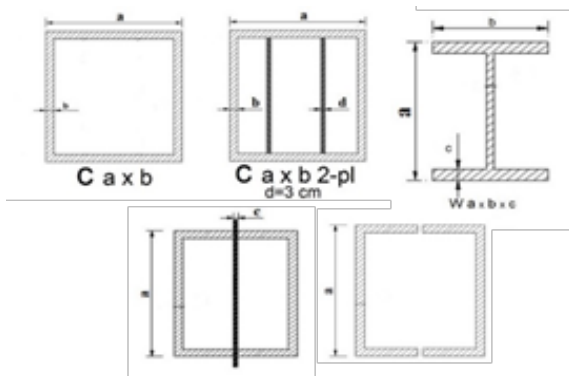
Fig. 1. The skeleton and plan of the 30 story studied structures, CM: mass center, CS: shear center; (a) The plan and braced panels (b) The model without belt truss; (c) The model with middle belt truss; (d) The model with top belt truss; (e) The model with middle and top belt trusses



جدول ۴: مقاطع مهاربندها و کمربندهای سخت کننده (شکل ۱)

Table 4. The cross sections of bracing elements and belt trusses (Fig. 1)

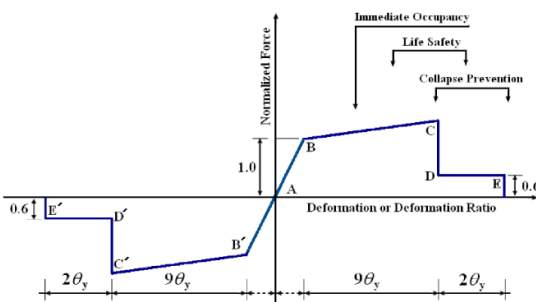
مقطع	طبقه	مقطع	طبقه
۲UNP۲۶	۲۱-۲۵	۲UNP۴۰	۱-۵
۲UNP۲۶	۲۶-۳۰	۲UNP۳۸	۶-۱۰
PL+۲UNP۴۰	سخت کننده میانی	۲UNP۳۵	۱۱-۱۵
۲UNP۳۵	سخت کننده انتهایی	۲UNP۳۰	۱۶-۲۰



a: ارتفاع مقطع ناودانی c: ضخامت ورق ۲ سانتی متر
شکل ۲: طرح هندسی نیمرخ های مقاطع

Fig. 2. The geometric plots of members sections

مطالعاتی مشخصات تحلیلی مفاصل پلاستیک برای توصیف رفتار غیرخطی اعضا، بر اساس توصیه های FEMA۳۵۶ استفاده شده است [۱۷]. اعضای مدل های مطالعاتی شامل المان های شاه تیر با دو سر مفصل، المان های پیوسته ستون، المان های مهاربندی درون آرایش هندسی کمر بند سخت کننده اسکلت سازه است. همچنین در وسط دهانه تیرها مفصل خمشی غیر خطی M تعریف شده و در ابتدا و انتهای ستون های اصلی نگهدارنده پانل های مهاربندی نیز مفصل پلاستیک P معرفی گردیده است. مفصل های پلاستیک P در توصیف رفتار غیرخطی مهاربندها و اعضای کمر بند سخت کننده نیز در موقعیت های ۰/۵ ابتدایی و انتهایی دهانه تعریف شده اند. ساختار تحلیلی رفتار غیر خطی مفاصل فوق در شکل ۳ نشان داده شده است.



(الف)

بارگذاری مرده و زنده اعمال شده به سازه طبق استاندارد ملی ساختمان ایران (مبحث ششم مقررات ملی ساختمان) برای تمام طبقات به ترتیب 0.5 t/m^2 و 0.2 t/m^2 و برای بام 0.5 t/m^2 و 0.15 t/m^2 می باشد. مقاطع اعضای مدل های سازه های مطالعاتی بر اساس استاندارد ملی ساختمان ایران (مبحث دهم مقررات ملی ساختمان- طرح و اجرای ساختمان های فولادی) طراحی شده اند. صورت نیمرخ های طرح شده مدل های مطالعاتی در جدول های ۲ تا ۴ آورده شده و مقاطع المان های سازه ای نیز در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین در کنترل طرح لرزه ای هر سه مدل، دو معیار محدودیت جابه جایی نسبی طبقات و رعایت اصل ستون قوی-تیر ضعیف در نظر گرفته شده است.

جدول ۲: مشخصات مقاطع ستون ها با طرح جعبه ای (شکل ۱)

Table 2. The columns sections with box-type profile (Fig. 1)

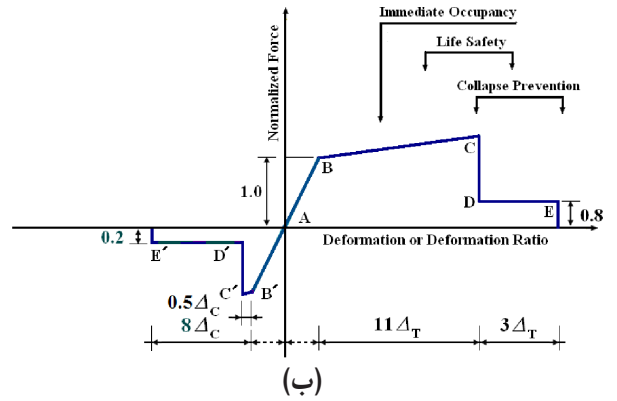
۱	۲	۳	۴	۵
C۱۰۰ x ۳/۵ ۲PLY	C۹۰ x ۳/۵ ۲PLY	C۸۰ x ۳/۵ ۲PLY	C۷۰ x ۳	C۶۵ x ۲
C۸۰ x ۳/۵ ۲PLY	C۸۰ x ۳/۵ ۲PLY	C۷۰ x ۳/۰ ۲PLY	C۶۵ x ۲	C۶۰ x ۲
C۷۰ x ۳/۰ ۲PLY	C۷۰ x ۳/۰ ۲PLY	C۷۰ x ۲/۵	C۶۰ x ۲	C۵۰ x ۱/۵
C۷۰ x ۲/۵	C۷۰ x ۲/۵	C۶۵ x ۲/۵	C۵۰ x ۱/۵	C۴۵ x ۱/۵
C۶۰ x ۲	C۶۰ x ۲	C۶۰ x ۲	C۴۵ x ۱/۵	C۴۰ x ۱/۵
C۵۵ x ۱/۵	C۶۰ x ۲	C۵۵ x ۱/۵	C۴۰ x ۱/۵	C۳۵ x ۱/۵

جدول ۳: مشخصات تیرها در سازه های مطالعاتی (شکل ۱)

Table 3. The beams sections of the studied structures (Fig. 1)

story	Beam section
۱-۳۰	W۴۰x۲۰x۱/۵

راستای Y پلان سازه و مؤلفه عمودی نیز در جهت Z وارد گردیده است. یکی از مشخص‌ترین ویژگی‌های رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک که آن‌ها را از رکوردهای حوزه دور جدا می‌سازد، حضور پالس‌های بلند مدت در تاریخچه زمانی سرعت و تغییر مکان است [۲۱]. ماهیت و وضعیت اسپایک‌های شتاب و پالس‌های سرعت، ارتباط مستقیمی با ساختار و مکانیزم شکست گسل و نیز چگونگی فرآیند حرکت گسل دارد. شکل ۴ تاریخچه زمانی سرعت، طیف فوریه و طیف انرژی متناظر با مؤلفه عمود بر گسل رکورد حوزه نزدیک SCS و رکورد حوزه دور MRP را نشان می‌دهد. با بررسی طیف فوریه رکوردهای حوزه نزدیک SCS و حوزه دور MRP می‌توان وجود دامنه بزرگ برای پارامتر ارتفاعی این طیف بویژه برای رکوردهای حوزه نزدیک را ملاحظه نمود [۲۲].



شکل ۳: مدل‌سازی رفتار غیر خطی؛ (الف) مفصل M برای شاه تیر های با دو سر ساده (خمش صفر)، (ب) مفصل P برای ستون‌ها و المان‌های کمر بند سخت‌کننده

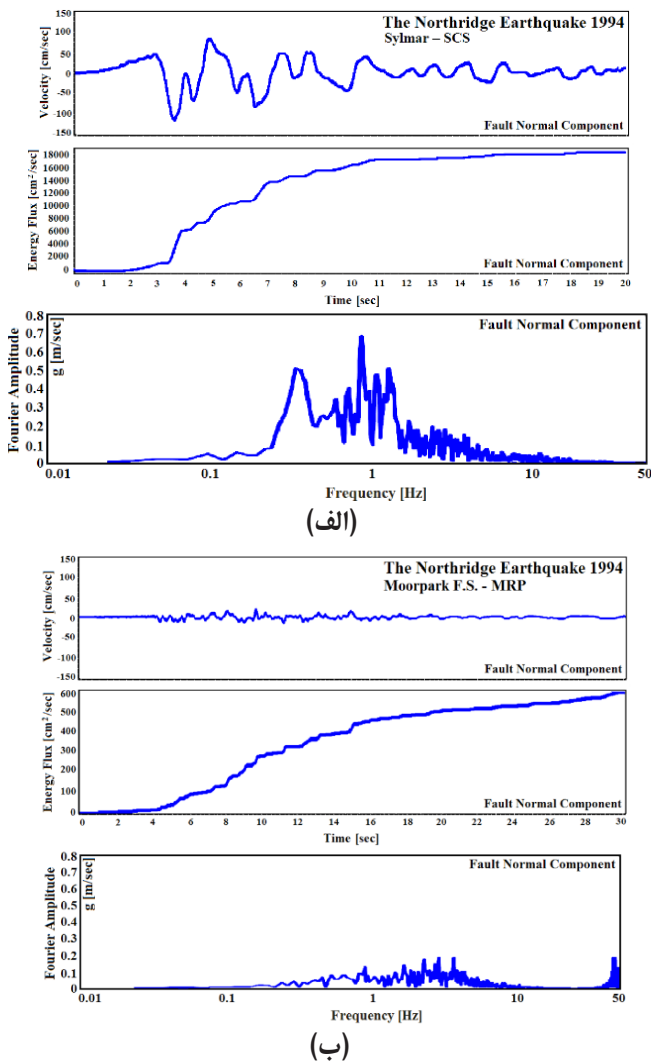
Fig. 3. Modeling of nonlinear behavior; (a) Hinge M for simply supported beams, (b) Hinge P for columns and belt truss elements

۳- بررسی رکورد های زلزله مورد استفاده

با توجه به پراکندگی بالایی که دامنه پاسخ دینامیکی حاصل از هر رکورد نسبت به رکورد دیگر دارد، نیاز به استفاده از یک گروه جنبش‌های نیرومند زمین با ساختار فیزیکی به نسبت یکسان امری منطقی است. این رکوردها از پایگاه لرزه نگاری PEER برداشت شده‌اند [۲۰]. رکوردهای انتخابی شامل هفت جنبش نیرومند حوزه نزدیک و دارای اثرات جهت داری می‌باشد. مجموعه مذکور شامل رکوردهای سه مؤلفه‌ای، Sylmar (SCS)، Jensen Filter (JFP)، (NWH) Newhall Fire Station، از زلزله نورتریج Sepulveda (SPV و W.Pico (WPI) Newhall ۱۹۹۴ کالیفرنیا بوده و نیز دو رکورد پرنرزی Bam ۲۰۰۳ و Tabas ۱۹۷۸ ثبت شده در ایران می‌باشند.

هم‌چنین به منظور بررسی تفاوت‌های پاسخ لرزه‌ای حاصل از دو گروه جنبش‌های زمین ثبت شده در دو حوزه دور و نزدیک گسل‌ها، رکورد نه چندان نیرومند و حوزه دور Moor-park (MR) از زلزله نورتریج ۱۹۹۴ نیز در این پژوهش وارد شده است. مشخصات فیزیکی رکوردها در جدول ۵ نشان داده شده است. نشانه LN بیان گر مؤلفه موازی صفحه شکست گسل TR، (Fault Parallel Component) مؤلفه عمود بر صفحه شکست گسل (Fault Normal Component) و Up نیز مؤلفه قائم رکورد زلزله می‌باشند.

انتخاب رکوردها در این پژوهش بر پایه توجه به خصوصیات فیزیکی اثرات شکست پیشرونده گسل، پدیدار شدن ساختارهای پالس‌گونه شتاب، هم‌چنین وجود پالس‌های پرنرزی و بلند مدت در تاریخچه زمانی سرعت زمین بوده است. همگی رکوردها به صورت طبیعی سه مؤلفه‌ای به مدل‌های سازه مطالعاتی در جهات X، Y و Z اعمال شده‌اند. مؤلفه موازی با صفحه گسل در راستای X و هم‌چنین مؤلفه نیرومندتر عمود بر صفحه گسل در



شکل ۴: تاریخچه زمانی سرعت زمین، طیف فوریه و طیف تجمعی انرژی جنبشی (الف) رکورد حوزه نزدیک SCS، (ب) رکورد حوزه دور MRP

Fig. 4. Time history of ground velocity, Fourier spectra and cumulative spectra of kinetic energy; (a) The SCS near-field record, (b) The MRP far-field record

جدول ۵: مشخصات فیزیکی رکوردهای انتخابی

Table 5. Physical characteristics of the selected records

رکورد	مولفه	Duration (sec)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Magnitude MW	PGV/PGA (sec)	PGD/PGV (sec)
Bam ۲۰۰۳ (Bam - ۱/۰ km)	LN	۳۰	۰/۶۳۵	۵۹/۶	۲۰/۷	۶/۶	۰/۰۹	۰/۳۴
	TR		۰/۷۹۳	۱۲۳/۷	۳۷/۴		۰/۱۶	۰/۳
	UP		۰/۹۹۹	۳۷/۶۶	۱۰/۱۱		۰/۰۳	۰/۲۶
Tabas ۱۹۷۸ (Tabas - ۳/۰۰ km)	LN	۳۰	۰/۸۳۶	۹۷/۷	۳۹/۹	۷/۴	۰/۱۲	۰/۴
	TR		۰/۸۵۱	۱۲۱/۳	۹۴/۵		۰/۱۴	۰/۷۸
	UP		۰/۶۸۸	۴۵/۵	۱۷		۰/۰۶	۰/۳۷
Northridge ۱۹۹۴ (SCS - ۶/۲۰ km)	LN	۳۰	۰/۸۹۷	۱۰۲/۲۳	۴۵/۲۸	۶/۷	۰/۱۲	۰/۴۴
	TR		۰/۶۱۲	۱۱۷/۴۷	۵۴/۱۳		۰/۱۹	۰/۴۶
	UP		۰/۵۸۶	۳۴/۵۹	۲۵/۶۳		۰/۰۶	۰/۷۴
Northridge ۱۹۹۴ (JFP - ۶/۱۰ km)	LN	۳۰	۰/۵۹۳	۹۹/۱	۲۳/۹۶	۶/۷	۰/۱۷	۰/۲۴
	TR		۰/۴۲۴	۱۰۵/۹۵	۵۰/۶۹		۰/۲۵	۰/۴۸
	UP		۰/۳۹۹	۳۳/۹۱	۸/۸۹		۰/۰۸	۰/۲۶
Northridge ۱۹۹۴ (NWH - ۷/۱۰ km)	LN	۳۰	۰/۵۸۳	۷۵/۵	۱۷/۵۷	۶/۷	۰/۱۳	۰/۲۳
	TR		۰/۵۹	۹۷/۲	۳۸/۰۸		۰/۱۷	۰/۳۹
	UP		۰/۵۴۸	۳۱/۵	۱۶/۲۷		۰/۰۶	۰/۵۱
Northridge ۱۹۹۴ (WPI - ۷/۱۰ km)	LN	۳۰	۰/۳۲۵	۶۷/۴	۱۶/۱	۶/۷	۰/۲۱	۰/۲۴
	TR		۰/۴۵۵	۹۲/۸	۵۶/۷		۰/۲۱	۰/۶۱
	UP		۰/۲۹	۳۷/۲	۱۳/۳		۰/۱۳	۰/۳۶
Northridge ۱۹۹۴ (SPV - ۸/۹ km)	LN	۳۰	۰/۹۳۹	۷۶/۶	۱۴/۹۵	۶/۷	۰/۰۸	۰/۱۹
	TR		۰/۷۵۳	۸۴/۸	۱۸/۶۸		۰/۱۱	۰/۲۲
	UP		۰/۴۶۷	۳۳/۲	۹/۵۸		۰/۰۷	۰/۲۸
Northridge ۱۹۹۴ (MRP - ۲۸/۰۰ km)	LN	۳۰	۰/۱۹	۲۰/۲	۴/۷۹	۶/۷	۰/۱۱	۰/۲۴
	TR		۰/۲۹	۲۰/۷	۴/۲۴		۰/۰۷	۰/۲
	UP		۰/۱۶	۷/۹	۰/۹		۰/۰۵	۰/۱۱

شدن این پارامتر طراحی در محدوده مجاز آیین نامه، ممکن است که سطح عملکرد متناظر با گستره پاسخ غیرخطی المان‌های اصلی سازه از حد ایمنی جانی نیز تجاوز کند. عملکرد مدل بدون کمر بند سخت کننده شکل ۱ تحت رکوردهای حوزه نزدیک طیس، SCS و JFP حد مجاز آیین نامه ۲۸۰۰ برابر با ۰/۰۲ را تصدیق نمی نماید. بیشترین تقاضای دررفت در ۰/۸۳ تا ۰/۹ ارتفاع سازه اتفاق افتاده است. همچنین نتایج تحلیل رفتار لرزه‌ای مدل دارای کمر بند سخت کننده در تراز $Z=H$ حداکثر پاسخ دررفت را در تراز نرمالیزه شده ۰/۵ تا ۰/۸ نشان می دهد. افزون بر آن، قرارگیری این ساختار مقاوم در میانه ارتفاع سازه نیز باعث می شود که محل وقوع حداکثر پارامتر دررفت، مانند حالتی باشد که کمر بند سخت کننده وجود ندارد.

بررسی نمودارهای پوش بیشینه دررفت نشان دهنده کاهش چشمگیر در میزان این پارامتر بویژه در ترازهای دارای کمر بند سخت کننده است. همچنین در بررسی تغییرات حداکثر پاسخ دررفت مدل‌های سه گانه دارای کمر بند سخت کننده مقاوم نسبت به مدل بدون این ساختار، ملاحظه می شود که میزان تغییرات پارامتر یاد شده تحت تمامی رکوردها یکسان نیست. میزان اثرگذاری آرایه‌های گوناگون کمر بند سخت کننده بر پارامتر بیشینه دررفت تحت رکوردهای با اثرات جهت داری مختلف، متفاوت است. همچنین به عنوان مثال در بررسی آرایش‌های مختلف قرارگیری کمر بند سخت کننده تحت رکورد NWH میزان کاهش حداکثر پاسخ دررفت سازه در حالتی که کمر بند سخت کننده در ترازهای $Z=H$ یا $Z=0.5H$ و یا در هر دو تراز قرار می گیرد، به ترتیب برابر با ۱۵، ۳۸ و ۳۰ درصد بدست می آید. شایان ذکر است که مقادیر متناظر محاسباتی تحت رکورد WPI نیز به ترتیب ۱۳، ۲۶ و ۳۳ درصد می باشند. مفهوم سازی و توجیه این تفاوت‌ها را می توان در ویژگی‌های فیزیکی رکوردها و نیز محل قرارگیری محور طیفی آرایش مودال سازه‌های مطالعاتی در طیف پاسخ سرعت جستجو نمود.

شکل ۶ بیشینه برش پایه متناظر با رفتار دینامیکی غیرخطی مدل‌های مطالعاتی را تحت رکوردهای اعمالی و در جهت Y پلان که مولفه نیرومند تر هر رکورد زلزله (مولفه TR) در آن راستا اعمال شده است، نشان می دهد.

همچنین در ارزیابی لرزه شناسی رکوردهای حوزه نزدیک دیده می شود که حداکثر این مقادیر به ازای یک بازه فرکانسی کوچک رخ می دهد. روند مذکور برای رکوردهای حوزه دور به این صورت نمی باشد و مقادیر حداکثر در یک بازه گسترده طیفی اتفاق می افتد [۲۳].

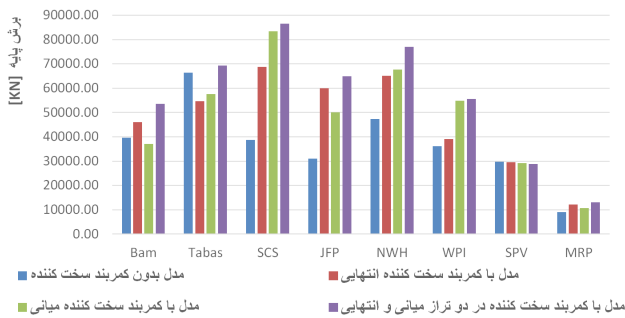
بررسی طیف تجمعی انرژی جنبشی رکوردهای حوزه نزدیک و دور نشان دهنده مقادیر بالای این پارامتر و همچنین مدت زمان کوتاه بروز مقادیر بالا برای آن، متناظر با رکوردهای حوزه نزدیک در مقایسه با رکورد حوزه دور است. بدین لحاظ اسکلت مقاوم یک ساختمان بلند باید بتواند این میزان انرژی جنبشی بالا که در بازه زمانی کوتاه به سازه وارد می شود را در چندین سیکل ارتعاشات رفت و برگشتی، میرا نماید. نتایج مطالعات نشان می دهد که نتیجه بارز چنین رفتار لرزه‌ای، پدیدار شدن و گسترش سریع مفاصل غیر خطی در سیستم باربر جانبی سازه بلند و وارد شدن ویژگی‌های رفتاری اعضای اصلی به حوزه غیر خطی خواهد بود. بدیهی است که حضور ویژگی‌های یاد شده در تاریخچه زمانی هر کدام از مولفه‌های رکوردهای حوزه نزدیک، پارامترهای پاسخ و مشخصات رفتاری سازه را تحت تاثیر قرار می دهد.

۴- ارزیابی نتایج حاصله از پژوهش

با استفاده از رکوردهای انتخابی، ۳۲ تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی برای کلیه مدل‌های مطالعاتی شکل ۱ انجام گرفت. همچنین از آنجا که در تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی، تامین پایداری محاسباتی در روش انتگرال گیری عددی دارای اهمیت بالایی است، بایستی از روش‌هایی که پایداری غیر مشروط دارند استفاده نمود. روش انتگرال گیری عددی گام به گام نیومارک با معیار شتاب متوسط ثابت ($\gamma = 1/2$ ، $\beta = 1/4$) بصورت پایدار غیرمشروط است [۲۴].

مهم‌ترین پارامترهای نیاز لرزه‌ای که در طراحی سازه‌های بلند مرتبه باید مورد بررسی قرار گیرند، شامل لنگر خمشی پای سازه، نیروی برشی پای سازه، توزیع نیروی محوری در المان‌های ستون، ارزیابی شتاب جانبی و دررفت طبقات است [۲۵]. بدین ترتیب با در نظر گرفتن ساختار انتشار امواج لرزه‌ای در سراسر اسکلت سازه، نیاز به لحاظ نمودن اثرات محاسباتی $P-\Delta$ در روند تحلیل غیر خطی دینامیکی تاریخچه زمانی ضروری است [۲۶]. بر پایه مطالعات گذشته نویسندگان، ملاحظه می شود که همراه با کاهش نسبی و قابل توجه روند تغییرات پارامتر دررفت سازه، پارامتر شتاب جانبی محاسبه شده در محل مرکز جرم طبقات (نقطه CM در شکل ۱) نیز دچار نوسانات زیاد می گردد. همچنین بیشترین نمود این تغییرات بصورت یک روند افزایشی شدید شتاب جانبی در بخش‌های بالایی سازه ملاحظه شده است [۲۷].

شکل ۵ پوش بیشینه دررفت طبقات را برای مدل‌های مطالعاتی شکل ۱ در جهت Y پلان که مولفه عمود بر گسل در آن جهت وارد شده است، نشان می دهد. ارزیابی و مطالعه روند تغییرات دررفت سازه، یکی از معیارهای مهم در طراحی ساختمان‌های بلند است. باید دانست که در صورت عدم برآورده

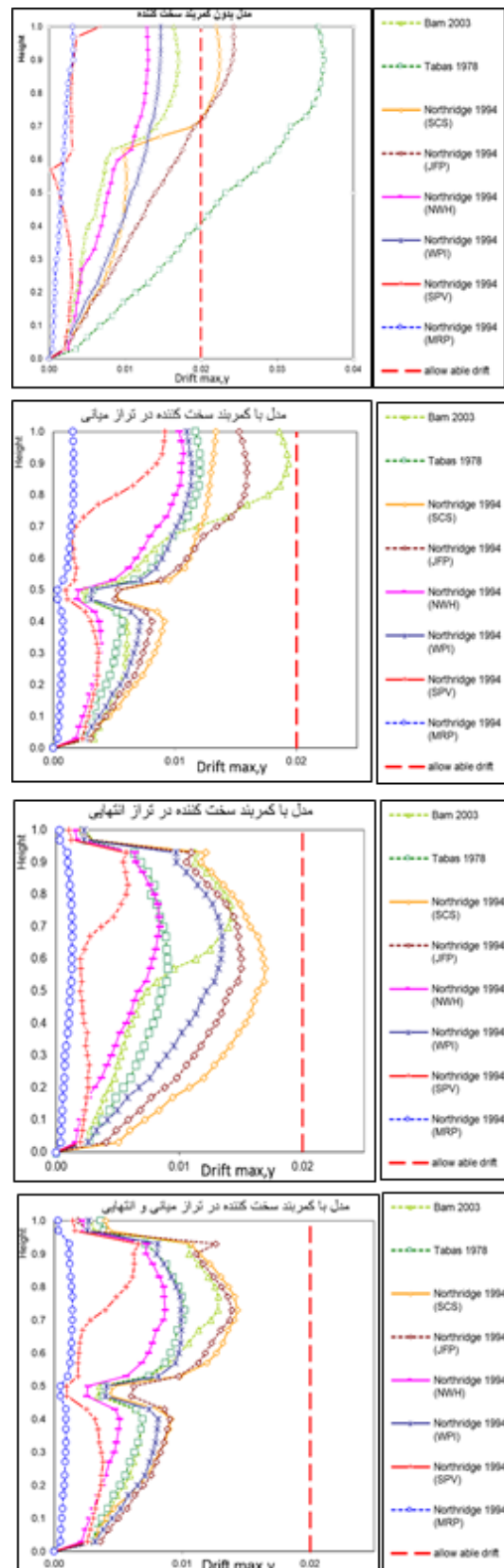


شکل ۶: برش پایه دینامیکی بیشینه

Fig. 6. Maximum dynamic base shear

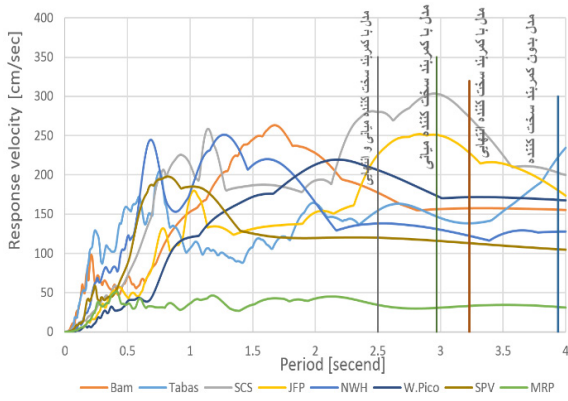
افزودن کمر بند سخت کننده به اسکلت مقاوم ساختمان بلند سبب شده است که تحت بیشتر رکوردهای حوزه نزدیک، افزایش قابل توجهی در برش پایه دینامیکی حاصل شود. میزان این افزایش تحت اثر رکوردهای مختلف، متفاوت است. حداکثر برش پایه برای حالتی که کمر بند سخت کننده وجود ندارد (شکل ۱-ب) تحت رکورد طیس حاصل شده و برای دیگر مدل ها که دارای کمر بند سخت کننده هستند، رکورد پر انرژی SCS بیشترین برش پایه را ایجاد نموده است. ملاحظه می شود که اضافه کردن کمر بند سخت کننده باعث تغییر و افزایش نسبی برش پایه دینامیکی می گردد. همچنین تحت رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک، بیشترین افزایش نسبی هنگام کاربرد دو کمر بند سخت کننده در ترازهای $z=H$ یا $z=0.5H$ سازه مقاوم است. توجیه عمومی این پدیده را می توان در نزدیک تر بودن پرورد طبیعی مدل بدون کمر بند سخت کننده به پرورد پالس سرعت مولفه TR رکورد طیس در مقایسه با سه مدل دیگر شکل ۱ نسبت داد. نمود اثرات پدیده تشدید دینامیکی در رفتار سازه بدون کمر بند سخت کننده، بیشتر و بزرگ تر از همین تاثیرات در سه مدل مطالعاتی دارای کمر بند سخت کننده است. تحت رکورد حوزه دور MRP و نیز رکورد حوزه نزدیک و نه چندان نیرومند SPV، سازه های مطالعاتی کم ترین برش پایه را تجربه کرده اند. رکورد MRP از نوع حوزه دور و بدون پالس در تاریخچه زمانی سرعت است. تاریخچه زمانی این رکورد شامل مجموعه بزرگی از اسپایک های کوچک و کم انرژی شتاب و سرعت است. این ویژگی دلیل اصلی پایین بودن مقادیر برش پایه در سازه های مطالعاتی است. رکورد SPV نیز یک جنبش حوزه نزدیک با مقادیر نسبی پایین تر PGA و PGV بوده و همچنین برش پایه حاصل از آن نیز به مراتب کم تر از همین پارامتر، تحت اثر رکوردهای نیرومند جدول ۵ دیگر است.

شکل ۷ نمایش دهنده طیف سه جانبه متناظر با مولفه TR دو رکورد Tabas و SPV است. بر پایه شکل ۷ ناحیه طیفی حساس به سرعت زمین برای رکورد SPV نسبت به رکورد Tabas به مراتب کوچک تر است. این موضوع برای دیگر رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک جدول ۵ نیز برقرار است. نتایج پژوهش های لرزه شناسی نشان می دهد که برخی از رکوردهای نیرومند (PGV/PGA) حوزه نزدیک با نسبت های بزرگ بیشینه سرعت به شتاب



شکل ۵: پوش بیشینه دررفت طبقات در جهت Y پلان مدل های مطالعاتی شکل ۱

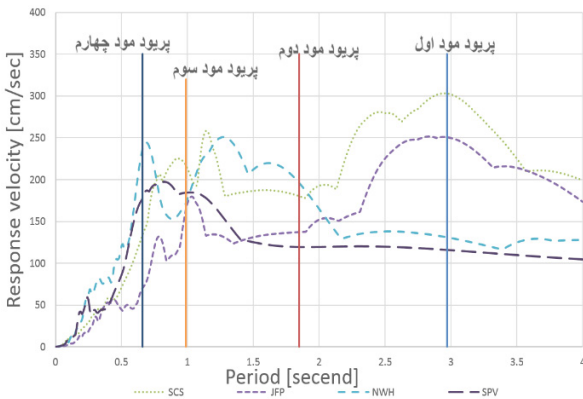
Fig. 5. The envelope of maximum story drift in Y direction of plan of the studied structures



شکل ۸: طیف پاسخ سرعت متناظر با مولفه TR رکوردهای جدول ۵ همراه با موقعیت محور پریود پایه سازه‌های مطالعاتی شکل ۱

Fig. 8. Velocity response spectra corresponding to TR component of the selected records (Table 5) and the spectral location of natural period axis of the studied structures

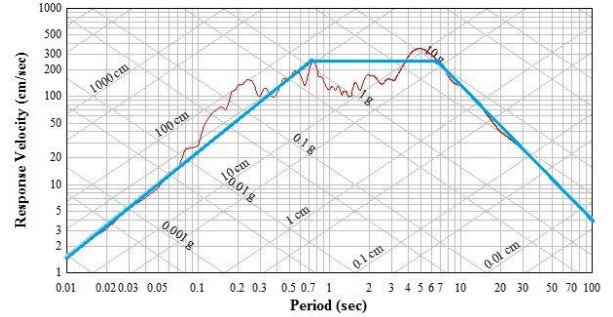
شکل ۹ نمودارهای طیف پاسخ سرعت رکوردهای SCS، JFP، NWH را نشان می‌دهد. محورهای طیفی پریود چهارم، اول، دوم و سوم ترتیباً بیشترین مولفه ارتفاعی طیف پاسخ سرعت رکوردهای یاد شده با محور پریود مودهای مختلف، ملاحظه می‌شود که برای دو رکورد SCS و JFP بیشینه مقادیر طیف پاسخ با محور طیفی پریود مودهای اول و دوم متناظر است. هم‌چنین برای رکورد NWH نیز ملاحظه می‌شود که بیشترین مولفه ارتفاعی با محور طیفی مود چهارم و برای رکورد SPV مود ارتعاشی سوم تالاقی دارد.



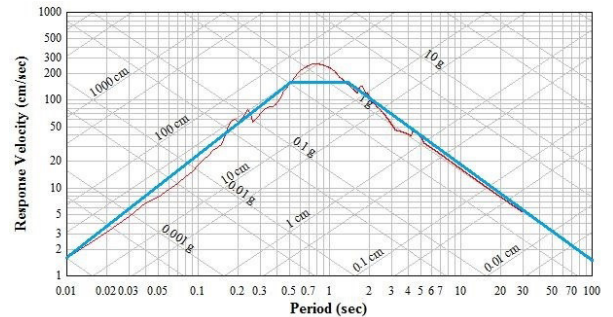
شکل ۹: طیف پاسخ سرعت رکوردهای NWH، JFP، SCS و SPV متناظر مولفه TR همراه با آرایش محورهای پریود چهارم، اول، دوم و سوم مطالعاتی با کمر بند سخت کننده میانی

Fig. 9. Velocity response spectra corresponding to TR component of the NWH, JFP, SCS, SPV records as well as the first four modal axes of the studied model with middle belt truss

دارای ناحیه کوچک حساس به سرعت زمین و نیز ناحیه بزرگ حساس به شتاب زمین در طیف سه جانبه می‌باشند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که برقراری وضعیت طیفی مذکور تاثیر مستقیم در کاهش اثر مودهای بالاتر و کاهش نسبی برش پایه دینامیکی دارد [۲۸].



(الف)



(ب)

شکل ۷: طیف سه جانبه متناظر با مولفه TR، رکورد Tabas (الف) و رکورد SPV (ب)

Fig. 7. Tripartite spectra corresponding to fault normal component (TR component); (a) The Tabas record 1978, (b) The SPV record 1994

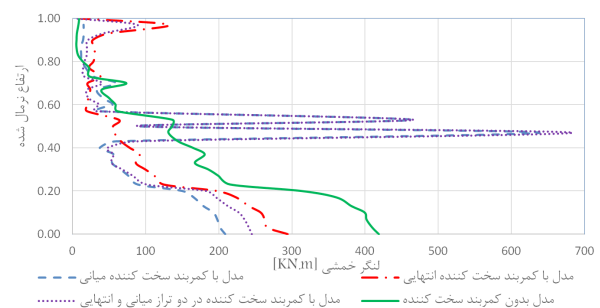
طیف پاسخ سرعت متناظر مولفه TR رکوردهای جدول ۵ با میرایی ۵ درصد، در شکل ۸ رسم شده است. هم‌چنین موقعیت طیفی محور پریود مود اول ارتعاش مدل‌های مطالعاتی شکل ۱ نیز مشخص می‌باشد. بر اساس طیف پاسخ سرعت با توجه به قرارگیری محور پریود مود اول سازه بدون کمر بند سخت کننده (شکل ۱-ب)، در ناحیه با ارتفاعات سرعتی بیشتر که با رکورد طیس تالاقی دارد، بیشترین پاسخ محتمل برش پایه دینامیکی و دریافت برای مدل ذکر شده تحت این رکورد رخ داده است. بررسی تالاقی محور طیفی پریود مود اول مدل‌های دیگر با بیشترین مولفه ارتفاعی طیف پاسخ سرعت سایر رکوردها نشان می‌دهد که پاسخ‌های محتمل حداکثر در مدل‌های دیگر تحت رکورد SCS رخ می‌دهد. بررسی نتایج تحلیلی و توجه به شکل‌های ۵ و ۶ درستی مورد فوق را تایید می‌کند. هم‌چنین به منظور بررسی اثر مودهای بالاتر می‌توان به ساختار تحلیلی طیف پاسخ سرعت رکوردهای اعمالی توجه نمود.

بر پایه نتایج این تحقیق، ارزیابی جامع رفتار دینامیکی سازه‌های مطالعاتی ۳۰ طبقه با سیستم مهار بازویی نشان دهنده یک روند افزایشی برای نیروی محوری ستون‌های گوشه‌ای پلان است. همچنین می‌توان استنباط نمود که هر دو گروه اثرات دینامیکی حاصل از انتشار امواج زلزله و نیز رفتار محاسباتی مودگونه متأثر از رکورد‌های سه مولفه‌ای حوزه نزدیک، منجر به توزیع افزایش یافته و نامتقارن نیروی محوری در ستون‌های پیرامونی پلان می‌شود. بر پایه مقایسه نتایج مربوط به مدل‌هایی که کمر بند سخت‌کننده در تراز میانی یا بالای سازه قرار دارد، ملاحظه شده که اثرات یاد شده برای حالت اسکلت مقاوم با کمر بند سخت‌کننده میانی، نمود روشن‌تری داشته و نیروی محوری بیشتری در این حالت در ستون‌های پیرامونی به وجود می‌آید. ارزیابی روند تغییرات برآیند نیروی محوری دینامیکی ستون‌های پیرامونی در هر چهار مدل مطالعاتی نشان‌دهنده وجود یک تناظر مستقیم میان تعداد کمر بند‌های سخت‌کننده و افزایش بیشتر نیروی محوری در المان‌های یاد شده است. با توجه به شکل ۱۲ ملاحظه می‌شود که محل قرارگیری کمر بند سخت‌کننده بر تعداد و محل تشکیل مفاصل پلاستیک تاثیر گذار است و گستردگی ساختار این مفاصل در هر دو گروه المان‌های ستون و مهار بند، در سطح عملکرد خدمت پذیری بدون وقفه قرار دارد. همچنین تعداد قابل توجهی از ستون‌های طبقات پایینی سازه نیز وارد سطح عملکرد ایمنی جانی شده‌اند. افزون بر آن عملکرد لرزه‌ای در حوزه تغییر شکل‌های بزرگ حادث شده برای سیستم کمر بند سخت‌کننده سبب تشکیل مکانیزم‌های پلاستیک غیر خطی به‌ویژه در ستون‌های متصل به لبه پایینی اسکلت کمر بند شده است.

کاربرد اسکلت پیچیده تر متشکل از دو سیستم کمر بند سخت‌کننده نیز سبب افزایش سختی و بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان بلند با اسکلت مقاوم شکل ۱ می‌شود. این ساختار به گونه‌ای است که گستردگی مکانیزم مفاصل پلاستیک در مهار بندها و کمر بند‌های سخت‌کننده دچار تغییراتی شده به نحوی که بیشتر المان‌های مهار بند قرار گرفته بین دو کمر بند سخت‌کننده، وارد محدوده عملکرد ایمنی جانی شده‌اند. همچنین المان‌های مهار بند که اعضای کمر بند سخت‌کننده میانی را تشکیل می‌دهند، بیشتر از مهار بند‌های کمر بند سخت‌کننده انتهایی (شکل ۱۲-ت) در محدوده سطح عملکرد ایمنی جانی قرار گرفته‌اند. استنباط این موضوع بر اساس چگونگی توزیع لنگر خمشی دینامیکی در راستای ارتفاع سازه، استوار است. افزایش شدید لنگر خمشی دینامیکی در بخش میانی سازه در مدل‌های دارای کمر بند سخت‌کننده واقع در تراز $Z=0/5 H$ (شکل ۱۰)، با روند بیشتر شدن تعداد مفاصل پلاستیک در میانه سازه در شکل (۱۲-ب و ت) قابل توجیه است. علاوه بر این ماهیت و ویژگی‌های رفتار لرزه‌ای المان‌های ستون در حوزه رفتار خطی باقی مانده است. دیدگاه تحلیلی مطلب فوق بیانگر وجود رفتار مشخص غیر خطی هندسی تحت اثرات $P-\Delta$ دینامیکی برای المان‌های ستون است.

نتایج تحلیل‌ها حاکی از آن است که حضور پالس‌های سرعت بلند

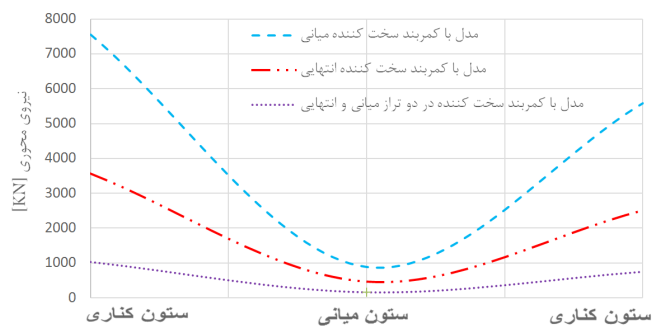
شکل ۱۰ نشان‌دهنده توزیع پوش بیشینه لنگر خمشی دینامیکی در ارتفاع چهار سازه مطالعاتی تحت رکورد طبلس است. روند توزیع بیشینه لنگر خمشی دینامیکی در ارتفاع برای مدل پایه (شکل ۱-ب) به گونه‌ای می‌باشد که در راستای ارتفاع سازه از بالا به پایین افزایش یافته است. همچنین در تمامی مدل‌هایی که کمر بند سخت‌کننده در اسکلت سازه وجود دارد، بیشینه لنگر خمشی تراز فنداسیون به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. ملاحظه می‌شود که بیشترین میزان کاهش لنگر تراز فنداسیون سازه با حضور کمر بند سخت‌کننده میانی رخ داده است. علاوه بر این بررسی نمودارهای فوق نشانگر افزایش میزان لنگر خمشی در تراز قرارگیری کمر بند سخت‌کننده است. همچنین بیشترین میزان لنگر خمشی در میانه ارتفاع سازه، در رفتار مدل‌های مطالعاتی با کمر بند سخت‌کننده میانی ملاحظه می‌گردد.



شکل ۱۰: توزیع لنگر خمشی در ارتفاع سازه

Fig. 10. The distribution of bending moment in height of the structure

شایان ذکر است که به منظور نشان دادن اثرات کمر بند‌های سخت‌کننده در ایجاد تغییرات به نسبت زیاد برای برآیند نیروی محوری ستون‌های کناری و میانی، به‌ویژه در نخستین طبقه (طبقه هم کف) مدل‌های مطالعاتی، نمودارهای شکل ۱۱ تنظیم گردیده‌اند.

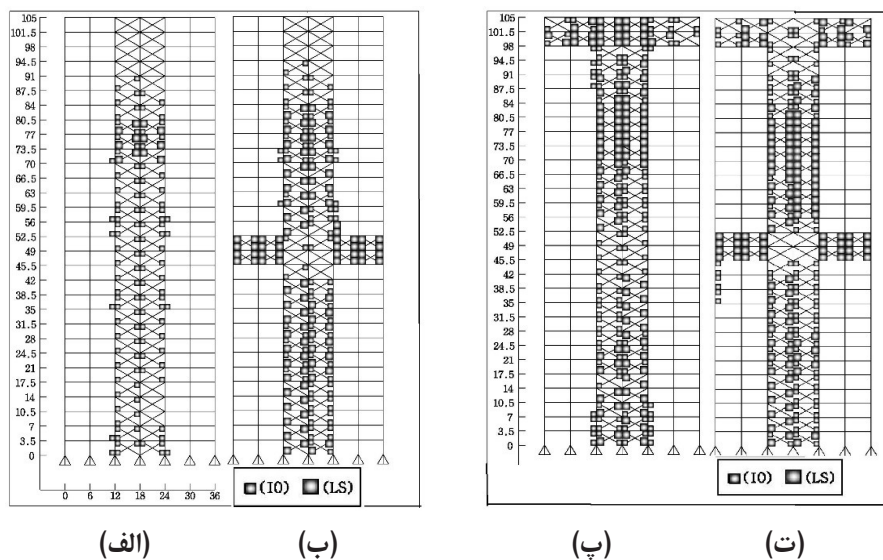


شکل ۱۱: توزیع نیروی محوری در ستون‌های نخستین طبقه

Fig. 11. The distribution of axial force in columns of the first story

JFP و SCS حاوی پالس‌های غیر هم‌زمان پر دامنه و بلند مدت است. وجود پالس‌های پر انرژی مذکور دارای نمود جنبش‌های ضربه‌ای بسیار نیرومند زمین در حوزه نزدیک به صفحه شکست گسل خواهد بود. ماهیت ضربه‌ای پالس‌های بزرگ تغییر مکان زمین نیز افزایش شدید پارامترهای برش پایه، نیروی محوری ستون‌ها، نیاز شکل‌پذیری و دریافت طبقات را نتیجه می‌دهد.

در تاریخچه زمانی رکوردهای نیرومند حوزه نزدیک می‌تواند سبب ایجاد تقاضاهای غیر الاستیک در رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بلند فولادی با اسکلت ترکیبی قاب محیطی مهاربندی شده و خرپاهای کم‌ری گردد. همچنین مشارکت مودهای نوسانی بالاتر نیز مزید بر علت بوده و افزایش نسبی دامنه پارامترهای پاسخ لرزه‌ای را در پی دارد. تاریخچه زمانی سرعت زمین متناظر با دو مولفه LN و TR رکوردهای بسیار نیرومند، TAB ، Bam



شکل ۱۲: آرایش و توزیع مفاصل پلاستیک (الف) مدل بدون کمر بند سخت‌کننده، (ب): مدل با کمر بند سخت‌کننده میانی، (پ) مدل با کمر بند سخت‌کننده انتهایی، (ت) مدل با کمر بند سخت‌کننده در دو تراز میانی و انتهایی

Fig. 12. Mechanism of the formed plastic hinges; (a) The model without belt truss; (b) The model with middle belt truss; (c) The model with top belt truss; (d) The model with middle and top belt trusses

۰/۸۳ تا ۰/۹ حاصل می‌گردد. مشخصه فوق برای مدل‌هایی که کمر بند سخت‌کننده در تراز $Z=H$ قرار دارد، در حدود ۰/۵ تا ۰/۸ ارتفاع نرمال شده اتفاق افتاده است.

در روند مطالعات این پژوهش به منظور نشان دادن این موضوع که بیشترین پاسخ محتمل سازه تحت اثر کدام جنبش نیرومند زمین رخ می‌دهد، طیف پاسخ سرعت رکوردهای مختلف بررسی گردید. به بیان روشن‌تر، در محلی که محور طیفی پی‌ریود مود اول سازه قرار دارد، رکوردی که دارای بیشترین مولفه ارتفاعی طیف پاسخ سرعت است، ماهیت و توانایی ایجاد نیاز افزون‌تری را در پاسخ سازه دارد. این موضوع یک معیار پایه است و با توجه به ماهیت رانندگی رکوردهای حوزه نزدیک حاوی اثرات جهت‌داری پیشرو، تنها می‌توان در محدوده رفتار دینامیکی خطی و دامنه رفتار لرزه‌ای با پتانسیل غیرخطی هندسی، به آن استناد نمود. همچنین در ارزیابی رفتار دینامیکی سازه‌های بلند مرتبه، مودهای بالاتر نیز تاثیر گذارند. ملاحظه شد که قرارگیری پی‌ریود مودهای بالاتر سازه در محل وقوع اکستریم‌های نسبی

۵- نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات پارامترهای پاسخ حاصل شده از آنالیز تاریخچه زمانی مدل‌های مطالعاتی تحت رکوردهای حوزه نزدیک و دور نشان می‌دهد که رکوردهای ثبت شده در ناحیه نزدیک گسل‌های فعال، موجب تغییرات بسیار متفاوتی در پاسخ لرزه‌ای سازه شده و دامنه عددی به مراتب بالاتری را ایجاد می‌کنند. ملاحظه گردید که مدل مطالعاتی ۳۰ طبقه با اسکلت مقاوم بدون کمر بند سخت‌کننده تحت یک سری از رکوردهای حوزه نزدیک حد مجاز دریافت را برآورد نمی‌نماید. طراحی و نصب خرپاهای کم‌ری در شکل کمر بندهای سخت‌کننده، می‌تواند یک راه کارآمد کاهش پارامترهای پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های بلند باشد. نمود روند کاهش در حداکثر پاسخ دریافت تحت رکورد سه مولفه‌ای نیرومند NWH در حالتی که کمر بند سخت‌کننده در بالای سازه، وسط و یا هر دو تراز قرار می‌گیرد، به ترتیب ۱۵، ۳۸ و ۳۰ درصد بوده است. همچنین بیشترین نیاز دریافت برای مدل بدون کمر بند سخت‌کننده و نیز مدل با کمر بند سخت‌کننده میانی در حدود تراز ارتفاعی

- building structures, *Engineering Structures*, 9(1) (1987) 53-67.
- [8] P.S. Kian, S.F. Torang, The use of outrigger and belt truss system for high-rise concrete buildings, *Journal of Civil Engineering Science and Application*, 3(1) (2001) 36-41.
- [9] S. Fawzia, T. Fatima, Deflection control in composite building by using belt truss and outriggers system, *Proceedings of the 2010 World Academy of Science, Engineering and Technology Conference*, 2010.
- [10] R. Kamgar, M.M Saadatpor, A simple mathematical model for free vibration analysis of combined system consisting of frame tube, shear core, belt truss and outrigger system with geometrical discontinuities". *Applied Mathematical Modeling*, 36 (2012) 4918-493.
- [11] M. Nicoreac, J. Hoenderkamp, Periods of vibration of braced frames with outriggers, *Procedia Engineering*, 40 (2012) 298-303.
- [12] M.I. Moinuddin, M.A. Afroz Khan, Study for the optimum location of outriggers for high-rise concrete building, *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 2(1) (2013) 628-633.
- [13] S. Lee, A. Tovar, Outrigger placement in tall buildings using topology optimization, *Engineering Structure*, 74 (2014) 122-129.
- [14] Standard No. 2800 (2014). Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings, 4th Edition, Tehran, Iran. (in Persian)
- [15] Building and Housing Research Center (BHRC), Iranian National Building Code, Division 6, Design Loads for Buildings, 2015. (in Persian)
- [16] Building and Housing Research Center (BHRC), Iranian National Building Code, Division 10, Steel Structures, 2015. (in Persian)
- [17] Federal Energy Management Agency (FEMA), (1998), *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings: Fema 356: Createspace Independent Publication*.
- [18] CSI (2010) *Analysis reference manual for Sap2000*, Berkeley-California, USA.
- [19] CSI (2007) *PERFORM3D - structural analysis software*, Berkeley-California, USA.
- [20] PEER Strong Motion, <http://peer.berkeley.edu>
- [21] H. Movahed, A. Meshkat-Dini, M. Tehranizadeh, Seismic evaluation of steel special moment resisting frames affected by pulse type ground motions, *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, 15(4) (2014) 575-585.
- [22] Seismosignal Software, Seismosoft (Earthquake

طیف پاسخ سرعت رکورد زلزله، یک عامل بیان کننده تاثیرات یاد شده است. افزون بر آن، با بررسی توزیع پوش بیشینه لنگر خمشی دینامیکی در ارتفاع سازه ملاحظه گردید که کمترین مقادیر مربوط به این برآیند نیرویی نیز در تراز فنداسیون سازه مربوط به حالت اسکلت مقاوم با کمربند سخت کننده میانی رخ داده است. وضعیت مذکور همراه با افزایش شدید لنگر خمشی دینامیکی در محل کمربند سخت کننده میانی می باشد. همچنین با بررسی نحوه تشکیل و گسترش مفاصل پلاستیک، افزایش سریع دامنه رفتار غیرخطی برای المان های این بخش از سازه نیز پدید خواهد آمد.

بررسی تغییرات نیروی محوری دینامیکی ستون های مربوط به تراز پایه سازه های مطالعاتی نشان دهنده تاثیرگذاری قابل توجه تعداد و محل قرارگیری ساختارهای سخت کننده است. ملاحظه گردید که کمترین تغییرات نیروی محوری دینامیکی ستون های پیرامونی پلان سازه های مطالعاتی برای حالت مدل دارای دو کمربند سخت کننده قرار گرفته در ترازهای بالایی و میانی اسکلت، رخ داده است. بیشترین تغییرات پارامتر مذکور نیز در سازه مطالعاتی با اسکلت دارای کمربند سخت کننده در تراز $H/5$ ایجاد گردید. همچنین محل قرارگیری کمربند سخت کننده بر تعداد و محل تشکیل مفاصل پلاستیک تاثیر گذار است. کاربرد اسکلت پیچیده تر دارای آرایش چندگانه خرپاهای کمری، سبب پدیدار شدن تغییرات نسبی در چگونگی و گستردگی مکانیزم مفاصل پلاستیک ایجاد شده در مهاربندها و المان های هر یک از پانل های کمربند سخت کننده خواهد شد.

مراجع

- [1] S. Fawzia, A. Nasir, T. Fatima, Study of the effectiveness of outrigger system for high-rise composite buildings for cyclonic region, *International Journal of Structural and Construction Engineering*, WASET, 5(12) (2011), 789-797.
- [2] R.S. Nair, Belt trusses and basements as "virtual" outriggers for tall buildings, *Engineering Journal*, American Institute of Steel Construction, 35(4) (1998) 140-146.
- [3] P. Pudjisuryadi, B. Lumantarna, H. Tandya, I. Loka, Ductility of a 60-story shearwall frame-belt truss (virtual outrigger) building, *Civil Engineering Dimension*, 14(1) (2012) 19-25.
- [4] B. Taranath, Optimum belt truss location for high-rise structures, *Structural Engineer*, 53(8) (1979) 18-21.
- [5] A. Rutenberg, Earthquake analysis of belted high-rise building structures, *Engineering Structures*, 1(4) (1979) 191-196.
- [6] B.S. Smith, I. Salim, Formulae for optimum drift resistance of outrigger braced tall building structures, *Computers and Structures*, 17(1) (1983) 45-50.
- [7] A. Rutenberg, D. Tal, Lateral load response of belted tall

- [26] A. Gupta, H. Krawinkler, Dynamic P-delta effects for flexible inelastic steel structures, *Journal of Structural Engineering*, 126(1) (2000) 145-154.
- [27] M. Abdi Moghadam, A. Meshkat-Dini, A. Sarvghad Moghadam, (2015) Seismic Performance of Steel Tall Buildings with Outrigger System in Near Fault, *Proceedings of 7th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, Tehran, IRAN.
- [28] P.K. Malhotra, Response of building to near-field pulse like ground motion, *Earthquake Engineering and Structural Dynamic*, 28 (1999) 1309-1326.
- [29] E. Kalkan, S. Kunnath, Effects of fling step and forward directivity on seismic response of buildings, *Earthquake Spectra*, 22 (2006) 367-390.
- Engineering Software Solution), <http://www.seismosoft.com>
- [23] M. Abdi-Moghadam, A. Meshkat-Dini, (February 2015) Assessment of seismic behavior of tall buildings with outrigger system, *Proceedings of the 5th National and 1st International Conference on Steel Structures*, Tehran, IRAN. (in Persian)
- [24] A.K. Chopra, *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 2007.
- [25] M. Willford, A. Whittaker, R. Klemencic, *Recommendations for the seismic design of high-rise buildings*, Council for Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH), (2008).

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

M. Abdi Moghadam, A. Meshkat-Dini, The Effect of Belt Truss Level on the Performance of Steel High-Rise Buildings Subjected to Near-Field Earthquakes . *Amirkabir J. Civil Eng.*, 49(4) (2018) 665-678.

DOI: 10.22060/ceej.2017.10553.4905



