



بررسی تاثیر صلبیت اتصال در جذب انرژی قاب‌های مهاربندی شده در سیستم‌های دوگانه سازه‌های فولادی

مرتضی نقی پور^۱، حسین صادقی قادی^۲

(دریافت ۸۸/۲/۲۸، پذیرش ۹۱/۱۱/۱)

چکیده

در دهه‌های اخیر محققان بسیاری در سراسر جهان به بررسی تاثیر اتصالات نیمه صلب بر رفتار سیستم‌های سازه ای فولادی پرداخته‌اند. در این مقاله اثر توام اتصالات نیمه صلب و صلب در سیستم‌های دوگانه‌ی شامل قاب‌های مهاربندی همگرا و واگرا با استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی مطالعه شده است. هریک از المان‌های تیر، ستون و اتصالات نیمه صلب بصورت سه خطی مدل‌سازی شده‌اند. پارامترهای مورد بررسی شامل جذب انرژی به تفکیک طبقه، بیشترین برش پایه، منحنی‌های هیستریزس اتصال نیمه صلب تحت زلزله‌های مختلف و تاثیر تعداد دهانه و ارتفاع بر رفتار سازه می‌باشند. بررسی منحنی‌های جذب انرژی نشان می‌دهد که میزان حداکثر انرژی جذب شده بین طبقه‌ای در سیستم‌های دو گانه با خیز و افت ناگهانی همراه است که نشان دهنده‌ی آسیب پذیری سازه از طبقه‌ای می‌باشد، که انرژی زیادی را جذب کرده است. منحنی‌های هیستریزس نشانگر بیشترین جذب انرژی اتصال نیمه‌صلب در سیستم قاب خمشی ویژه، توزیع مناسب انرژی به دهانه‌های مجاور گره‌ی اتصال نیمه‌صلب و ممانعت از تمرکز انرژی در دهانه‌ی مهاربندی سیستم‌های دوگانه می‌باشد.

کلمات کلیدی

اتصالات نیمه صلب، مهاربند همگرا و واگرا، جذب انرژی، سیستم دوگانه

The Effects of Connection Rigidity on Energy Absorption of Braced Frames in Dual Systems of Steel Frames

M. Naghipour, H. Sadeghi Ghadi

ABSTRACT

The effect of semi-rigid connections on the behavior of structural systems always draws the attention of many researchers to itself. In this article, the simultaneous effect of rigid and semi-rigid connections in dual systems such as braced frames are examined with nonlinear dynamic analysis. Each of the beam, column and the connections has been modeled in a three linear manner. The observed parameters in this research consist of energy dissipation of each story, ultimate base shear and hysteretic loops of semi-rigid connections. The parameters are observed under different earthquakes, and the effect of height of structure, as well as number of bays is considered. It can be seen from the energy dissipation diagram that in dual systems, the maximum observed energy between the two stories, occurred with a sudden and significant fluctuation which shows the viability of the structure in stories with the most energy absorption. The hysteretic diagram shows that the maximum energy absorption of the connection is occurred in special moment resisting frames. However the distribution of the energy between the neighboring bays of the semi rigid connection node is more fluent in dual braced systems, which prevents the energy concentration on the braced bay.

Key words

Semi-Rigid Connection, EBF & CBF Braced Frames, Energy Dissipation, Dual Systems

۱. دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی بابل، m-naghi@nit.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲. کارشناس ارشد سازه، دانشگاه محقق اردبیلی، Hossein.sadeghi.12@gmail.com



در تحلیل‌های متداول قاب‌های فولادی، اتصالات تیر به ستون بصورت یکی از دو حالت، صلب کامل و یا مفصلی ایده آل فرض می‌شوند. با این وجود، اتصالات واقعی بطور متوسط بین دو شرایط حدی رفتار می‌کنند و دارای سختی غیر خطی می‌باشند [۷]. این موضوع در زلزله ۱۹۹۴ نورتریج آمریکا بهتر نمایان شد. اثرات این زلزله نشان داد که اتصالات جوشی خمشی در قاب‌های فولادی مقاوم خمشی (MRF) در اثر زمین لرزه‌های شدید آسیب پذیر می‌باشند. لذا پس از این ماجرا نوعی دیگر از اتصالات یعنی اتصالات پیچی که اغلب اتصالات نیمه صلب نیز می‌باشند برای بهسازی و طراحی قاب‌های فولادی در مناطق با شدت لرزه خیزی بالا مورد استفاده قرار گرفت [۱۰]. در واقع بیشتر اتصالات مورد استفاده در قاب‌های فولادی عادت به رفتار نیمه صلب دارند که می‌توانند بطور ذاتی در توزیع تمام نیروهای اعضاء شرکت کنند [۸].

چن (۱۹۹۴) مشخصات پاسخ دینامیکی قاب‌های نیمه صلب با سختی غیر خطی اتصال را مورد تحقیق قرار داد. این مطالعات تحلیلی نشان داد که در اثر بارگذاری زلزله سختی قاب کاهش می‌یابد و فرکانس طبیعی قاب‌ها افزایش می‌یابد [۷]. این تحقیقات بطور مداوم توسط محققان بسیاری در سراسر جهان به منظور ارائه روش کاربردی در تحلیل و طراحی قاب‌های نیمه صلب ادامه یافت [۲]، [۱۲]، [۱۵]. امروزه نتایج این تحقیقات به صورت معادلات لنگر - دوران اتصال و یا تعیین محدودیت‌های طراحی در آیین نامه‌هایی مانند AISC2005، FEMA360، ATC40 تدوین شده است. در دهه‌های اخیر مطالعه سیستم مهاربندی همگرا با اتصال نیمه صلب مهاربندها، نقش اتصالات نیمه صلب بر رفتار سیستم‌های سازه‌ای، مزایا و معایب آن، توجه محققان را به خود جلب کرده است [۴]. در مطالعات پیشین تأثیر این نوع اتصال در سیستم قاب خمشی ویژه مورد بررسی قرار گرفته است [۱]، [۳]، [۷]، [۱۱]، [۱۳]، [۱۴].

با توجه به اهمیت و رایج بودن سیستم‌های دوگانه، در این مقاله اثر توام اتصالات نیمه صلب و صلب در سیستم‌های دو گانه‌ی شامل قاب‌های مهاربندی شده همگرا و واگرا در مقایسه با سیستم قاب خمشی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، اتصالات تیر به ستون دهانه‌های مهاربندی سیستم‌های دو گانه و دهانه‌های مشابه آن در سیستم قاب خمشی، نیمه صلب در نظر گرفته شده است و در سایر دهانه‌ها اتصالات تیر به ستون صلب فرض شده است مدل‌های انتخابی شامل قاب‌های ۲ و ۳ و ۴ دهانه با تعداد طبقات ۵، ۱۰، ۱۵ می‌باشد. در مطالعه سیستم‌های مورد نظر از شتاب‌نگاشت‌های سه زمین لرزه شامل السترو، ناغان و طبس استفاده شده است. این زمین لرزه‌ها دارای حداکثر شتاب و محتوای فرکانسی متفاوتی نسبت به همدیگر می‌باشند. مشخصات مهم پاسخ دینامیکی قاب‌های فولادی که در این مقاله بحث شده است شامل جذب انرژی به تفکیک طبقه، منحنی‌های هیستریزس اتصال نیمه صلب، تاریخچه تغییر مکانی گره‌ی بام، تاریخچه برش پایه، تأثیر تعداد دهانه و ارتفاع بر رفتار سازه می‌باشد و به منظور بررسی تأثیر صلبیت اتصال نیمه صلب بر رفتار سازه از دو نوع اتصال نیمه صلب شامل اتصال با نبشی بالا و پایین و اتصال با سپری استفاده شده است.

برای انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی از نرم افزار Perform-3D استفاده شده است.

۲- مدلسازی

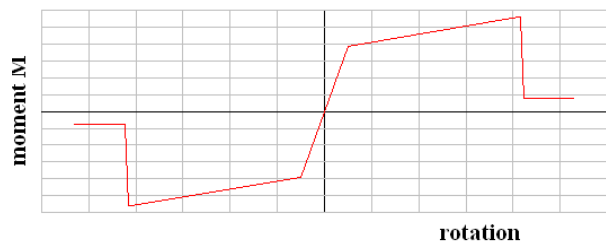
۲-۱- مدلسازی اتصال

عموماً اتصالات تیر به ستون نقش مهمی را در انتقال نیروهای محوری، نیروهای برشی و لنگرهای خمشی از تیر به ستون بر عهده دارند [۷]. اگر بخواهیم تأثیرات اتصالات در تحلیل سازه را در نظر بگیریم، لازم است که منحنی لنگر، دوران اتصال به دقت مدلسازی شود [۸].

برای این منظور از آیین نامه FEMA 356 جهت معرفی منحنی لنگر دوران اتصال استفاده شده است. بر اساس این آیین نامه برای اتصال نیمه صلب با نبشی بالا و پایین و



اتصال با سپری، چهار حالت حدی در نظر گرفته شده است. در این حالات حدی به ترتیب شکست برشی در پیچ، شکست افقی بال افقی نبشی و یا جان سپری، شکست کششی پیچ و شکست خمشی اتصال بر اساس روابط ارائه شده در آیین نامه FEMA 356 کنترل می‌شود. لنگر مقاوم مورد انتظار اتصال، در جهت اطمینان کوچکترین مقدار حاصل از چهار حالت حدی بیان شده، انتخاب می‌گردد. نتایج تحلیل و طراحی اتصالات نیمه صلب مورد بحث نشان داد که شکست خمشی اتصال، تعیین کننده لنگر مقاوم مورد انتظار در اتصال می‌باشد. این موضوع بیانگر این است که سختی محوری و برشی اتصال به اندازه کافی سخت‌تر از سختی خمشی اتصال می‌باشد که این موضوع مطابق با فرض کششی و چن (۲۰۰۳) در مدلسازی اتصال نیمه صلب می‌باشد. آنها در مدلسازی اتصال نیمه صلب فرض کردند که تاثیرات نیروهای برشی محوری اعمال شده بر اتصال در اثر پاسخ دینامیکی قاب‌ها قابل صرف نظر کردن است. بنابراین فقط سختی خمشی اتصال را به عنوان متغیر در نظر گرفتند [۷]. در مدلسازی اتصال نیمه صلب شیب قسمت سخت شدگی ۶ درصد شیب قسمت الاستیک فرض شده است منحنی لنگر دوران این اتصال در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱). منحنی لنگر- دوران اتصال نیمه صلب

۲-۲- مدلسازی تیر و ستون

ستون‌ها و تیرها تحت خمش رفتار شکل پذیری از خود نشان می‌دهند و در گروه اعضای کنترل شونده توسط تغییر شکل قرار می‌گیرند. بنابراین به منظور بالا بردن دقت تحلیل نیاز است که خاصیت شکل پذیری این اعضا در تحلیل در نظر گرفته شود. برای این منظور منحنی لنگر -

دوران هر یک از اعضا بر اساس ضوابط آیین نامه FEMA 356 برای تحلیل دینامیکی قاب‌ها در نظر گرفته شده است. در ستون‌های سیستم دو گانه مهار بندی شده علاوه بر خاصیت شکل پذیری می‌بایست در اثر نیروی محوری اعمال شده بر آن، ضوابط کنترل شونده نیروی نیز مورد بررسی قرار گیرد. هر دو المان تیر و ستون از چند قسمت تشکیل شده‌اند که شامل:

نواحی انتهایی + مفاصل پلاستیک یا (اتصال نیمه صلب در تیرها) + قسمت الاستیک تیر یا ستون + مفاصل پلاستیک یا (اتصال نیمه صلب در تیرها) + نواحی انتهایی [۹]. مدلسازی منحنی لنگر - دوران تیر و ستون همانند شکل (۱) در نظر گرفته شده است. با این تفاوت که شیب قسمت سخت شدگی ۳ درصد شیب قسمت الاستیک اولیه فرض شده است.

۲-۳- مدلسازی مهار بندها و تیر پیوند

در سیستم دوگانه‌ی مهار بندی شده با مهاربندهای همگرا، مهاربندها همانند اتصالات نقش مهمی را در قاب‌های مهار بندی شده ایفا می‌کنند نتیجه مطالعه‌های تحلیلی تانگ و گوئل، حسن و گوئل به ترتیب در سال‌های ۱۹۸۷ و ۱۹۹۱ بر روی سیستم‌های مهار بندی نشان داد که مفاصل پلاستیک به طور معمول در دو انتهای مهاربند و در وسط دهانه مهاربند ایجاد می‌شوند [۶]. در مدلسازی مهار بندها از نتایج تحلیلی فوق و روابط منحنی لنگر - دوران FEMA356 برای مهاربند همگرا استفاده شده است علاوه بر این مطابق AISC2005 تیرهای دهانه مهاربندی همگرا بگونه‌ای طراحی شده اند که بتوانند یک نیروی نامتعادل عمودی که در اثر تسلیم مهاربندها و در نقطه تقاطع آنها ایجاد می‌شود را تحمل کنند. نقش اتصالات نیمه صلب تیرها به ستوهای این دهانه بسیار مهم می‌باشد که در این مقاله مورد تحقیق قرار گرفته است در مدلسازی تیر پیوند، شرایط تیر پیوند برشی در نظر گرفته شده و منحنی لنگر، دوران آن نیز بر اساس FEMA356 مدل شده است.

۳- فرضیات تحلیل

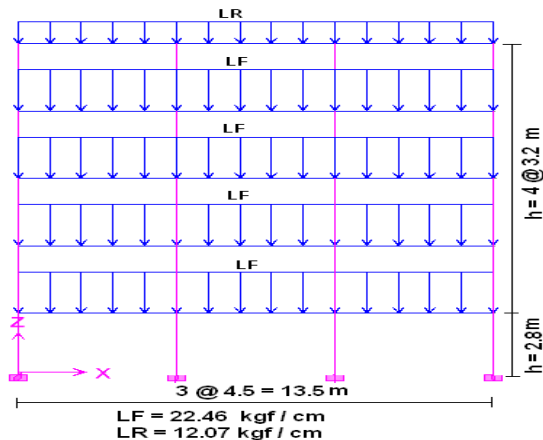
۳-۱- مبانی تحلیل

روند تحلیلی در هر سه سیستم دو گانه مهار بندی شده همگرا، مهار بندی شده واگرا و سیستم قاب خمشی بر این اصل استوار است که ابتدا یک تحلیلی تحت اثر بار ثقلی وارد بر سازه انجام می‌گیرد و سپس تحلیلی دیگری بر اساس ترکیب بار ثقلی با نیروی زلزله صورت می‌پذیرد. در این مرحله به هر یک از المان‌های قاب اجازه داده می‌شود که تا نقطه‌ی DX در منحنی نیرو - تغییر مکان یا لنگر - دوران تغییر شکل دهند (شکل ۲). به محض اینکه تغییر شکل در المانی از نقطه‌ی DX (آستانه فرو ریزش برای المان) در منحنی نشان داده شده در شکل (۲) بیشتر گردد، تحلیل سازه متوقف می‌شود و المانی که سبب ناپایداری موضعی در یک قسمت قاب شده با تقویت توسط ورق و یا تغییر مقطع ترمیم می‌گردد. آنگاه تحلیل مجدد قاب با تغییر بوجود آمده در سختی سازه انجام می‌گیرد. این روند آنقدر تکرار می‌شود تا اعضای طراحی شوند که قابلیت مقاومت در برابر نیروهای وارده را دارا باشند بطوری که بتوانند تا اتمام مدت زمان زلزله بدون ایجاد ناپایداری موضعی نیروهای اعمال شده را جذب و پراکنده سازند. هدف از انجام این روند تکراری برای تحلیل قاب‌ها ایجاد شرایط مناسب برای بررسی رفتار واقعی سازه در توزیع انرژی و سایر پارامترهای مورد مطالعه در این مقاله می‌باشد.

از مزیت این روش تحلیل این است که نیروهای هر یک از المان‌ها با تغییرهای بسیار در ماتریس سختی در هر مرحله محاسبه و در گام آخر مقادیر واقعی تلاش‌های هر یک از اجزای سازه تعیین می‌شود که این سبب افزایش دقت تحلیل و مقاطع انتخابی برای سازه می‌گردد.

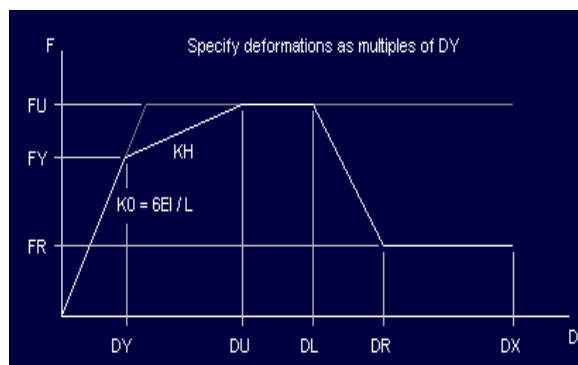
۳-۲- قاب‌های ۵ و ۱۰ و ۱۵ طبقه با ۲ و ۳ و ۴ دهانه شکل (۳) قاب ۵ طبقه و سه دهانه مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد در سایر قاب‌های ۵ و ۱۰ و ۱۵ طبقه با دهانه‌های متفاوت ۲ و ۳ و ۴ که به دلیل کاهش حجم شکل‌ها، آورده نشده است، بارگذاری‌ها، عرض دهانه و ارتفاع طبقات همانند شکل (۳) می‌باشد جرم توزیع شده توسط بارهای وارد بر طبقات و بام (LF, LR) با یک جرم متمرکز در مرکز جرم هر طبقه جایگزین شده است مشخصات مصالح فولادی بکار رفته در تیرها، ستون‌ها و مهار بندها عبارتند از:

مدول یانگ $E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ ، ضریب پواسون $\nu = 0.3$ و جرم واحد حجم آن 795 Kg/m^3 .



شکل (۳). نمای کلی از قاب ۵ طبقه، ۳ دهانه

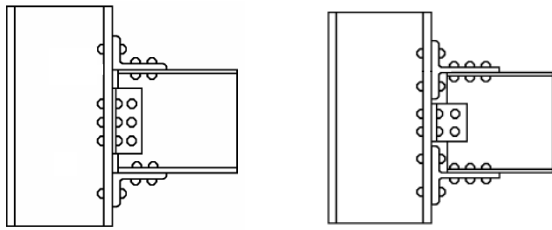
شکل (۴) آرایش اتصالات صلب و نیمه صلب در قاب‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در سایر مدل‌ها نیز دهانه‌های مهار بندی سیستم‌های دو گانه اتصالات تیر به ستون نیمه صلب فرض شده است. در دهانه‌های فاقد مهار بندی اتصالات تیر به ستون صلب می‌باشد. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است آرایش اتصالات صلب و نیمه



شکل (۲). منحنی نیرو - تغییر مکان مورد استفاده در تحلیل

با نرم افزار 3D - Perform





شکل (۵). هندسه اتصالات نیمه صلب

۳-۳- شتاب‌نگاشت‌ها

به منظور تحقیق در ظرفیت لرزه‌ای قاب‌های نیمه صلب و سیستم‌های لرزه‌ای مورد مطالعه از سه شتاب‌نگاشت به شرح زیر استفاده شده است

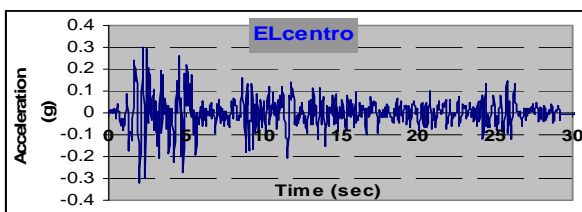
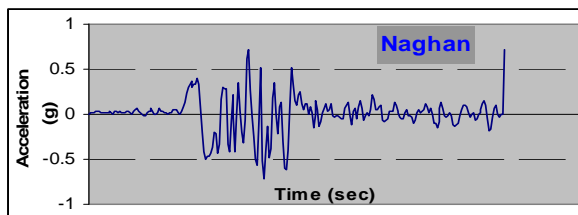
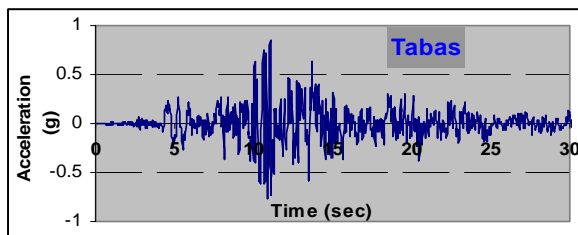
الف - مولفه طولی زلزله طبس با $PGA = 0.85 g$

ب- مولفه شمالی جنوب زلزله السترو با

$$PGA = 0.32 g$$

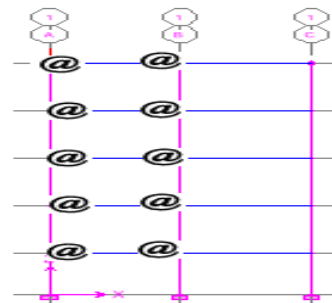
ج- مولفه طولی زلزله ناغان با $PGA = 0.72 g$

در شکل (۵) سه شتاب‌نگاشت مورد استفاده در این مقاله نشان داده شده است. این شتاب‌نگاشت‌ها به حداکثر شتاب زمین (g) مقیاس شده اند.

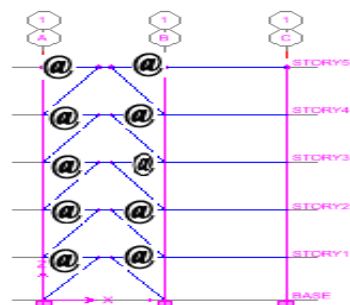


شکل (۶). شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده به g

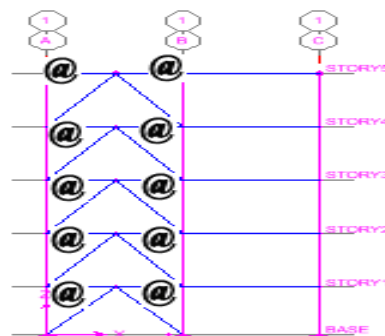
صلب در سیستم قاب خمشی ویژه نیز مطابق سیستم‌های دوگانه می‌باشد. در این شکل اتصال نیمه صلب با نماد @ نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده مدل‌ها یکبار با اتصال نیمه صلب نبشی بالا و پایین و بار دیگر با اتصال نیمه صلب سپری مدلسازی شده اند و سپس با در نظر گرفتن سختی غیر خطی برای این اتصالات و سایر المان‌هایی که برای آنها منحنی لنگر دوران و یا نیرو - تغییر مکان تعیین شده بود رفتار قاب در نرم افزار perform-3D تحت بارگذاری ثقلی و شتاب‌نگاشت‌های زلزله مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.



الف) قاب خمشی با اتصالات نیمه صلب



ب) قاب واگرا با اتصالات نیمه صلب



پ) قاب همگرا با اتصالات نیمه صلب

شکل (۴). آرایش اتصالات صلب و نیمه صلب در قاب‌ها

۴- نتایج تحلیل و بررسی پارامترهای مورد مطالعه

۴-۱- پریود طبیعی

از آنجایی که پریود طبیعی یک قاب براساس اکثر آیین نامه‌های طراحی سازه به ارتفاع قاب بستگی دارد، لذا می‌توان پریود طبیعی قاب را به عنوان یک پارامتر تاثیرگذار در رفتار سازه، به تفکیک تعداد طبقه در دهانه‌های متفاوت مورد بررسی قرار داد. بدین منظور پریود طبیعی ۵ مود اول سیستم‌های دوگانه مهار بندی شده و سیستم قاب خمشی در اثر صلیبیت متفاوت دو نوع اتصال نیمه صلب در جدول‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است از این جداول می‌توان تاثیر تعداد دهانه و صلیبیت اتصال نیمه صلب بر پریود سازه را مورد مطالعه قرار داد.

جدول (۱). اتصال با سپری

زمان تناوب قاب خمشی بر حسب ثانیه					
قاب	مود ۱	مود ۲	مود ۳	مود ۴	مود ۵
۵ طبقه و ۲ دهانه	۶,۶۰۴	۱,۳۱	۱,۲۱۷	۰,۵۰۲	۰,۴۳۱
۵ طبقه و ۳ دهانه	۶,۵۵	۱,۳۷	۱,۱۷۵	۰,۵۲۲	۰,۴۳
۵ طبقه و ۴ دهانه	۶,۴۴	۱,۳۳	۱,۲۲	۰,۵۲	۰,۴۵
۱۰ طبقه و ۲ دهانه	۸,۴۵	۱,۷۸	۱,۷۲	۰,۷۳۴	۰,۶۴۳
۱۰ طبقه و ۳ دهانه	۹,۷۱	۱,۹۵	۱,۶۶	۰,۷۱۹	۰,۶۱۵
۱۰ طبقه و ۴ دهانه	۹,۹۹۷	۲,۰۱	۱,۷۵	۰,۸۱۴	۰,۶۵۳
۱۵ طبقه و ۲ دهانه	۱۷,۲۱	۳,۷۹۴	۲,۳۴	۱,۵۴	۰,۸۴۴
۱۵ طبقه و ۳ دهانه	۱۷,۵۷	۳,۹۵۸	۲,۲۵۳	۱,۵۹۴	۰,۸۸۴
زمان تناوب قاب همگرا بر حسب ثانیه					
قاب	مود ۱	مود ۲	مود ۳	مود ۴	مود ۵
۵ طبقه و ۲ دهانه	۱۱,۰۵	۲,۱۷۱	۰,۸۱۱	۰,۴۲۵	۰,۳۳۲
۵ طبقه و ۳ دهانه	۱۰,۷۸	۲,۱۸۶	۰,۸۲۲	۰,۴۲۹	۰,۳۹۲
۵ طبقه و ۴ دهانه	۱۳,۴۹	۲,۴۱	۰,۹۲۶	۰,۴۸۳	۰,۳۸۹
۱۰ طبقه و ۲ دهانه	۲۶,۸۶	۶,۴۱۷	۲,۶	۱,۲۸۲	۰,۹۴۲
۱۰ طبقه و ۳ دهانه	۲۳,۱۷	۵,۷۸۷	۲,۲۲۳	۱,۱۹۵	۱,۰۱۹
۱۰ طبقه و ۴ دهانه	۲۲,۹۹	۵,۶۱۲	۲,۳۰۴	۱,۱۸۴	۰,۹۳۹
۱۵ طبقه و ۲ دهانه	۳۵,۷۹	۸,۵۷۳	۳,۴۵	۱,۸۹۶	۱,۵۹۷
۱۵ طبقه و ۳ دهانه	۲۷,۲۶	۶,۸۲۱	۲,۹۱۲	۱,۵۸۸	۱,۵۴۴
زمان تناوب قاب واگرا بر حسب ثانیه					
قاب	مود ۱	مود ۲	مود ۳	مود ۴	مود ۵
۵ طبقه و ۲ دهانه	۱۲,۹۱	۲,۲۴۸	۰,۸۴۶	۰,۵۰۷	۰,۴۳۹
۵ طبقه و ۳ دهانه	۱۳,۷۱	۲,۳۷۹	۰,۸۹۴	۰,۵۷۵	۰,۴۶۴
۵ طبقه و ۴ دهانه	۱۶,۱۵	۲,۶۷۲	۰,۹۷۳	۰,۵۰۲	۰,۵۰۱
۱۰ طبقه و ۲ دهانه	۲۷,۹۸	۶,۵۷۹	۲,۵۳۳	۱,۳۴۶	۱,۱۳۱
۱۰ طبقه و ۳ دهانه	۲۳,۴	۵,۴۲۴	۲,۱۹۳	۱,۲۱۶	۱,۱۲۷
۱۰ طبقه و ۴ دهانه	۲۴,۲۳	۵,۹۴۲	۲,۴۰۹	۱,۲۲۴	۱,۱۱۷
۱۵ طبقه و ۲ دهانه	۳۵,۵	۸,۵۱۹	۳,۵۲۷	۱,۸۷۹	۱,۷۲۸
زمان تناوب قاب واگرا بر حسب ثانیه					
قاب	مود ۱	مود ۲	مود ۳	مود ۴	مود ۵
۵ طبقه و ۲ دهانه	۱۲,۷۹	۲,۲۳۱	۰,۸۴۱	۰,۵۰۳	۰,۴۳۷
۵ طبقه و ۳ دهانه	۱۳,۷۱	۲,۳۷۹	۰,۸۹۴	۰,۵۷۴	۰,۴۶۴
۵ طبقه و ۴ دهانه	۱۶,۱۵	۲,۶۷۲	۰,۹۷۳	۰,۵۰۲	۰,۵۰۱
۱۰ طبقه و ۲ دهانه	۲۷,۹۸	۶,۵۷۹	۲,۵۳۳	۱,۳۴۶	۱,۱۳
۱۰ طبقه و ۳ دهانه	۲۳,۴	۵,۴۲۴	۲,۱۹۳	۱,۲۱۴	۱,۱۲۷
۱۰ طبقه و ۴ دهانه	۲۴,۲۳	۵,۹۴۲	۲,۴۰۹	۱,۲۲۴	۱,۱۱۵
۱۵ طبقه و ۲ دهانه	۳۵,۵	۸,۵۱۹	۳,۵۲۷	۱,۸۷۹	۱,۷۲۶

جدول (۲). اتصال با نبشی بالا و پایین

زمان تناوب قاب خمشی بر حسب ثانیه					
قاب	مود ۱	مود ۲	مود ۳	مود ۴	مود ۵
۵ طبقه و ۲ دهانه	۶,۶۰۵	۱,۳۱	۱,۲۸۷	۰,۵۰۲	۰,۴۴۸
۵ طبقه و ۳ دهانه	۶,۵۵	۱,۳۷	۱,۲۰۶	۰,۵۲۲	۰,۴۳۶
۵ طبقه و ۴ دهانه	۶,۴۴	۱,۳۳	۱,۲۷	۰,۵۱۸	۰,۴۵۹
۱۰ طبقه و ۲ دهانه	۸,۴۴۸	۱,۸۶۵	۱,۷۸۳	۰,۷۳۴	۰,۶۷۹
۱۰ طبقه و ۳ دهانه	۹,۷۱	۱,۹۴۹	۱,۷۳۵	۰,۷۸۹	۰,۶۳۷
۱۰ طبقه و ۴ دهانه	۹,۹۹۷	۲,۰۰۸	۱,۹۲۲	۰,۸۱۴	۰,۷۱۰
۱۵ طبقه و ۲ دهانه	۱۷,۲۱	۳,۷۹۴	۲,۶۳۵	۱,۵۳۶	۰,۹۲۳
۱۵ طبقه و ۳ دهانه	۱۷,۵۷	۳,۹۵۸	۲,۴۱۶	۱,۵۹۴	۰,۸۸۴
زمان تناوب قاب همگرا بر حسب ثانیه					
قاب	مود ۱	مود ۲	مود ۳	مود ۴	مود ۵
۵ طبقه و ۲ دهانه	۱۱,۰۵	۲,۱۷۱	۰,۸۱۱	۰,۴۲۵	۰,۳۳۲
۵ طبقه و ۳ دهانه	۱۰,۷۸	۲,۱۸۶	۰,۸۲۲	۰,۴۲۹	۰,۳۹۲
۵ طبقه و ۴ دهانه	۱۳,۴۹	۲,۴۱	۰,۹۲۶	۰,۴۸۳	۰,۳۸۹
۱۰ طبقه و ۲ دهانه	۲۶,۸۶	۶,۴۱۷	۲,۶	۱,۲۸۲	۰,۹۴۲
۱۰ طبقه و ۳ دهانه	۲۳,۱۷	۵,۷۸۷	۲,۲۲۳	۱,۱۹۵	۱,۰۱۹
۱۰ طبقه و ۴ دهانه	۲۲,۹۹	۵,۶۱۲	۲,۳۰۴	۱,۱۸۴	۰,۹۳۹
۱۵ طبقه و ۲ دهانه	۳۵,۷۹	۸,۵۷۳	۳,۴۵	۱,۸۹۶	۱,۵۹۷
۱۵ طبقه و ۳ دهانه	۲۷,۲۶	۶,۸۲۱	۲,۹۱۲	۱,۵۸۸	۱,۵۴۴
زمان تناوب قاب واگرا بر حسب ثانیه					
قاب	مود ۱	مود ۲	مود ۳	مود ۴	مود ۵
۵ طبقه و ۲ دهانه	۱۲,۹۱	۲,۲۴۸	۰,۸۴۶	۰,۵۰۷	۰,۴۳۹
۵ طبقه و ۳ دهانه	۱۳,۷۱	۲,۳۷۹	۰,۸۹۴	۰,۵۷۵	۰,۴۶۴
۵ طبقه و ۴ دهانه	۱۶,۱۵	۲,۶۷۲	۰,۹۷۳	۰,۵۰۲	۰,۵۰۱
۱۰ طبقه و ۲ دهانه	۲۷,۹۸	۶,۵۷۹	۲,۵۳۳	۱,۳۴۶	۱,۱۳۱
۱۰ طبقه و ۳ دهانه	۲۳,۴	۵,۴۲۴	۲,۱۹۳	۱,۲۱۶	۱,۱۲۷
۱۰ طبقه و ۴ دهانه	۲۴,۲۳	۵,۹۴۲	۲,۴۰۹	۱,۲۲۴	۱,۱۱۷
۱۵ طبقه و ۲ دهانه	۳۵,۵	۸,۵۱۹	۳,۵۲۷	۱,۸۷۹	۱,۷۲۸



آنچه که از این جداول نتیجه می‌شود به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- اختلاف زمان تناوب سازه بین دو مود اول برای سیستم‌های مورد بررسی بسیار چشمگیر بوده به طوری که پریود مود اول تقریباً ۵ برابر پریود مود دوم می‌باشد. اختلاف بین دو مود اول بیانگر این است که تاثیر دو مود اول در رفتار سازه می‌تواند قابل ملاحظه باشد. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که در مودهای بالاتر از تناوب سازه در سه سیستم مورد مطالعه کاسته شده است.

- ۲- همان‌طور که می‌دانیم افزایش پریود به نوعی سبب نرم‌تر شدن سازه در اثر تحریکات لرزه‌ای می‌گردد. از مقایسه پریود مود اول بین سیستم‌های دو گانه مهار بندی شده و سیستم قاب خمشی مشاهده می‌شود که سیستم‌های دوگانه پریودی در حدود ۲ برابر بزرگتر از سیستم قاب خمشی دارند و بیانگر این نکته می‌باشد که تاثیر اتصال نیمه صلب در افزایش پریود سیستم‌های دو گانه نسبت به سیستم قاب خمشی بیشتر است. بنابراین سیستم‌های دوگانه با اتصالات نیمه صلب به علت دارا بودن پریود بزرگتری نسبت به سیستم قاب خمشی با اتصالات نیمه صلب رفتار نرمتری از خود نشان می‌دهند و این ویژگی در سازه سبب کاهش نیروهای وارد بر سازه می‌گردد که در بخش‌های بعدی با بررسی منحنی‌های تاریخچه‌ی زمانی برش پایه این موضوع اثبات می‌شود.

- ۳- تعداد دهانه در پریود قاب‌های ۵ طبقه اثر قابل ملاحظه‌ای ندارد ولی در قاب‌های ۱۰ و ۱۵ طبقه در دو مود اول، افزایش دهانه در سیستم قاب خمشی و سیستم‌های دوگانه مهاربندی شده همگرا و واگرا به ترتیب افزایش و کاهش پریود سازه را به دنبال دارد که این تاثیر نیز در مودهای بالاتر بسیار کم رنگ می‌باشد. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی نمی‌توان قانون مشخصی برای اثر دهانه بر پریود سازه تعیین کرد.

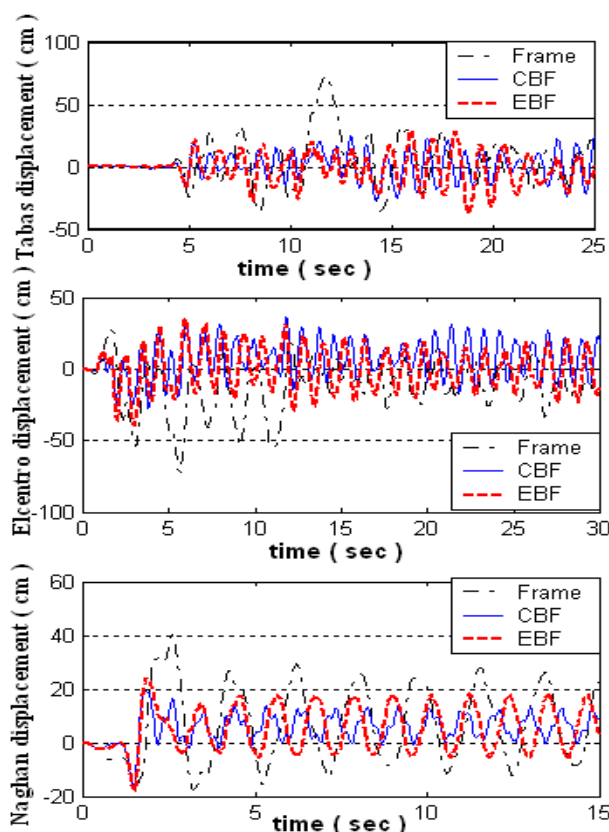
- ۴- صلبیت اتصال نیمه صلب بر پریود سازه تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد.

- ۵- همان‌طور که انتظار داشتیم با افزایش ارتفاع، پریود سازه افزایش می‌یابد که این افزایش در سه سیستم مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد.

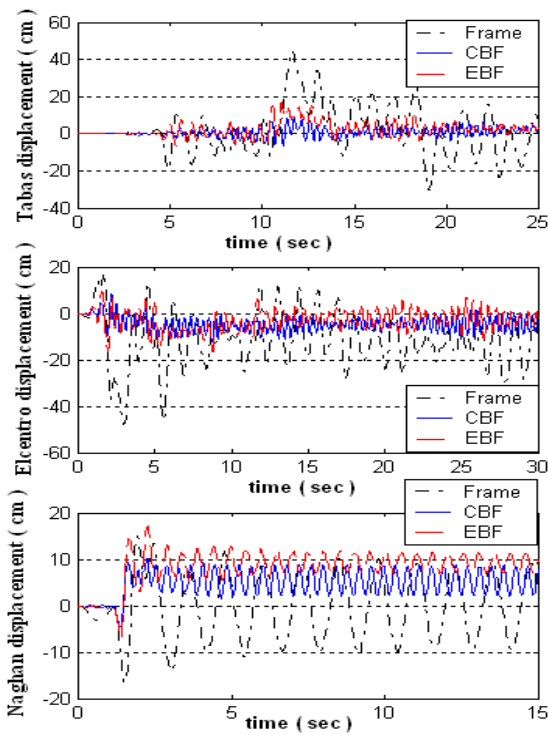
قاب خمشی >> قاب همگرا > قاب واگرا

۴-۲- تغییر مکان‌های جانبی

طبق تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی قاب‌های با اتصالات نیمه صلب بزرگترین عیب این اتصالات در سیستم‌های قاب خمشی تغییر مکان‌های جانبی بیش از حد مجاز آنها بوده است. از اینرو بررسی این پارامتر در سیستم‌های مهار بندی شده و مقایسه آن با سیستم قاب خمشی بصورت تاریخچه زمانی تغییر مکان در یک گره خاص می‌تواند مفید واقع شود. شکل‌های ۷ الی ۱۰ نمونه‌هایی از تاریخچه تغییر مکانی گره انتهایی در گوشه سمت راست بام را نشان می‌دهند.



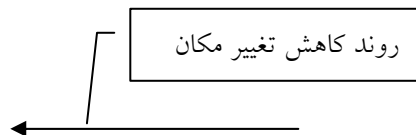
شکل (۷). تاریخچه تغییر مکانی گره بام در قاب ۱۰ طبقه و ۴ دهانه با اتصال سپری



شکل (۱۰). تاریخچه تغییر مکانی گره بام در قاب ۵ طبقه و ۴ دهانه با اتصال سپری

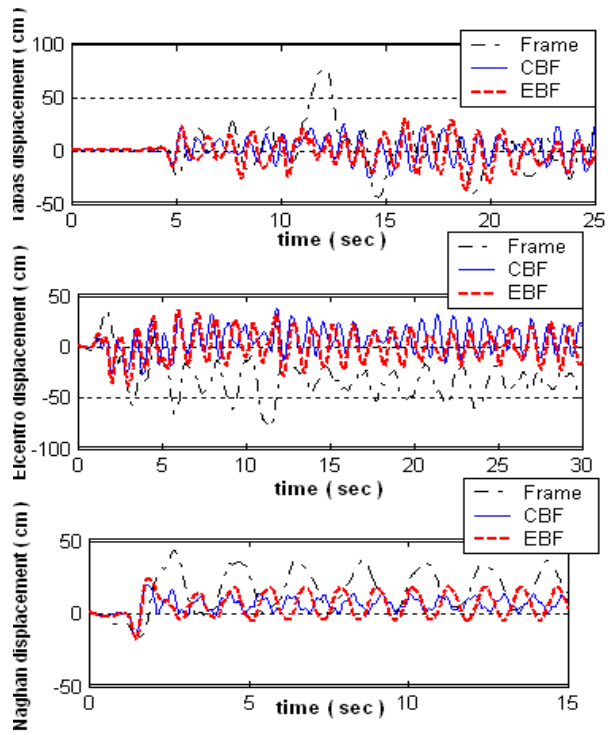
نمودارها نشان می دهند که :

۱- در حالی که سیستم قاب خمشی تغییر مکان های گرهی بزرگی را متحمل شده است اما تاریخچه ی تغییر مکان گرهی در سیستم دوگانه با مهار بند همگرا تحت زلزله طبس و السترو تغییر مکان های کوچکتری را نشان می دهد و سازه در این حالت با وجود اتصالات نیمه صلب رفتار مناسبی را در اغلب مدل های مورد بررسی از خود نشان داده است. روند کاهش تغییر مکان گرهی در سیستم های مورد بررسی به صورت زیر می باشد.

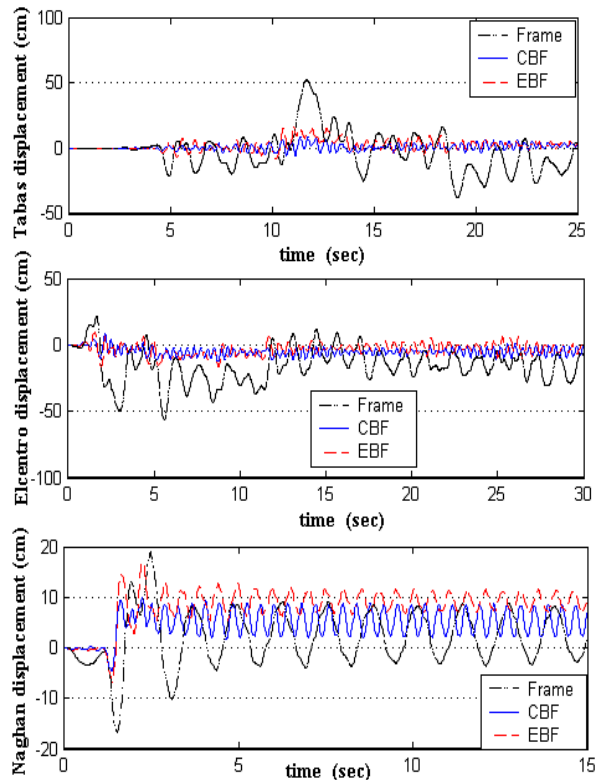


قاب خمشی >> قاب واگرا > قاب همگرا

۲- با بررسی افزایش تعداد دهانه در قاب ها مشاهده می شود که نمی توان برای بیشینه تغییر مکان گرهی قانون معینی را تبیین کرد، اما از افزایش ارتفاع می توان افزایش تغییر مکان در سازه را نتیجه گرفت.



شکل (۸). تاریخچه تغییر مکانی گره بام در قاب ۱۰ طبقه و ۴ دهانه با اتصال نبشی



شکل (۹). تاریخچه تغییر مکانی گره بام در قاب ۵ طبقه و ۴ دهانه با اتصال نبشی



۳- از نمودارهای تاریخچه زمانی می‌توان به اختلاف زیاد بیشینه تغییر مکان رفت نسبت به بیشینه تغییر مکان برگشت در سیستم قاب خمشی با اتصالات نیمه صلب تحت زلزله‌های طبع و الاسترو پی‌برد. اثر این پدیده در واقع مشابه این است که در یک بازه‌ی زمانی کوتاه دو ضربه‌ی بزرگی را در دو جهت رفت و برگشتی به سازه اعمال نماییم که این امر برای یک سازه مطلوب نمی‌باشد. سیستم‌های دوگانه اغلب تغییر مکان‌های رفت و برگشتی تقریباً مشابهی از خود نشان داده‌اند که نشان‌دهنده‌ی رفتار منظم‌تر سیستم‌های دوگانه نسبت به سیستم قاب خمشی می‌باشد.

۴- در برخی نمودارها تعداد سیکل‌های تغییر مکان رفت نسبت به برگشت و بالعکس بیشتر می‌باشد علت این رفتار در سازه می‌تواند ناشی از اثر همزمان بار ثقلی و شتاب‌نگاشت‌های زلزله‌ی اعمال شده باشد که با تاثیر $P-\Delta$ بر تعداد سیکل‌های تغییر مکانی در یک جهت می‌افزاید.

۳-۴- برش پایه

برش پایه از جمله پارامترهای مهم دیگری است که می‌تواند مبنای ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها باشد. نیروهای جانبی زلزله به صورت نیروهای برشی در طبقات مختلف ساختمان‌ها اثر می‌نماید به طوری که بیشترین مقدار نیروی برشی در طبقه پایین وارد می‌شود. این نیروها توسط سیستم‌های مقاوم لرزه‌ای مانند مهار بندها و سیستم‌های قاب خمشی جذب می‌شوند. هر چند ظرفیت مقاومت برشی ساختمان‌ها در حد جاری شدن بیشتر از نیروهای جانبی است که توسط آئین نامه‌های زلزله بدست می‌آیند، اما در هنگام یک زمین لرزه بزرگ نیروهای جانبی چندین برابر مقادیر آئین نامه‌ها بوده و از حد برش جاری شدن تجاوز می‌نمایند. بنابراین بررسی تاریخچه‌ی زمانی برش در پایه ستون‌های طبقه‌ی اول برای سیستم‌های مقاوم لرزای مورد مطالعه مناسب می‌باشد. در شکل‌های ۱۱ الی ۱۴ تاریخچه زمانی برش در پایه ستون‌های طبقه اول قاب‌های ۵، ۱۰ طبقه و ۲ دهانه تحت ترکیب بار ثقلی و

شتاب‌نگاشت‌های زلزله به عنوان نمونه نشان داده شده است.

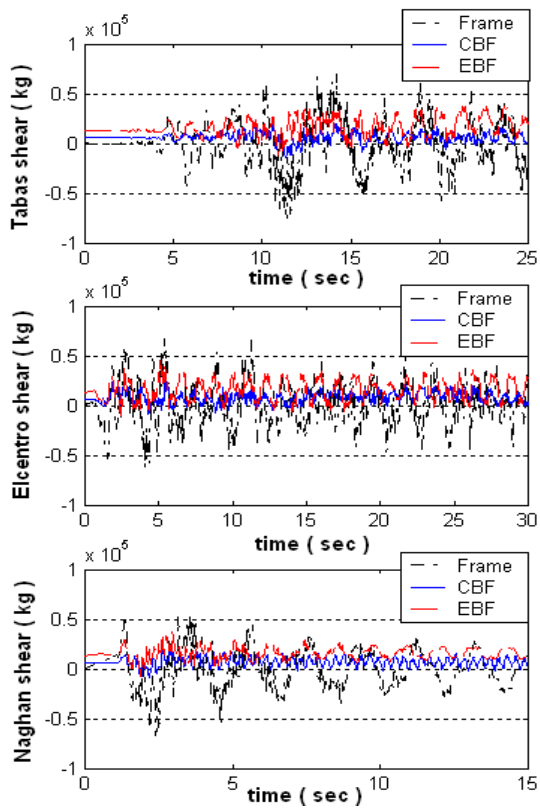
نتایجی که از این نمودارها حاصل می‌گردد، عبارتند از:

۱- نمودارهای تاریخچه زمانی نشان می‌دهد که افزایش تعداد طبقه در افزایش بیشینه برش پایه سیستم قاب خمشی و سیستم دوگانه‌ی واگرا موثر می‌باشد، اما با افزایش تعداد دهانه نمی‌توان قانون معینی برای میزان تغییرات برش پایه سیستم‌ها تعیین کرد.

۲- در تمامی مدل‌های مورد مطالعه، سیستم‌های دوگانه همواره برش کمتری را نسبت به سیستم قاب خمشی به پای ستون‌های طبقه اول منتقل می‌کنند. در بین سیستم‌های دو گانه نیز اغلب حالت مهار بندی همگرا تحت هر سه زلزله با محتوای فرکانسی متفاوت، تاریخچه‌ی زمانی برش پایه کمتری را در مقایسه با حالت مهار بندی واگرا دارا می‌باشد.

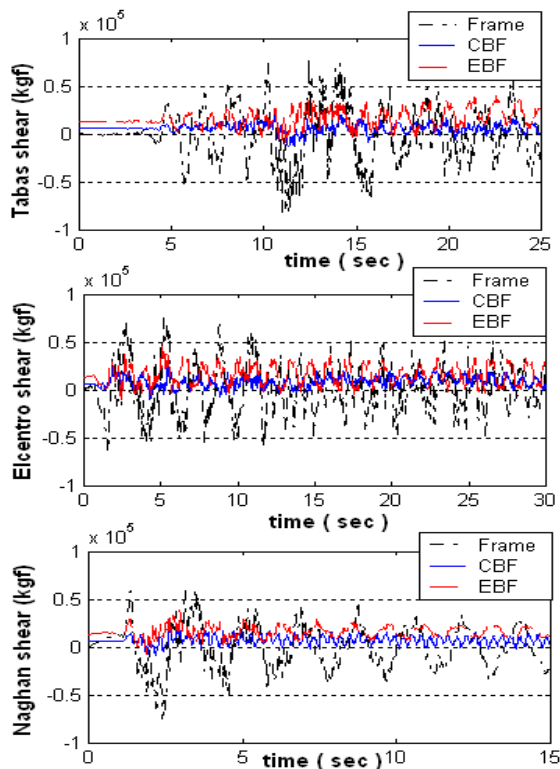
۳- با بررسی دقیق نمودارهای تاریخچه زمانی به نظر می‌رسد که افزایش دامنه برش پایه با افزایش ارتفاع همراه بوده که این موضوع سبب کاهش فشردگی تعداد سیکل‌های رفت و برگشت نیرو شده است. این حالت در مدل‌های سیستم قاب خمشی و سیستم دو گانه‌ی واگرا محسوس‌تر است. این ویژگی در کاهش تعداد ضربه‌ای که نیروی برشی به سازه وارد می‌کند مفید واقع می‌شود زیرا هر چقدر تغییر جهت نیروهای ایجاد شده در زمان بیشتری صورت گیرد نیروی کمتری به سازه وارد می‌شود. علاوه بر این کاهش تعداد سیکل‌های رفت و برگشت نیرو در جلوگیری و یا کاهش تاثیر پدیده‌ی خستگی در اعضای سازه مفید می‌باشد. از نمودارهای تاریخچه زمانی تغییر مکان نیز می‌توان به کاهش فشردگی نمودارها با افزایش ارتفاع پی‌برد.

۴- افزایش صلبیت اتصال نیمه صلب (اتصال با سپری به جای اتصال با نبشی) در سیستم قاب خمشی سبب افزایش بیشینه برش پایه می‌شود ولی در سیستم‌های دو گانه تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. علت این موضوع می‌تواند ناشی از نقش مهار بندی‌های سیستم همگرا و تیرهای پیوند سیستم واگرا در تحمل نیروهای لرزه‌ای باشد.



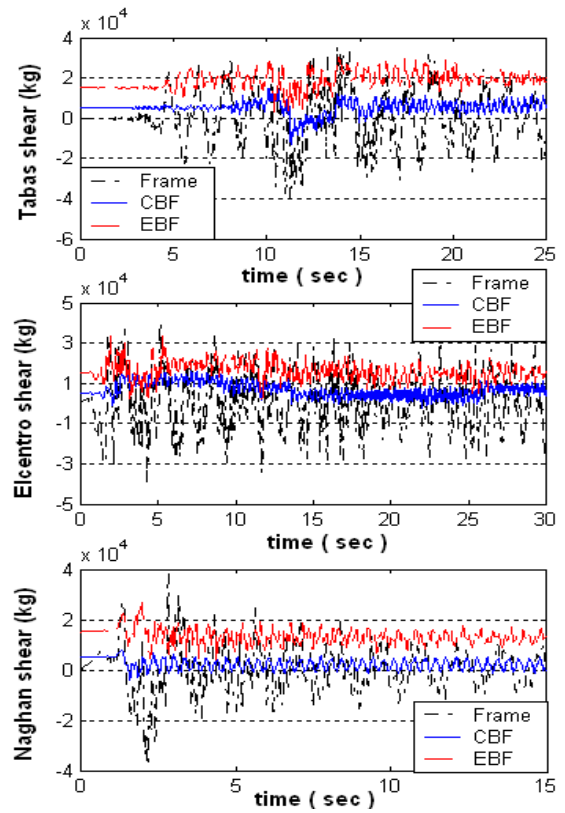
شکل (۱۳). تاریخچه زمانی برش در پای ستون‌های طبقه اول،

قاب ۱۰ طبقه و ۲ دهانه با اتصال نبشی



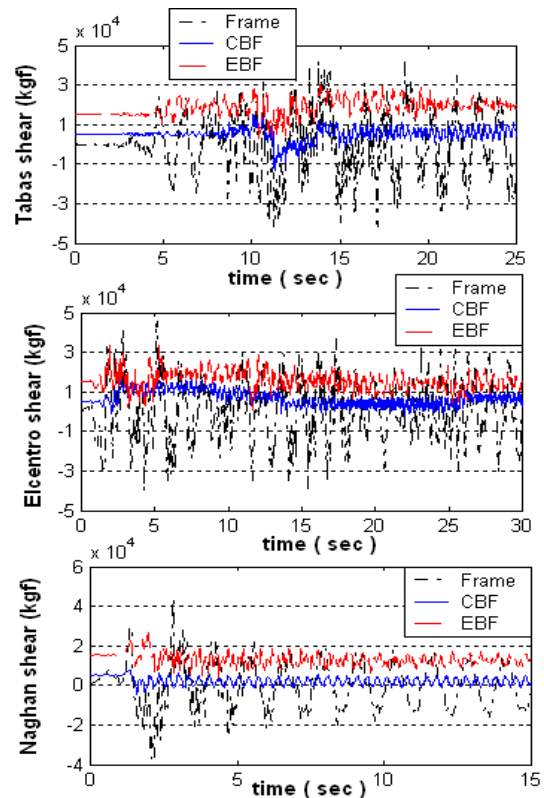
شکل (۱۴). تاریخچه زمانی برش در پای ستون‌های طبقه اول،

قاب ۱۰ طبقه و ۲ دهانه با اتصال سپری



شکل (۱۱). تاریخچه زمانی برش در پای ستون‌های طبقه اول،

قاب ۵ طبقه و ۲ دهانه با اتصال نبشی



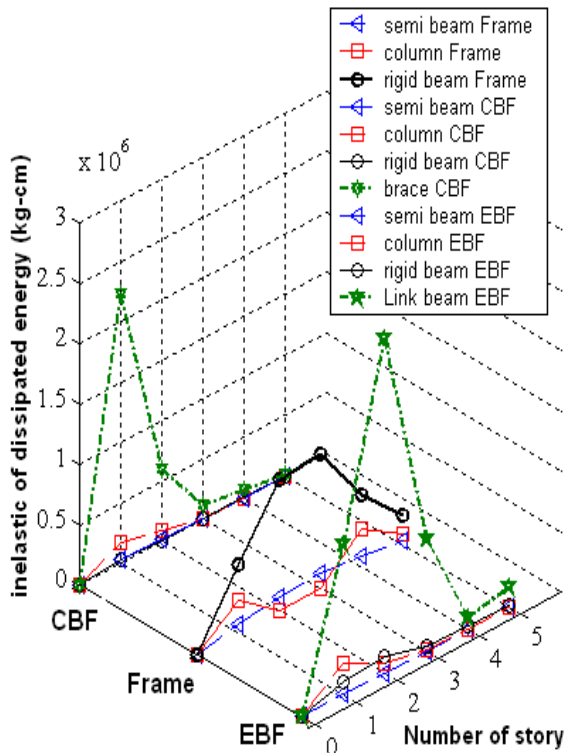
شکل (۱۲). تاریخچه زمانی برش در پای ستون‌های طبقه اول،

قاب ۵ طبقه و ۲ دهانه با اتصال سپری

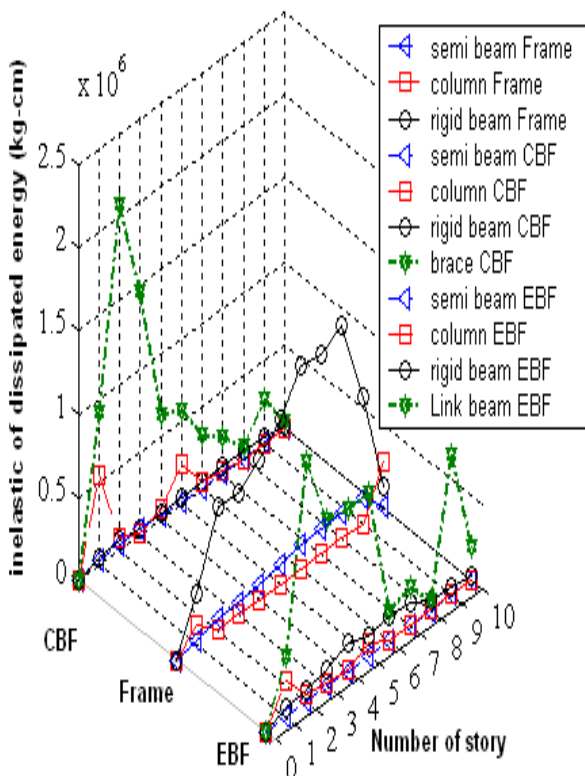


۴-۴- میزان انرژی جذب شده در اعضای سازه به تفکیک طبقه

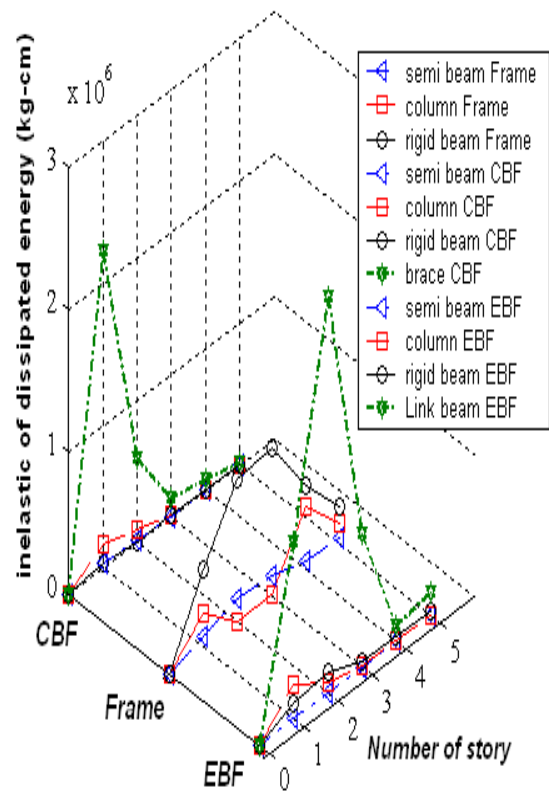
تعیین سهم انرژی جذب شده توسط اعضای برابر جانی یک سیستم، یکی از پارامترهای بسیار مهم در بررسی رفتار سازه تحت تحریکات لرزه‌ای می‌باشد. سطح زیر منحنی‌های هیستریزیس یکی از مشخصه‌های مهم در تعیین میزان انرژی جذب شده (غیر الاستیک) توسط المان‌های تشکیل دهنده سازه می‌باشد. در این تحقیق به منظور تعیین میزان مشارکت هر یک از المان‌های قاب در جذب انرژی، گروه بندی‌های خاصی به تفکیک طبقه برای هر یک از المان‌ها در نرم افزار 3D-Perform انجام گرفته و نتایج حاصل از آن توسط برنامه Matlab V 6.05 به صورت نمودار سه بعدی ترسیم گشته است. به عنوان نمونه قاب-های ۵، ۱۰ طبقه و ۳ دهانه تحت بارگذاری ثقلی و شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه طبرس در شکل‌های (۱۵) الی (۱۸) نشان داده شده است.



شکل (۱۶). میزان انرژی جذب شده در هر طبقه‌ی قاب ۵ طبقه و ۳ دهانه با اتصال سپری



شکل (۱۷). میزان انرژی جذب شده در هر طبقه‌ی قاب ۱۰ طبقه و ۳ دهانه با اتصال نبشی



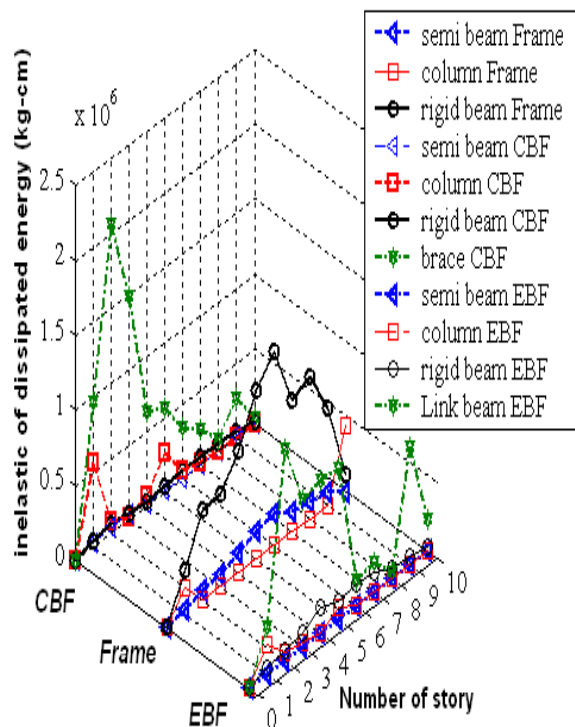
شکل (۱۵). میزان انرژی جذب شده در هر طبقه‌ی قاب ۵ طبقه و ۳ دهانه با اتصال نبشی

طبقات بستگی دارد. بیشترین میزان انرژی جذب شده در این سیستم به ترتیب توسط اتصالات صلب، اتصالات نیمه صلب و ستون‌ها صورت می‌گیرد.

۳- میزان حداکثر انرژی جذب شده بین طبقه ای در سیستم‌های دو گانه با خیز و افت ناگهانی همراه است که نشان دهنده‌ی آسیب پذیری سازه از طبقه‌ای می‌باشد، که حداکثر انرژی در آنجا جمع شده است. به نظر می‌رسد که مدل‌های سیستم مهاربندی واگرا نسبت به سیستم همگرا در قاب‌های ۱۰ و ۱۵ طبقه، با افزایش طبقه توزیع انرژی مناسب‌تری را در بین طبقات، از خود نشان می‌دهند. جذب انرژی اتصالات صلب در این سیستم‌ها در اثر هر سه زلزله، غالباً از طبقه‌ی اول تا طبقه آخر یک روند صعودی منظم و بسیار کند می‌باشد که این روند کند با افزایش طبقه به خصوص در قاب‌های ۱۵ طبقه بهبود می‌یابد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که در سیستم‌های دوگانه با ارتفاع کوچک و متوسط انتقال انرژی از اعضای اصلی باربرجانبی (مهاربندها و یا تیر پیوند)، به سایر اعضای باربر در طبقات انتهایی به کندی صورت می‌پذیرد، ولی این روند در سازه‌های بلند افزایش می‌یابد.

۴-۵- منحنی هیستریزس

در بخش قبل میزان جذب انرژی طبقات، با رسم نمودارهایی مورد بررسی قرار گرفت. ولیکن بررسی شکل منحنی‌های هیستریزس می‌تواند برای کنترل رفتار المان‌هایی که در اثر زلزله وارد منطقه غیرخطی می‌شوند، مفید واقع شود. بدین منظور در این بخش با استفاده از منحنی‌های هیستریزس گره‌ی اتصال در طبقه‌ی دوم قاب‌های ۵ و ۱۰ طبقه به مطالعه‌ی تاثیر صلبیت اتصال نیمه صلب در سیستم‌های باربر جانبی می‌پردازیم. شکل (۱۹) گره مورد بحث را نشان می‌دهد. در این شکل اتصال نیمه‌صلب با علامت @ در سمت چپ گره و اتصال صلب در سمت راست گره‌ی اتصال نمایان است.



شکل (۱۸). میزان انرژی جذب شده در هر طبقه‌ی قاب ۱۰ طبقه و ۳ دهانه با اتصال سپری

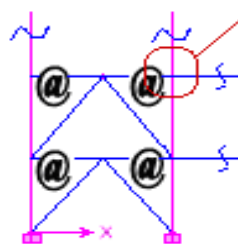
با توجه به نمودارها می‌توان به نتایج ذیل اشاره نمود:

۱- در قاب‌های ۵ طبقه‌ی سیستم‌های دو گانه، حداکثر جذب انرژی ناشی از هر سه زلزله در طبقه‌ی اول و دوم رخ می‌دهد ولی در برخی قاب‌های ۱۰ و ۱۵ طبقه علاوه بر طبقات پایین، طبقات میانی و انتهایی نیز انرژی زیادی را جذب می‌کنند. بیشترین میزان انرژی جذب شده در سیستم همگرا به ترتیب توسط مهار بندها، ستون‌ها، تیرهای با اتصال صلب و سپس اتصالات نیمه صلب انجام می‌گیرد. در سیستم واگرا نیز تیرهای پیوند بیشترین انرژی را جذب می‌کنند. در قاب خمشی با افزایش طبقه از ۵ به ۱۰ طبقه حداکثر جذب انرژی از طبقه ۲ به طبقات ۶ الی ۸ منتقل می‌شود. اما حداکثر جذب انرژی قاب‌های ۱۵ طبقه این سیستم تحت هر سه زلزله به طبقات پایینی یعنی طبقات ۳ و ۴ منتقل می‌شود. این موضوع به تغییرات ایجاد شده در سختی سازه به دلیل افزایش نیروی برشی زلزله در طبقات پایین، افزایش تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده و در نتیجه افزایش قدرت جذب انرژی سازه در این

مهمی را ایفا کند. زیاد بودن تعداد دهانه سبب می‌شود که انرژی یک طبقه بین تعداد بیشتری از گره‌های اتصال در آن طبقه تقسیم شود و از آنجایی که اتصالات نقش مهمی در انتقال نیروهای جانبی تیرها را به ستون‌ها دارند در نتیجه با کاربرد صحیح اتصالات نیمه‌صلب و تعیین میزان صلبیت آن می‌توان مانع از تجمع انرژی در یک گره و یا یک دهانه شد.

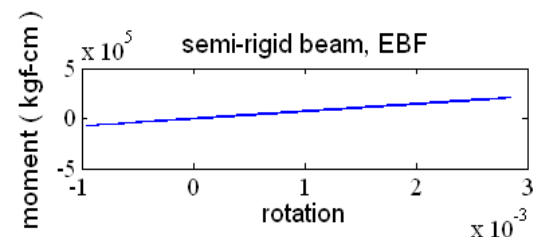
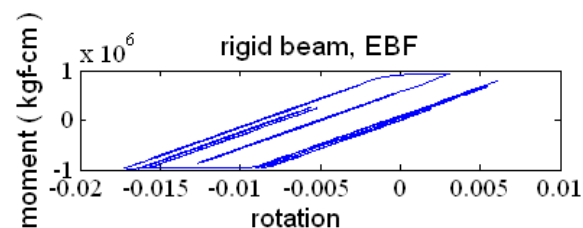
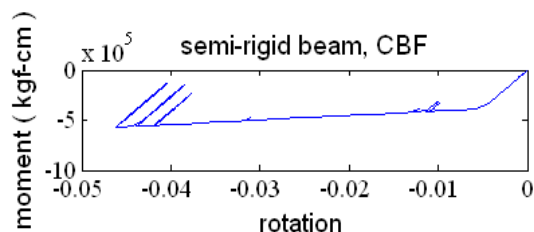
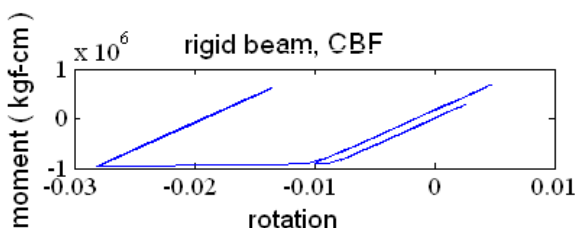
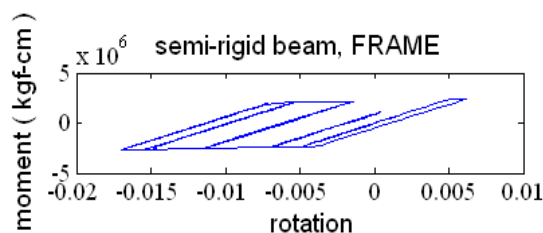
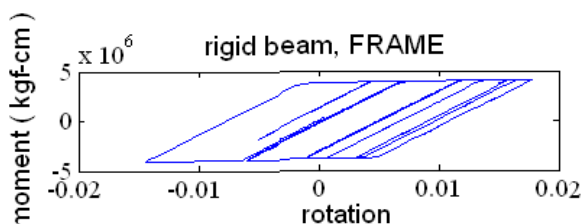
افزایش صلبیت اتصال نیمه‌صلب، سبب کاهش میزان انرژی جذب شده توسط اتصالات صلب و افزایش جذب انرژی اتصالات نیمه‌صلب در سیستم‌های دوگانه و قاب خمشی می‌شود و به نظر می‌رسد که صلبیت اتصال نیمه‌صلب در انتقال انرژی به اعضای دیگر سازه نقش مهمی را ایفا می‌کند.

گره اتصال مورد بحث

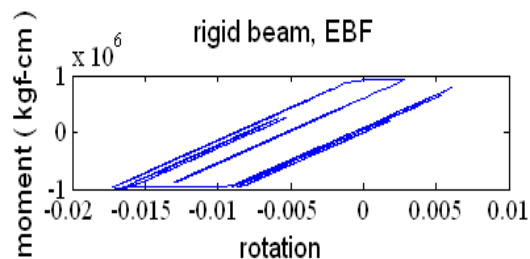
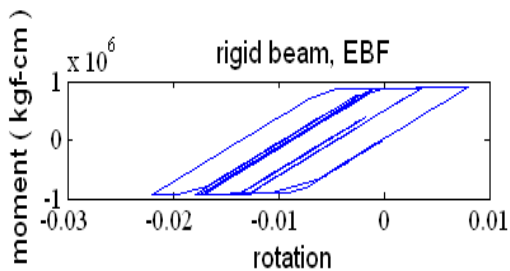
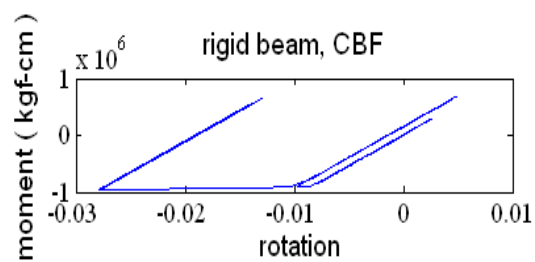
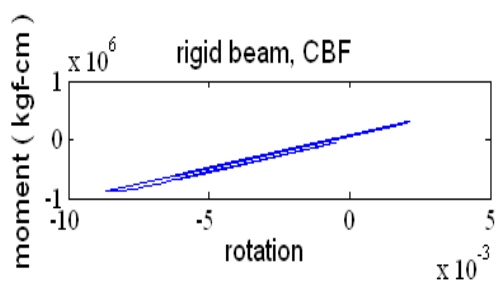
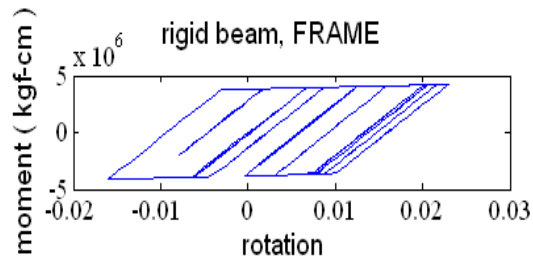
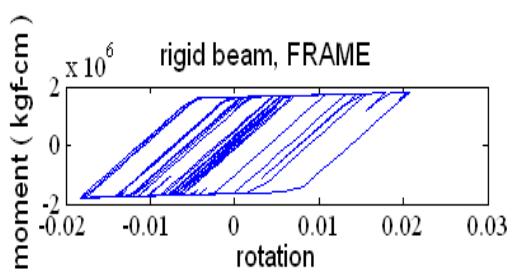
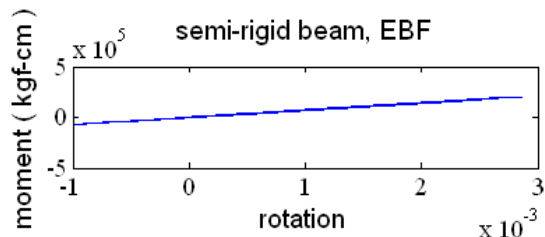
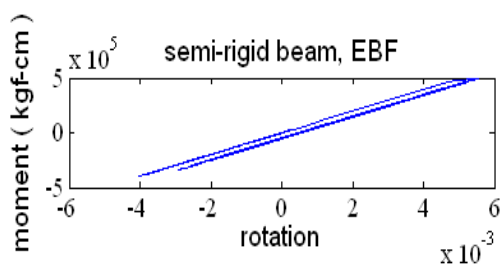
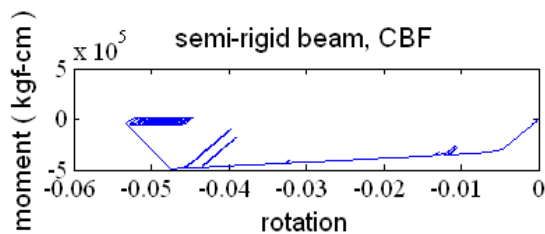
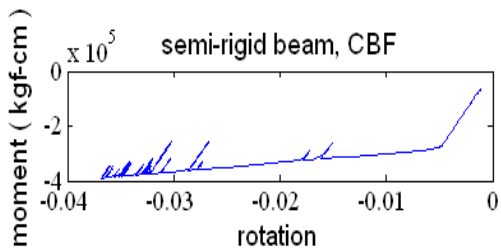
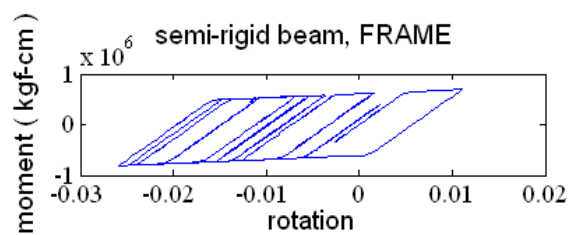
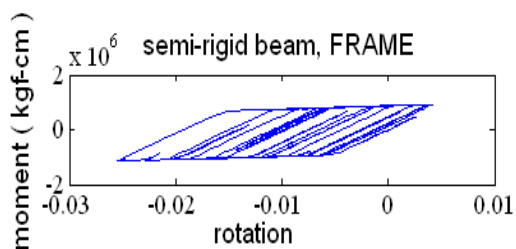


شکل (۱۹). گره اتصال مورد بحث

به عنوان نمونه قاب‌های ۵، ۱۰ طبقه و ۳ دهانه تحت ترکیب بار ثقلی و شتاب‌نگاشت‌السترو در شکل‌های (۲۰) الی (۲۳) نشان داده شده است. نتایج حاصل از این نمودارها نشان می‌دهد که: افزایش تعداد دهانه همراه با آرایش مناسب اتصالات نیمه‌صلب می‌تواند در توزیع انرژی به دهانه‌های مجاور نقش



شکل (۲۰). قاب ۱۰ طبقه و ۳ دهانه با اتصال سپری



شکل (۲۲). قاب ۵ طبقه و ۳ دهانه با اتصال سپری

شکل (۲۱). قاب ۱۰ طبقه و ۳ دهانه با اتصال نبشی



نتیجه گیری

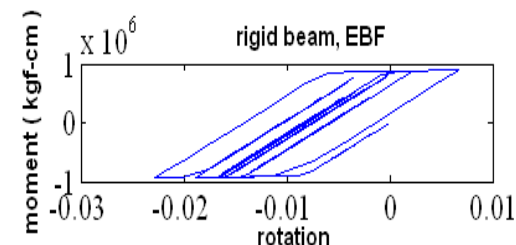
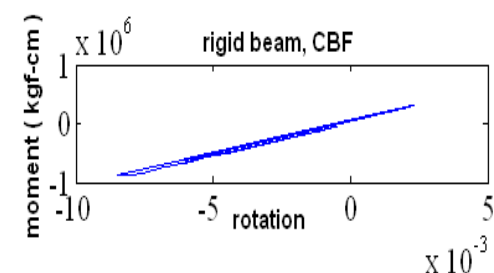
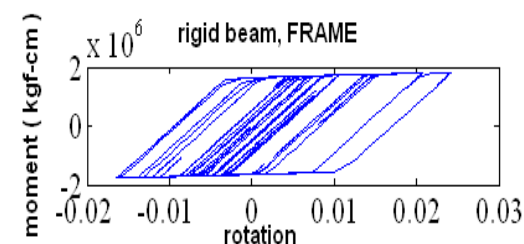
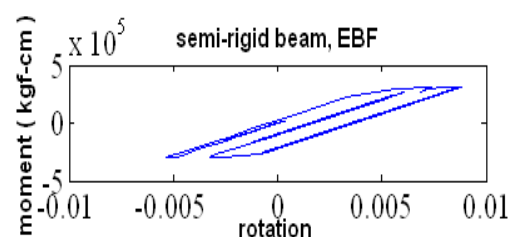
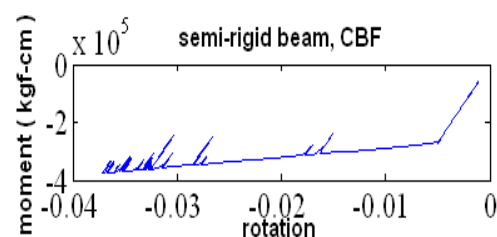
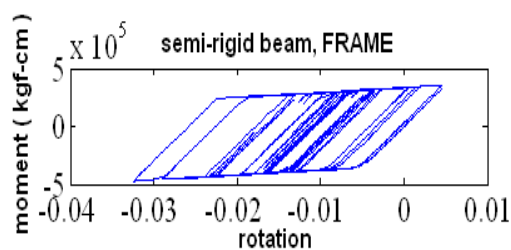
در این مقاله تاثیر صلبیت اتصال در جذب انرژی قاب‌های مهاربندی شده در سیستم‌های دوگانه سازه‌های فولادی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی برای سیستم‌های دارای اتصالات نیمه صلب در قاب‌های مهاربندی و اتصال صلب در سایر قاب‌ها نشان داد که:

۱- سیستم‌های دوگانه در مدل‌های مورد مطالعه همواره دارای تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای کمتری نسبت به سیستم قاب خمشی می‌باشند. علاوه بر این نمودارهای تاریخچه‌ی زمانی برش پایه نشان دهنده‌ی دامنه‌ی تغییرات کمتر برش پایه در سیستم‌های دو گانه و منظم‌تر بودن رفتار این سیستم در برش پایه نسبت به سیستم قاب خمشی می‌باشد.

۲- افزایش صلبیت اتصال نیمه صلب (اتصال با سپری به جای اتصال با نبشی) در سیستم قاب خمشی سبب افزایش بیشینه برش پایه می‌شود ولی در سیستم‌های دو گانه تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. علت این موضوع می‌تواند ناشی از نقش مهار بندی‌های سیستم همگرا و تیرهای پیوند سیستم و اگر در تحمل نیروهای لرزه‌ای باشد.

۳- میزان حداکثر انرژی جذب شده بین طبقه‌ای در سیستم‌های دو گانه با خیز و افت ناگهانی همراه است که نشان دهنده‌ی آسیب پذیری سازه از طبقه‌ای می‌باشد، که انرژی زیادی را جذب کرده است.

۴- میزان انرژی جذب شده توسط اتصالات نیمه صلب در سیستم قاب خمشی بسیار بیشتر از سیستم‌های دوگانه می‌باشد. کاربرد اتصالات نیمه صلب در دهانه‌های مهاربندی سیستم دوگانه‌ی همگرا و دهانه‌های شامل تیر پیوند در سیستم دوگانه‌ی واگرا سبب کاهش تمرکز انرژی در این دهانه‌ها می‌گردد و به اتصالات صلب دهانه‌های مجاور اتصال نیمه صلب اجازه می‌دهد تا با تشکیل حلقه‌های هیستریزس و جذب انرژی در یک طبقه، به تیر پیوند سیستم واگرا و مهاربند سیستم همگرا در جذب انرژی کمک کنند. در واقع اتصالات نیمه صلب سیستم‌های دوگانه‌ی مورد بررسی در مقایسه با سیستم قاب خمشی نقش متفاوتی را در جذب انرژی برعهده دارند.



شکل (۲۳). قاب ۵ طبقه و ۳ دهانه با اتصال نبشی

۶- مترجم حمدالله‌نیا، م.، ۱۳۸۶. ملاحظات ویژه طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی طبق AISC 2005، تهران، علم عمران، چاپ اول، ص ۵۹ و ص ۲۰۸-۲۳۱.

7- Kishi, N., Komuro, M., Chen, W., 2003. Seismic response analysis of steel frame with mixed use of rigid and semi-rigid connections. University of Hawaii, USA. 527-532.

8- Lee, S., Moon, T., 2002. Moment-rotation model of semi-rigid connections with angles. Engineering structures, 227-237.

9- Yuxin, L., Lei, X., Donald, E., Grierson., 2008. Compound-element modeling accounting for semi-rigid connections and member plasticity. Engineering Structures. 1292-1307.

10- Shen, J., Akbas, B., 2003. Seismic Behavior of Steel Buildings with Combined Rigid and Semi-Rigid Frame. Illinois. 253-264.

11- LÓGÓ, J., Kaliszky, S., Hjiáj, M., 2006. A Parametric survey of the influence of the semi-rigid connections on the shakedown of elasto-plastic frames. Periodica polytechnica ser. 139-147.

12- Cabrero, j., Bayo, E., 2005. Development of practical design methods for steel structures with semi-rigid connections. Engineering structures, 1125-1137.

13- Ashraf, M., Nethercot, D., Ahmed, B., 2004. Sway of semi-rigid steel frames Part 1: Regular frames. Engineering Structures. 1809-1819.

14- Ashraf, M., Nethercot, D., Ahmed, B., 2007. Sway of semi-rigid steel frames Part 2: Irregular frames. Engineering Structures. 1854-1863.

15- Degertekin, S., Hayalioglu, M., 2004. Design of non-linear semi-rigid steel framers with semi-rigid column bases. Electronic journal of Structural Engineering. 1-16.

۵- در زلزله‌های ضعیف اتصالات نیمه‌صلب رفتار خطی از خود نشان می‌دهند و وارد ناحیه غیر خطی نمی‌شود. در نتیجه در جذب انرژی سازه مشارکتی ندارند اما در زلزله‌های قوی اتصالات نیمه‌صلب با تشکیل حلقه‌های هیستریزس در جذب انرژی زلزله به سازه کمک می‌کنند.

۶- تشکیل سریع حلقه‌های هیستریزس در اتصالات نیمه‌صلب به علت کوچک بودن ظرفیت خمشی این نوع اتصالات می‌تواند در کاهش شکل‌گیری مفاصل پلاستیک ستون‌ها مفید واقع شود که انجام این کار در واقع تامین اصل تیر ضعیف و ستون قوی مطابق با فلسفه‌ی طراحی تیر و ستون می‌باشد همچنین این روند ممکن است سبب به تاخیر انداختن مکانیزم در سازه گردد.

مراجع

۱- حسین‌زاده، ی.، چناقلو، م.، بهروش، ع.، ۱۳۸۳. اثر نیمه‌گیرداری اتصالات روی رفتار لرزه‌ای اسکلت‌های فولادی. مجله دانشکده فنی دانشگاه تبریز، ص ۱۱-۲۳.

۲- رهگذر، ر.، نمازی، ا.، ۱۳۸۴. ارائه روش کاربردی جهت تحلیل غیرخطی سازه‌ها با اتصالات نیمه‌گیردار، اولین همایش بین‌المللی زلزله و سبک‌سازی ساختمان. دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم، ص ۲۱۰-۲۱۶.

۳- گرگری، م.، خوانساری، و.، ۱۳۸۳. نقش اتصالات نیمه-صلب در استهلاک انرژی و کاهش پاسخ قابهای سازه‌ای به تحریکات لرزه‌ای، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، شریف، کد مقاله ۱۸۳۱-۸۳.

۴- فایقی، ح.، خوانساری، و.، ۱۳۸۳. بررسی اثرات استفاده از اتصالات نیمه-صلب جهت متصل کردن سیستم مهاربندی به قاب، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، شریف، کد مقاله ۱۸۳۰-۸۳.

۵- پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۵. دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود، نشریه شماره ۳۶۰، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

