



# نقش میراگر اصطکاکی در بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب‌های فولادی با اتصالات صلب و نیمه صلب

محمد بیات<sup>۱</sup>، سید مهدی زهرائی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران

۲- استاد، مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران

\* تهران، صندوق پستی ۴۵۶۳-۱۱۱۵۵، mzahrai@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۵)

## چکیده

با تغییر تدریجی روش طراحی سازه‌ها از روش‌های بر پایه مقاومت به روش‌های بر پایه عملکرد، قاب‌های ساختمانی متداول موجود پاسخگوی ضوابط این روش‌ها نمی‌باشند و در صورت طراحی این قاب‌ها با ضوابط عملکردی جدید طرح غیراقتصادی خواهد شد. مشکل اساسی انواع قاب‌های موجود عدم توازن بین سختی و شکل‌پذیری در آن‌هاست. یک سازه برای آن‌که در یک زمین‌لرزه دچار جابه‌جایی‌های زیادی نشود باید از سختی کافی برخوردار بوده و برای این‌که انرژی زلزله را به خوبی مستهلک کند باید شکل‌پذیری بالایی داشته باشد. هدف از این تحقیق بررسی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های فولادی صلب و نیمه صلب و مطالعه تاثیر اضافه نمودن میراگر اصطکاکی به این قاب‌ها می‌باشد. در این مقاله، از تسلیم خمشی اتصال نیمه صلب و اتلاف انرژی در آن استفاده می‌شود. برای این منظور یک قاب ساختمانی ۵ طبقه به چهار صورت قاب خمشی تنها، قاب خمشی با میراگر اصطکاکی، قاب نیمه صلب تنها و قاب نیمه صلب با میراگر اصطکاکی طراحی شد و تحت سه رکورد زلزله قرار گرفت. با بررسی نتایج حاصل از آنالیز این قاب‌ها مشخص گردید که قاب نیمه صلب با میراگر اصطکاکی بهترین عملکرد را در بین این چهار قاب ساختمانی داشته است. نتایج تحلیلهای عددی نشان داد با استفاده از میراگر اصطکاکی در قاب خمشی با اتصالات نیمه‌صلب در مقایسه با اتصالات صلب، مقادیر حداکثر تغییر مکان طبقه اول و برش پایه به ترتیب ۷ و ۲۰ درصد کاهش می‌یابند.

## واژگان کلیدی

طراحی عملکردی، قاب نیمه صلب فولادی، میراگر اصطکاکی، عملکرد لرزه‌ای، استهلاک انرژی

## Impact of Friction Dampers on Improving Seismic Performance of Rigid and Semi-Rigid Steel Frames

M. Bayat, S.M. Zahrai

### Abstract

By gradual change in structural design methods from strength based to performance based methods, typical existing frames could not satisfy the criteria of latter methods and if structures are designed by applying all related criteria, it will be an uneconomical design. Main problem in typical frames is imbalance between stiffness and ductility. To prevent large drifts, structures should have sufficient lateral stiffness and in order to absorb earthquake energy they must have high ductility. The goal of this research is to study the seismic performance of rigid and semi-rigid steel frames and the effects of adding friction dampers to such structures. In this paper, semi-rigid connections are supposed to yield and dissipate energy like dampers. For this purpose, 5-story building frames are designed in four cases including bare moment frame with friction damper, bare semi-rigid frame and semi-rigid frame with friction damper. Dynamic time-history analyses are carried out applying three earthquake records. By observing the results of numerical analyses of structures, one can find out that semi-rigid frame with friction damper have the best performance among studied frames. Obtained results show that using friction damper in the moment frame with semi-rigid connections compared to the case with rigid connections, maximum first story displacement and base shear decrease respectively 7 and 20%.

### Keywords

Performance based design, Semi-rigid steel frame, Friction damper, Seismic performance, Energy dissipation



در گذشته قاب‌های ساختمانی با روش‌هایی که بر پایه مقاومت بودند طراحی می‌شدند. در سال‌های اخیر با مشخص شدن معایب این روش‌ها، محققان به دنبال روش‌های طراحی بر پایه عملکرد رفتند. روش‌های طراحی بر اساس عملکرد ضوابط جدیدی را به طراحی سازه‌ها افزوده‌اند؛ یعنی سازه‌ها باید علاوه بر ارضای ضوابط مقاومت ضوابط عملکردی را نیز ارضا کنند [۴-۱]. مشکل این‌جاست که انواع قاب‌های ساختمانی موجود در دو دسته قرار می‌گیرند. دسته اول سختی جانبی بالایی دارند و به سادگی ضوابط جابه‌جایی را ارضا می‌کنند اما از میزان شکل پذیری پایینی برخوردارند و توانایی مستهلک کردن انرژی زلزله به میزان مناسب را ندارند. دسته دوم سازه‌هایی هستند که شکل‌پذیری مناسبی دارند اما به دلیل سختی جانبی کمی که دارند ضوابط مربوط به جابه‌جایی را ارضا نمی‌کنند و در صورت تمایل برای ارضای این ضوابط، طرح غیراقتصادی خواهد شد. به عبارت دیگر مشکل اساسی در قاب‌های ساختمانی معمول عدم توازن بین سختی جانبی و شکل‌پذیری است [۵].

یک راه حل مناسب برای حل مشکل عدم توازن بین سختی و شکل‌پذیری در قاب‌های معمول استفاده از میراگرها می‌باشد. فلسفه طراحی به این صورت است که برای تامین شکل‌پذیری، قاب به صورت خمشی با شکل‌پذیری بالا طراحی می‌گردد و برای تامین سختی جانبی و مستهلک کردن انرژی زلزله از مهاربندی به همراه میراگر استفاده می‌شود [۶].

میراگرها از وسایلی هستند که می‌توانند انرژی زلزله را مستهلک کنند. میراگر اصطکاکی یکی از انواع میراگرهاست. با توجه به این که این میراگرها از نوع تغییرمکانی هستند بیشتر مناسب سازه‌های فولادی می‌باشند. تحقیقات نشان می‌دهد که میراگرهای اصطکاکی به خوبی می‌توانند انرژی زلزله را مستهلک کرده و تغییرمکان‌های سازه را کنترل نمایند. Mirtaheeri و همکارانش با انجام پژوهش آزمایشگاهی و عددی بر روی میراگر اصطکاکی لوله‌ای به این نتیجه رسیدند که این میراگر دارای رفتار هیستریزس پایدار و قابلیت اتلاف انرژی بالا می‌باشد [۷]. Kim و همکارانش با مدل‌سازی میراگرهای اصطکاکی دورانی دریافتند که این میراگرها پاسخ‌های سازه را کاهش داده و پایداری سازه را افزایش می‌دهند [۸]. Cherry و Filiatrault با مطالعه کارهای انجام شده بر روی میراگرهای اصطکاکی و مقایسه آنها با سایر روش‌های جذب انرژی به این نتیجه رسیدند که این میراگرها قابلیت جذب انرژی بالایی دارند

[۹]. Monir و Zeynali با انجام آزمایش و مدل‌سازی میراگر اصطکاکی اصلاح شده نشان دادند که این میراگر تغییرمکان و برش‌های سازه را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد [۱۰].

اتصالات نیمه صلب نیز از وسایل مستهلک کننده انرژی به شمار می‌روند. پس از آنکه در زلزله نرتریج و کوبه اتصالات صلب کاملاً جوشی عملکرد مناسبی از خود نشان ندادند و دچار گسیختگی‌های ترد گشتند، تحقیقات بر روی گزینه‌های جانشینی این اتصالات انجام گردید. یکی از گزینه‌های جانشینی که برای این اتصالات مطرح شد اتصالات نیمه صلب پیچی بود. تحقیقات آزمایشگاهی و عددی فراوانی نشان می‌دهد که اتصالات نیمه صلب توانایی اتلاف انرژی بالایی دارند و حتی می‌توان از این اتصالات در مناطق با خطر لرزه‌خیزی بالا استفاده نمود.

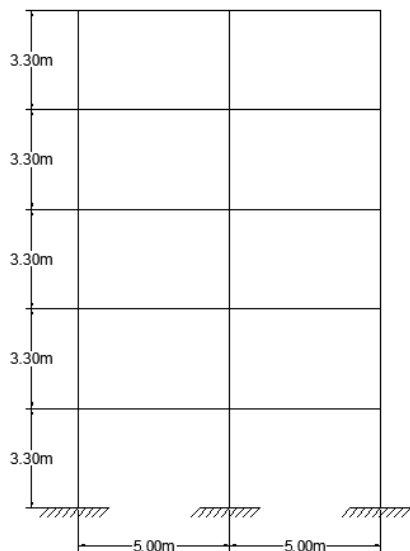
Abolmaali و همکارانش با انجام یک پژوهش آزمایشگاهی گسترده بر روی انواع اتصالات نیمه صلب نشان دادند که این اتصالات از توانایی اتلاف انرژی بالایی برخوردارند و با تغییر هندسه اتصالات می‌توان این توانایی را افزایش داد [۱۱].

Latour و همکارانش با مدل‌سازی اتصال پیچی از روش مولفه‌ای و صحت سنجی نتایج با داده‌های آزمایشگاهی نشان دادند که این اتصالات از قابلیت جذب انرژی بالایی برخوردارند [۱۲]. Korol و همکارانش با انجام آزمایش بارگذاری چرخه‌ای بر روی اتصالات نیمه صلب صفحه امتداد یافته به این نتیجه رسیدند که با اجرای جزئیات درست می‌توان از این اتصالات در مناطق با خطر لرزه‌خیزی بالا نیز استفاده نمود [۱۳]. Garlock و همکارانش با انجام آزمایش بر روی اتصال نبشی بالا و پایین تاثیر اندازه نبشی بر خصوصیات اتلاف انرژی اتصال را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که این اتصالات انرژی زیادی را جذب می‌کنند [۱۴]. Razavi و Abolmaali در یک پژوهش استفاده ترکیبی از اتصالات صلب و نیمه صلب در یک سازه بیست طبقه را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از الگوی مناسب برای محل قرارگیری اتصالات نیمه صلب می‌توان علاوه بر کاهش برش پایه تغییرمکان‌های سازه را نیز کاهش داد [۱۵].

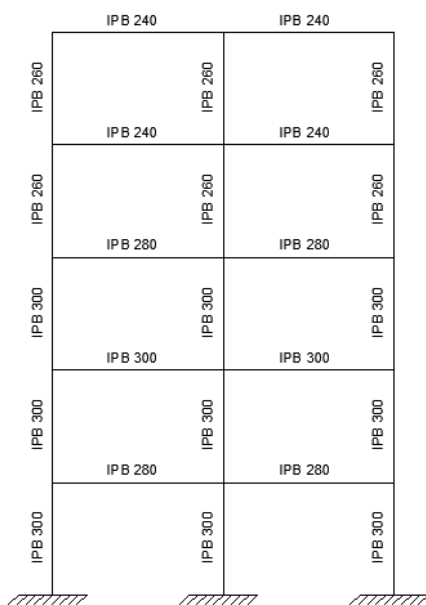
گرچه همانطور که در بالا مرور شد، مقالات چندان در مورد استفاده از میراگرهای اصطکاکی در قاب‌های خمشی فولادی با افزودن انواع مهاربندی و یا به اشکال دیگر در سازه‌ها به نگرارش درآمده و برای تاثیر کاربرد اتصالات نیمه صلب بر رفتار قاب‌های فولادی نیز کارهایی شده است لیکن کاربرد میراگرهای اصطکاکی در قاب‌های فولادی با اتصالات نیمه صلب بررسی نشده است. نوآوری این مقاله در استفاده همزمان



اساس تغییرمکان مجاز، طرح غیراقتصادی خواهد شد، لذا وظیفه کنترل تغییرمکان‌ها بر عهده میراگرهای اصطکاکی قرار می‌گیرد. شکل (۲) مقاطع طراحی شده برای قاب خمشی را نشان می‌دهد. دلیل استفاده از مقاطع IPB برای تیرها به جای مقاطع IPE بیشتر بودن نسبت اساس مقطع به ممان اینرسی در این مقاطع است که منجر به پخش بهتر لنگر ناشی از بارهای جانبی در تمام اعضای سازه‌ای می‌گردد.



شکل ۱- ابعاد قاب طراحی شده



شکل ۲- مقاطع طراحی شده برای قاب

از میراگرهای اصطکاکی به همراه اتصالات نیمه صلب و بررسی و مقایسه تاثیر شرایط ترکیبی این دو کاربری بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی می‌باشد و اینکه آیا کاربرد میراگر اصطکاکی می‌تواند در قاب‌های فولادی با اتصالات نیمه صلب تحت اثر زلزله مفید باشد؟

در این مقاله نشان داده می‌شود که با ایده نوین استفاده هم‌زمان از اتصالات نیمه صلب و میراگرهای اصطکاکی بهبود رفتار لرزه‌ای شکل می‌گیرد. به این ترتیب با وجود میراگر اصطکاکی مشکل تغییرمکان در قاب‌های نیمه صلب حل می‌شود و از طرف دیگر با قرار دادن اتصالات نیمه صلب، سازه بدون اینکه دچار خرابی عمده شود در مستهلک کردن انرژی به میراگرهای اصطکاکی کمک خواهد کرد. برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای طرح، قاب‌های ساختمانی دو دهانه و پنج طبقه به چهار صورت قاب خمشی تنها، قاب خمشی با میراگر اصطکاکی، قاب نیمه صلب تنها و قاب نیمه صلب با میراگر اصطکاکی طراحی می‌گردد. قاب‌های ساختمانی تحت چند رکورد زلزله قرار می‌گیرند و تغییرمکان، سرعت، شتاب و برش پایه حداکثر در آن‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شود تا تاثیر قرار دادن میراگر اصطکاکی در قاب‌های صلب و نیمه صلب مشخص گردد.

## ۲- مشخصات پروژه

سازه در نظر گرفته شده در این پروژه یک قاب دو دهانه با طول دهانه ۵ متر و ۵ طبقه با ارتفاع طبقات ۳/۳ متر است. فرض شده که سازه در یک منطقه با خطر لرزه‌خیزی بسیار زیاد واقع شده است. خاک پی سازه نوع ۲ فرض گردیده است. مقدار بار مرده و زنده به ترتیب ۴ و ۱ تن بر متر طول تیرها در نظر گرفته شده است. شکل (۱) ابعاد سازه در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد. مصالح از جنس فولاد نرمه ST37 و از مقاطع IPB برای اعضای سازه‌ای استفاده شده است.

## ۳- مدل‌سازی

برای این پروژه چهار مدل در نظر گرفته شده و مدل‌سازی‌ها در نرم‌افزار SAP2000 انجام شده است.

### ۳-۱- مدل قاب خمشی

در مدل اول قاب فولادی به صورت قاب خمشی در نظر گرفته شده است. با توجه به سختی جانبی کم قاب‌های خمشی، قاب بر اساس روش مقاومت و برای ۷۵ درصد برش پایه روش استاتیکی معادل طراحی شده و تغییرمکان‌ها به وسیله میراگرهای اصطکاکی کنترل خواهد گردید. برای طراحی قاب خمشی بر



### ۳-۲- مدل قاب خمشی با میراگر اصطکاکی

در این مدل میراگرهای اصطکاکی به قاب خمشی مدل اول اضافه شده است. با توجه به این که میراگرهای اصطکاکی در مهاربند قرار گرفته‌اند در مرحله اول بارگذاری که میراگر اصطکاکی هنوز دچار لغزش نشده سختی کل مهاربند برابر سختی عضو مهاربندی خواهد بود. برای مدل‌سازی مجموعه میراگر و مهاربند از یک المان استفاده گردیده است. المان در نظر گرفته شده دارای دو مشخصه: سختی اولیه و نیروی لغزش خواهد بود.

سختی المان به گونه‌ای تنظیم شده است که مد اول سازه به صورت خطی باشد؛ یعنی از روش تنظیم سختی استفاده گردیده است. در این روش ابتدا با قرار دادن بار بر روی سازه سختی طبقات قاب به دست می‌آید. در مرحله بعد با در نظر گرفتن شکل خطی برای مد اول، سختی لازم در طبقات برای رسیدن به تغییرمکان هدف در طبقات محاسبه می‌شود. با داشتن سختی موجود و سختی لازم در طبقات می‌توان سختی مهاربند را تعیین نمود.

نیروی لغزش میراگر به اندازه‌ای باید باشد که میراگر قبل از کماتش مهاربند دچار لغزش گردد. البته نیروی لغزش میراگر باید بیشتر از تقاضای ناشی از نیروی باد در سازه باشد. با داشتن سختی مهاربند و فرض یک تنش مجاز برای آن می‌توان نیروی کماتش مهاربند را تعیین نمود. نیروی لغزش میراگر درصدی از نیروی کماتش مهاربند خواهد بود. البته پس از طراحی ضابطه مربوط به باد که بیان شد نیز باید کنترل گردد. شکل (۳) آرایش میراگرهای مورد استفاده در قاب را نشان می‌دهد.

$$K = \frac{AE}{L} \rightarrow A = \frac{KL}{E} \quad (1)$$

$$f = \frac{P}{A} \rightarrow P = fA \quad (2)$$

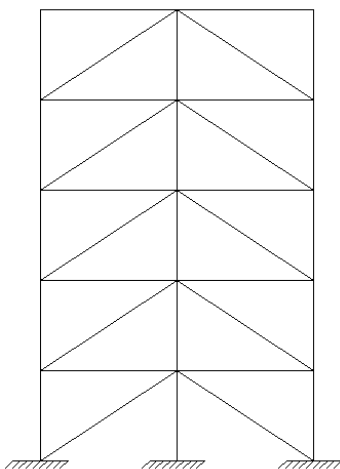
با قرار دادن رابطه (۱) در رابطه (۲)، لحاظ کردن تنش کماتش به عنوان تنش بحرانی و در نظر گرفتن نیروی لغزش میراگر به صورت  $0.8$  نیروی کماتش، نیروی لغزش میراگر به دست خواهد آمد.

$$P = \frac{fKL}{E}, P_{Stip} = \frac{0.8f_{cr}KL}{E} \quad (3)$$

### ۳-۳- مدل قاب نیمه صلب

در این مدل اتصالات سازه قاب خمشی طراحی شده در مدل اول به صورت نیمه صلب درآمده‌اند. پارامترهایی که در یک اتصال نیمه صلب وجود دارند با ساده سازی رفتار اتصال عبارت

از سختی اتصال، لنگر تسلیم و مقاومت اتصال پس از تسلیم خواهند بود.



شکل ۳- الگوی قرارگیری میراگرهای اصطکاکی در قاب

برای تعیین سختی اتصال از مدل تیر ساده با صلبیت خمشی  $EI$  و طول  $L$  با بار گسترده و دو فنر پیچشی در دو انتها استفاده می‌شود. اگر بخواهیم که لنگر ماکزیمم مثبت و منفی تحت اثر بارهای ثقلی برابر شود باید سختی فنر پیچشی برابر  $6EI/L$  باشد. با قرار دادن مشخصات تیرها در این رابطه می‌توان سختی اتصالات نیمه صلب هر تیر را محاسبه نمود. برای مدل‌سازی اتصالات نیمه صلب در این پروژه از المان لینک در نرم افزار SAP استفاده شده است.

ایده اتصال نیمه صلب این است که به جای تشکیل مفصل پلاستیک در تیر، اتصال تسلیم شود و اتلاف انرژی را انجام دهد؛ بنابراین لازم است که لنگر تسلیم اتصال کمتر از لنگر تسلیم تیر باشد. لنگر تسلیم اتصالات نیمه صلب به صورت نسبتی از لنگر تسلیم تیر آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. آزمایشات نشان می‌دهد که سختی اتصالات نیمه صلب پس از تسلیم حدود  $0.1$  سختی اولیه آن‌ها می‌باشد.

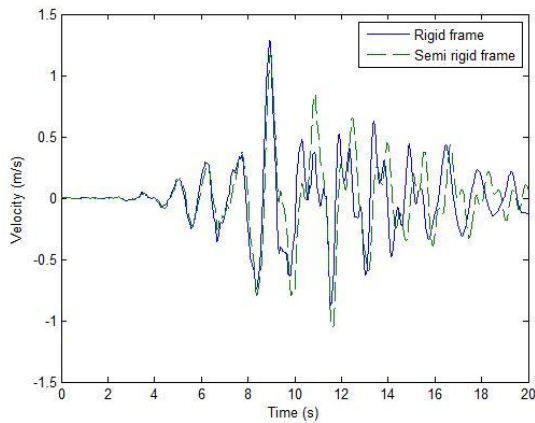
### ۳-۴- مدل قاب نیمه صلب با میراگر اصطکاکی

طراحی میراگرهای اصطکاکی برای قاب نیمه صلب مشابه قاب خمشی است. الگوی مورد استفاده برای محل میراگرهای اصطکاکی نیز مثل قاب خمشی یعنی شکل (۳) خواهد بود.

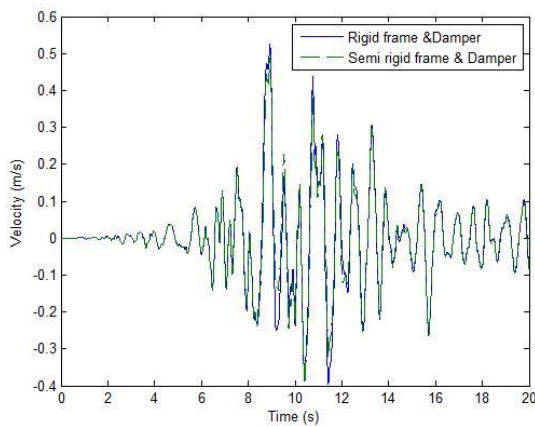
### ۴- نتایج مطالعه عددی

برای مقایسه و ارزیابی عملکرد چهار قاب طراحی شده از تغییرمکان طبقه پایین، سرعت و شتاب بالاترین طبقه و برش





شکل ۶- سرعت طبقه پنجم سازه صلب و نیمه صلب بدون میراگر در زمین لرزه امپریال



شکل ۷- سرعت طبقه پنجم سازه صلب و نیمه صلب با میراگر در زمین لرزه امپریال

#### ۴-۳- شتاب طبقه پنجم

شکل‌های (۸) و (۹) به ترتیب شتاب طبقه پنجم قاب‌های بدون میراگر و قاب‌های با میراگر بطور نمونه تحت زلزله امپریال را نشان می‌دهند.

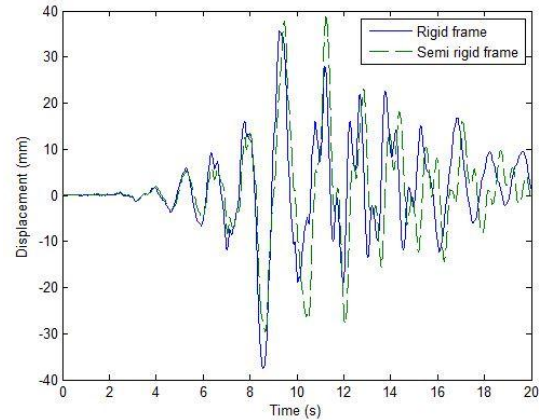
#### ۴-۴- برش پایه

شکل‌های (۱۰) و (۱۱) به ترتیب برش پایه قاب‌های بدون میراگر و قاب‌های با میراگر را بطور نمونه تحت زلزله امپریال نشان می‌دهند.

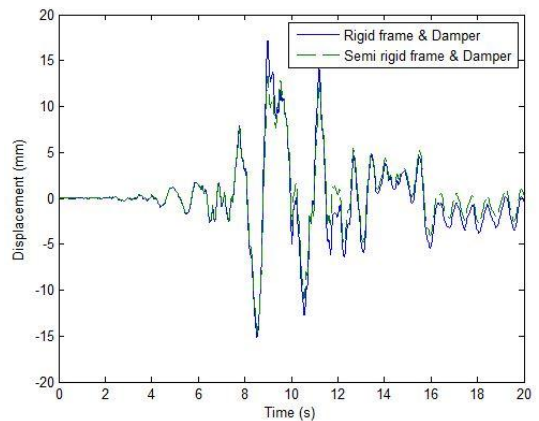
پایه استفاده خواهد گردید. پاسخ‌های سازه‌ها به زلزله امپریال برای نمونه آورده شده و در انتها نتایج برای سه زمین لرزه امپریال، کوبه و نرتیج آمده است. هر سه زلزله بر اساس طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ [۱۶] مقیاس شده‌اند.

#### ۴-۱- جابه‌جایی طبقه اول

شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب جابه‌جایی طبقه اول قاب‌های بدون میراگر و قاب‌های با میراگر بطور نمونه تحت زلزله امپریال را نشان می‌دهند.



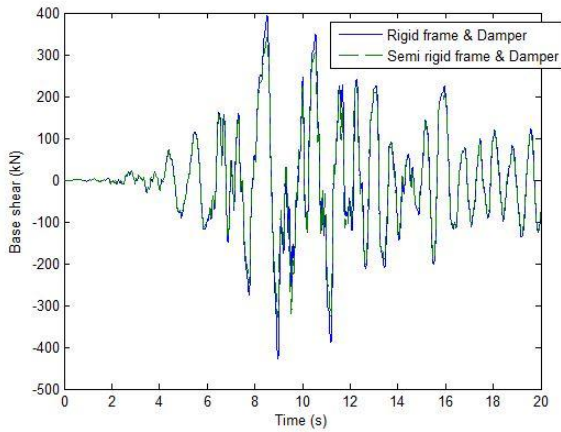
شکل ۴- جابه‌جایی طبقه اول سازه صلب و نیمه صلب بدون میراگر در زمین لرزه امپریال



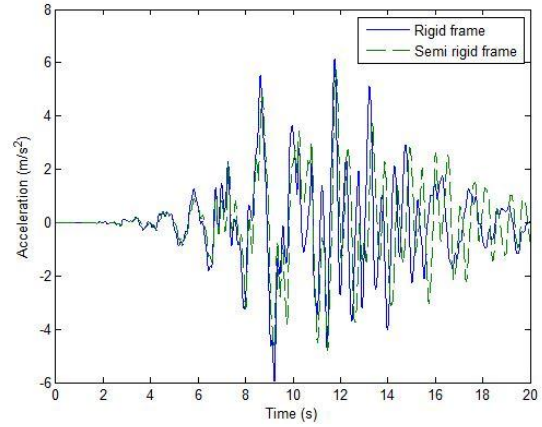
شکل ۵- جابه‌جایی طبقه اول سازه صلب و نیمه صلب با میراگر در زمین لرزه امپریال

#### ۴-۲- سرعت طبقه پنجم

شکل‌های (۶) و (۷) به ترتیب سرعت طبقه پنجم قاب‌های بدون میراگر و قاب‌های با میراگر بطور نمونه تحت زلزله امپریال را نشان می‌دهند.



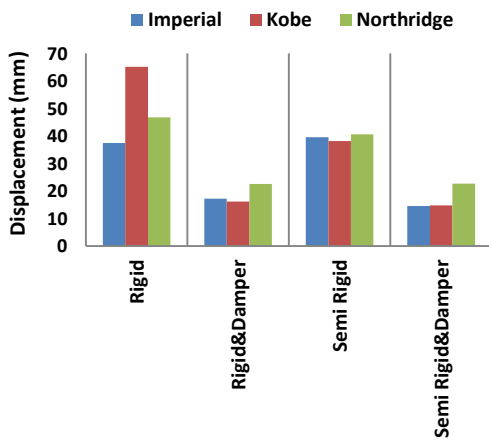
شکل ۱۱- برش پایه سازه صلب و نیمه صلب با میراگر در زمین لرزه امپریال



شکل ۸- شتاب طبقه پنجم سازه صلب و نیمه صلب بدون میراگر در زمین لرزه امپریال

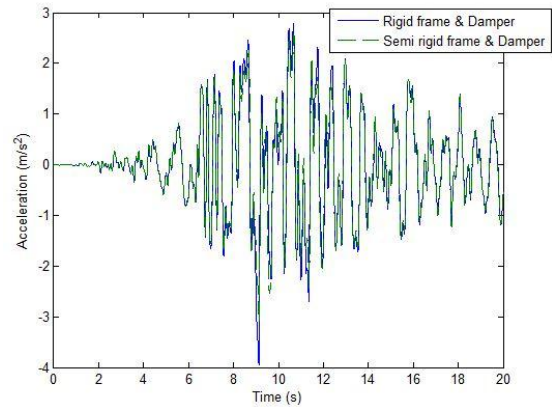
### ۵- مقایسه و تفسیر نتایج

برای مقایسه نتایج حاصل از تحلیل عددی، تغییرمکان، سرعت، شتاب و برش پایه در قاب‌ها در سه رکورد زلزله مقایسه می‌گردد. شکل‌های (۱۲)، (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) به ترتیب مقایسه بین حداکثر تغییرمکان، سرعت، شتاب و برش پایه چهار حالت قاب‌های فولادی در زلزله‌های مختلف مد نظر را نشان می‌دهند.

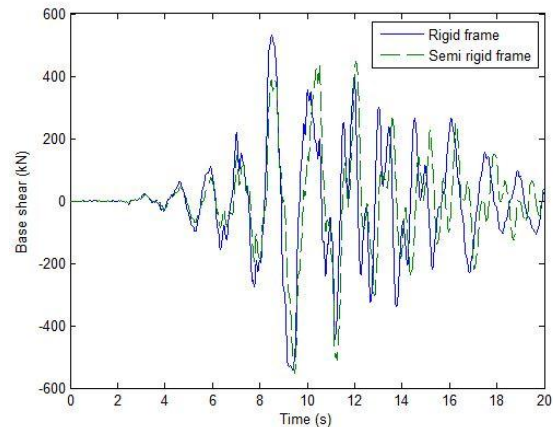


شکل ۱۲- حداکثر تغییرمکان طبقه اول قاب‌ها در سه زمین لرزه

با نیمه صلب شدن اتصالات در یک قاب سختی سازه کاهش می‌یابد، اعضای اصلی سازه ای رفتار خطی خواهند داشت و به علت اتلاف انرژی در اتصالات شکل پذیری سازه افزایش می‌یابد. ترکیب این سه عامل مشخص خواهد کرد که تغییرمکان افزایش یا کاهش پیدا کند. با توجه به ماهیت دینامیکی زلزله و متفاوت بودن رکوردهای مختلف در یک زلزله ممکن است که ترکیب این سه عامل منجر به افزایش تغییرمکان



شکل ۹- شتاب طبقه پنجم سازه صلب و نیمه صلب با میراگر در زمین لرزه امپریال

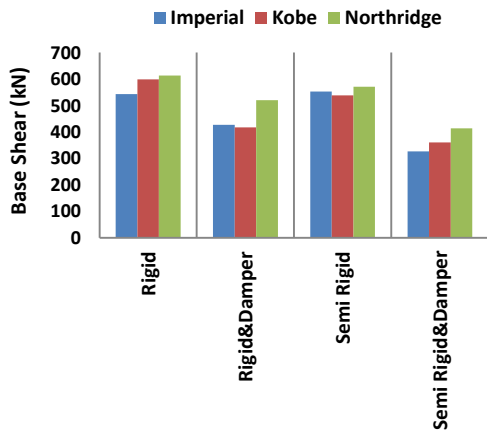


شکل ۱۰- برش پایه سازه صلب و نیمه صلب بدون میراگر در زمین لرزه امپریال

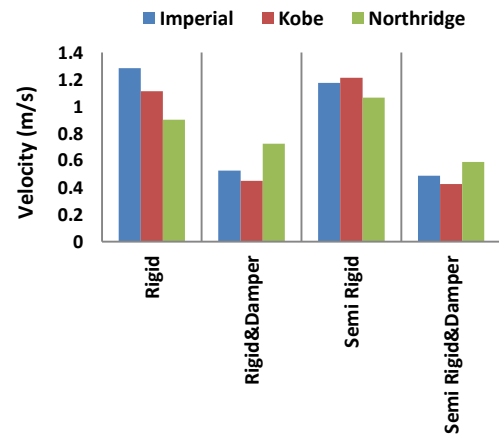


به قاب مهاربندی شده، با عملکرد فیوز مانند میراگر، همواره سبب کاهش برش پایه قاب مهاربندی شده می‌شود.

و یا کاهش آن شود که در این تحقیق منجر به کاهش تغییرمکان به صورت میانگین تحت سه زلزله گردیده است (شکل (۱۲)).



شکل ۱۰- حداکثر برش پایه قاب‌ها در سه زمین‌لرزه



شکل ۱۳- حداکثر سرعت طبقه پنجم قاب‌ها در سه زمین‌لرزه

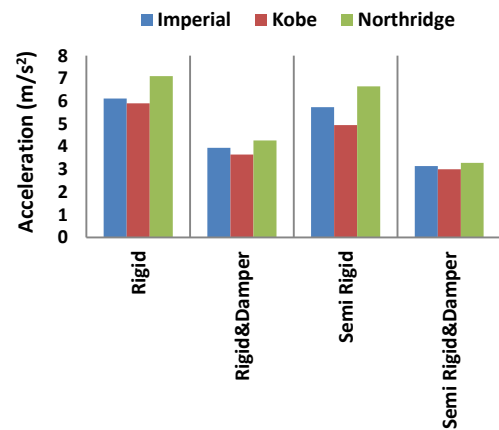
جدول (۱) مقادیر میانگین حداکثر تغییرمکان، سرعت، شتاب و برش پایه در سازه‌ها را در سه زمین‌لرزه نشان می‌دهد.

جدول ۱- میانگین پاسخهای سازه‌ها در سه زمین‌لرزه

قاب نیمه صلب با میراگر	قاب نیمه صلب	قاب صلب با میراگر	قاب صلب	
۱۷/۳	۳۹/۴	۱۸/۶	۴۹/۸	حداکثر تغییرمکان (mm)
۰/۵۰	۱/۱۵	۰/۵۷	۱/۱۰	حداکثر سرعت (m/s)
۳/۱۴	۵/۷۷	۳/۹۵	۶/۳۸	حداکثر شتاب (m/s <sup>2</sup> )
۳۶۶/۹	۵۵۳/۸	۴۵۵/۲	۵۸۵/۰	حداکثر برش پایه (kN)

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک قاب دو دهانه پنج طبقه به صورت صلب و نیمه صلب با و بدون میراگرهای اصطکاکی طراحی شده است و با انجام آنالیز دینامیکی غیرخطی بر روی مدل‌ها مقادیر تغییرمکان، سرعت و شتاب در این سازه‌ها مقایسه گردیده است. در واقع، استفاده همزمان از میراگرهای اصطکاکی و اتصالات



شکل ۱۴- حداکثر شتاب طبقه پنجم قاب‌ها در سه زمین‌لرزه

با افزودن مهاربند به سازه قاب خمشی فولادی سختی سازه افزایش می‌یابد که در نتیجه آن پیوند سازه کم شده و ضریب بازتاب سازه افزایش پیدا می‌کند. اما از طرف دیگر به علت وجود میراگر در قاب مهاربندی شده که انرژی زیادی را مستهلک می‌نماید شکل پذیری سازه به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. نتایج مدل‌سازی و تحلیل در این مقاله طبق شکل ۱۵ نشان می‌دهد که تاثیر افزایش شکل پذیری بیشتر از افزایش سختی جانبی برای برش پایه بوده است طوریکه با افزودن میراگر به همراه مهاربند برش پایه قدری در مقایسه با حالت قاب خمشی تنها کاهش می‌یابد. البته شایان ذکر اینکه برش پایه با افزودن میراگرهای تغییرمکانی مثل میراگر اصطکاکی

[5] زهرائی، س.م. (۱۳۸۹)، "کنترل غیرفعال ارتعاشات"، انتشارات دانشگاه تهران.

[6] اشتری، پ.، رسولی، ا. و عسگری، م. (۱۳۸۷)، "بررسی اثر میراگر اصطکاکی لغزشی در کنترل پاسخ سازه"، همایش ملی مقاوم سازی ایران، یزد، دانشگاه یزد.

[7] Mirtaheeri, M., Zandi, A.P., Samadi, S.S., and Samani, H.R. (2011), "Numerical and Experimental Study of Hysteretic Behavior of Cylindrical Friction Dampers", *Journal of Engineering Structures*, Vol. 33, pp. 3647-3656.

[8] Kim, J., Choi, H. and Min, K.W. (2011), "Use of Rotational Friction Dampers to Enhance Seismic and Progressive Collapse Resisting Capacity of Structures", *Journal of Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 20, pp. 515-537.

[9] Cherry, S. and Filiatrault, A. (1993), "Seismic Response Control of Buildings Using Friction Dampers", *Journal of Earthquake Spectra*, Vol. 9, pp. 447-466.

[10] Monir, H. S., and Zeynali, K. (2013), "A Modified Friction Damper for Diagonal Bracing of Structures", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 87, pp. 17-30.

[11] Abolmaali, A., Kukreti, A., Motahari, A., and Ghassemieh, M. (2009), "Energy Dissipation Characteristics of Semi-Rigid Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 65, pp. 1187-1197.

[12] Latour, M., Piluso, V. and Rizzano, G. (2011), "Cyclic Modeling of Bolted Beam-to-Column Connections: Component Approach", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 15, pp. 537-563.

[13] Korol, R.M., Ghojarah, A. and Osman, A. (1990), "Extended End-Plate Connections under Cyclic Loading: Behavior and Design", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 16, pp. 253-280.

[14] Garlock, M.M., Ricles, J.M. and Sause, R. (2003), "Cyclic Load Tests and Analysis of Bolted Top-and-Seat Angle Connections", *Journal of structural Engineering*, Vol. 129, pp. 1615-1625.

[15] Razavi, M., and Abolmaali, A. (2014), "Earthquake Resistance Frames with Combination of Rigid and Semi-Rigid Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 98, pp. 1-11.

[۱۶] مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، آئین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم.

نیمه صلب نوآوری این مقاله بوده است. نتایج حاصل از تحلیل عددی چهار حالت قاب فولادی برای سه رکورد زلزله عبارتند از:

▪ حداکثر تغییر مکان، شتاب و برش پایه در قاب نیمه صلب به ترتیب ۲۱، ۱۰ و ۵ درصد کمتر از قاب صلب است.

▪ حداکثر تغییر مکان، شتاب و برش پایه با استفاده از میراگر در قاب صلب به ترتیب ۶۳، ۳۸ و ۲۲ درصد و در قاب نیمه صلب به ترتیب ۵۶، ۴۶ و ۳۴ درصد کاهش یافته و در واقع کاربرد میراگر اصطکاکی در قاب صلب و نیز نیمه صلب بیشترین تاثیر را در کاهش تغییر مکان و کمترین تاثیر را در کاهش برش پایه داشته است.

▪ با مقایسه نتایج قاب صلب با میراگر و قاب نیمه صلب با میراگر می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر حداکثر تغییر مکان، شتاب و برش پایه در قاب نیمه صلب با میراگر به ترتیب ۷، ۲۱ و ۱۹ درصد کمتر از مقادیر مشابه در قاب صلب با میراگر است و کاربرد میراگر اصطکاکی با اتصالات نیمه صلب پاسخ‌های بهتری را در مقایسه با استفاده از همین میراگر در قاب صلب به دنبال خواهد داشت.

کم‌ترین پاسخ‌ها در قاب نیمه صلب به همراه میراگر اصطکاکی مشاهده شده و بیش‌ترین پاسخ‌ها در قاب صلب مشاهده گردیده است. با توجه به این‌که اتلاف انرژی در قاب‌های نیمه صلب در اتصالات انجام می‌شود با وارد شدن سازه به مرحله رفتار غیرخطی، اعضای اصلی سازه‌ای به صورت خطی باقی می‌مانند که موجب کاهش تغییر مکان‌ها نسبت به قاب صلب می‌شود که در آن اعضای سازه‌ای به صورت غیرخطی رفتار می‌نمایند. در ترکیب قاب‌ها با میراگر نیز در قاب‌های صلب اعضای قاب هیچ مشارکتی در اتلاف انرژی ندارند اما در قاب نیمه صلب اتصالات هم وارد مرحله رفتار غیرخطی خود شده و در اتلاف انرژی زلزله مشارکت می‌کنند.

## ۷- مراجع

[1] Ghojarah, A. (2001), "Performance-Based Design in Earthquake Engineering: State of Development", *Journal of Engineering structures*, Vol. 23, pp. 878-884.

[2] Priestley, M.J.N. (2000), "Performance Based Seismic Design", *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, Vol. 33, pp. 325-346.

[3] Priestley, M.J.N., Calvi, G.M. and Kowalsky, M.J. (2007), "Direct Displacement-Based Seismic Design of Structures", 2007 NZSEE Conference.

[4] Hasan, R., Xu, L. and Grierson, D.E. (2002), "Push-Over Analysis for Performance-Based Seismic Design", *Journal of Computers and structures*, Vol. 80, pp. 2483-2493.

