



## اثر میرایی لزجی در طرح مومسان قاب های خمشی

محمد رضایی پزند<sup>1\*</sup> و الهام میرافزلی<sup>2</sup>

<sup>1</sup> استاد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>2</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: 1391/10/30؛ تاریخ بازنگری: 1392/06/29؛ تاریخ پذیرش: 1393/07/05

### چکیده

میراگرها با گرفتن بخشی از کارمایه سازه، به کاهش آسیب‌ها و پخش یکنواخت آن‌ها کمک می‌کنند. در این پژوهش، از میراگرهای لزجی خطی بهره جویی می‌شود. روش‌های بسیاری برای طرح این گونه میراگرها را پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند. فن نویسندگان، طرح مومسان بر پایه کارکرد می‌باشد، که به کارایی موثرتر قاب با میرایی لزجی می‌انجامد. نخست، رابطه سازی روش انجام می‌شود. سپس، سازه‌های 3، 6 و 9 طبقه خمشی با میرایی طبیعی و افزوده، به شیوه مومسان طرح خواهند شد. در ادامه مقاله، تحلیل‌های ناخطی پویا، برتری‌های طرح مومسان را بیش از پیش آشکار می‌سازند.

**کلمات کلیدی:** میراگر لزجی؛ طرح مومسان برپایه کارکرد؛ کارمایه؛ تغییرمکان هدف؛ سازوکار تسلیم؛ بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقه؛ بیشینه شتاب کلی کف؛ کارمایه مومسان جذبی.

## The effects of viscous damping on the plastic design of bending frames

M. Rezai Pajand<sup>1,\*</sup> and E. Mirafzali<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prof., Civil. Eng., Ferdosi University, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> M.Sc Student, Civil. Eng., Ferdosi University, Mashhad, Iran

### Abstract

Dampers can be implemented into structure in order to dissipate energy and decrease the damages. Damages are much better distributed in the damped frames. In this paper, fluid viscous dampers (FVDs) will be used. There are many design procedures for this kind of dampers. In this study, Performance-Based Plastic Design (PBSD) method will be utilized to achieve the enhanced response of structures to earthquake. The required formulas are derived for the design process. In order to validate the proposed technique, four steel moment frames with and without viscous dampers will be designed. After a series of nonlinear dynamic analysis, the performance objective of the structure can be well verified.

**Keywords:** Viscous damper; Performance-based plastic design; Energy; Target displacement; Yield mechanism; Maximum drift; Maximum total acceleration; Plastic energy.

## 1- مقدمه

هدف شیوه طرح برپایه کارکرد، واری همزمان آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌باشد. شدت آسیب‌های سازه‌ای وابسته به جابه‌جایی نسبی طبقه، تغییرمکان پس ماند و تغییر شکل‌های ناکشسان است. از سوی دیگر، شدت آسیب‌های غیرسازه‌ای وابسته به جابه‌جایی نسبی طبقه، شتاب کلی کف و طیف پاسخ کف می‌باشد. دستگاه‌های مقاوم جانبی نمی‌توانند هماهنگی میان آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای به وجود آورند. زیرا، کاهش جابه‌جایی نسبی و کاهش شتاب کلی کف در رقابت با یکدیگرند. باید افزود، دستگاه‌های مقاوم جانبی در زمین‌لرزه‌های شدید تغییر شکل‌های ناکشسان بزرگی را تجربه می‌کنند. این تغییرشکل‌ها سبب تغییر مکان‌های پس ماند و افزایش آسیب به سازه می‌شوند. بنابراین، هزینه‌های بازسازی بالا می‌رود. بازسازی ساختمان‌ها با میراگرهای لزجی، تردشکنی سازه‌ای و غیرسازه‌ای را بهبود می‌بخشد. میرایی افزوده با بهبود رفتار هیسترسیس و کاهش تغییرمکان‌های پس‌ماند سبب بالارفتن سطح کارکرد ساختمان‌ها در زمین‌لرزه‌های شدید می‌گردد. چگونه همه این یافته‌ها در طرح یک سازه با میرایی بالا وارد شود تا آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای کاهش یابد؟ با طرح موثر میراگرها می‌توان میان آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای هماهنگی به وجود آورد و پاسخ ساختمان را به زلزله طرح بهبود بخشید. در این پژوهش، از راه‌کار طرح مومسان برای طرح بهتر سازه با میرایی لزجی بهره‌جویی می‌شود. نخستین بار، لی<sup>1</sup> و گوئل<sup>2</sup> فن طرح مومسان<sup>3</sup> را در قالب‌های خمشی به کار بردند [1]. چائو<sup>4</sup>، گوئل و لی در سال 2004، اثر  $p-\Delta$  را در قالب‌های خمشی با ارتفاع متوسط و بلند بررسی کردند. پژوهشگران این شیوه را در قالب‌های مهاربندی همگرا و واگرا و قالب‌های خمشی با کمربند خریایی نیز به کار بردند. عضوهای شکل‌پذیر در این قالب‌ها مهاربندها، تیرهای پیوند و کمربندهای خریایی می‌باشند [2-4]. لیائو<sup>5</sup> با همکاری گوئل از این روش برای طرح

قالب‌های خمشی بتن مسلح بهره‌جستند. این پژوهشگران اثر شکل‌پذیری نامناسب قالب‌های بتن مسلح را در تغییرمکان اوج وارد نمودند [13]. ساهو<sup>6</sup> و چائو این راه‌حل را در قالب‌های با مهاربندی کمانش‌ناپذیر بررسی نمودند [15]. در این پژوهش، نویسندگان رابطه‌های وابسته به این فن را در قالب‌های خمشی با میرایی لزجی به دست می‌آوردند. سپس، برای ارزیابی طرح مومسان در سازه دارای میرایی زیاد، نخست، دو قالب خمشی 3 و 6 طبقه یک‌بار با میرایی طبیعی و بار دیگر با میرایی افزوده طرح خواهند شد. به دنبال این‌ها، قالب‌ها 3 و 9 طبقه سنگ‌نشانه تحلیل می‌گردند. میراگرهای این قالب‌ها، لزجی خلی می‌باشند. نسبت تغییرمکان هدف برای همه قالب‌ها 0/02 است. ارزیابی قالب‌ها با تحلیل‌های ناخطی پویا درستی این راه‌کار را نشان می‌دهد. از نشانه‌های بیشینه تغییرمکان نسبی طبقه و شتاب کلی کف برای ارزیابی کارکرد بخش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای بهره‌جویی می‌شود. برای یافتن مقدار آسیب‌ها، نشانه تغییرشکل جمعی به کار می‌رود. کارمایه جذبی در تغییرشکل‌های ناکشسان، خسارت جمعی سازه را نشان می‌دهد. برای مشخص نمودن میزان کارمایه جذبی هر طبقه باید کارمایه‌های میرا در هر عضو آن طبقه را با هم جمع نمود و سپس این مقدار را بر کل کارمایه‌ی مومسان سازه بخش کرد. در این صورت، می‌توان تخمین زد که گردهمایی تغییرشکل‌های مومسان در کدام طبقه بیشتر خواهد بود. یک طبقه ممکن است بیشترین تغییرمکان جانبی را داشته باشد، اما تغییرشکل جمعی آن از سایر طبقه‌ها کم‌تر باشد. بنابراین، شدت آسیب آن کم‌تر می‌گردد.

## 2- طرح مومسان بر پایه کارکرد

در شیوه طرح مومسان، برش پایه از معادله تعادل کارمایه حساب می‌شود. سازه تا رسیدن به تغییرمکان هدف و شکل‌گیری سازوکار تسلیم بارگذاری می‌گردد. سپس، می‌پندارند، کارمایه لازم در حالت ناکشسان برای دست‌یابی به تغییرمکان هدف،  $\gamma$  برابر کارمایه‌ای باشد که بیشترین زمین‌لرزه به سازه در حالت کشسان وارد می‌کند. همان‌گونه

<sup>1</sup> Lee<sup>2</sup> Goel<sup>3</sup> Plastic design<sup>4</sup> Chao<sup>5</sup> Liao<sup>6</sup> Sahoo

$$E_e = \frac{1}{2} M \left( \frac{T}{2\pi} \cdot \frac{V}{W} \cdot g \right)^2 \quad (4)$$

از سوی دیگر، کارمایه میرا در مفصل‌های مومسان از برابری زیر حساب می‌شود:

$$E_p = \left( \sum_{i=1}^n 2M_{pbi} + 2M_{pc} \right) \theta_p \quad (5)$$

$$M_{pbi} = \beta_i M_{pb}$$

در رابطه‌های کنونی،  $M_{pb}$ ،  $M_{pbi}$  و  $M_{pc}$ ، به ترتیب، لنگر مومسان تیرها در تراز بام، لنگر مومسان تیرها در تراز تام و لنگر مومسان پای ستون‌های طبقه یکم می‌باشند.  $\beta_i$ ،  $n$  و  $\theta_p$ ، به ترتیب، شمار طبقه‌ها، ضریب پخش بار و زاویه چرخش مومسان قاب هستند. برای تخمین لنگر مومسان پای ستون‌های طبقه یکم، باید از شکل‌گیری طبقه نرم در این طبقه جلوگیری نمود. نیروی جانبی  $\psi$  برابر می‌شود و سپس، با نوشتن معادله کار برای شکل‌گیری این سازوکار تسلیم، از برابری زیر به دست می‌آید:

$$M_{pc} = \frac{\psi V' h_1}{4} \quad (6)$$

در رابطه کنونی،  $V'$ ، برش طرح برای یک قاب یک دهانه می‌باشد.  $h_1$ ، ارتفاع طبقه یکم را نشان می‌دهد و  $\psi$ ، ضریب افزایش مقاومت است. مقدار این عامل را برای ساختمان‌های کوتاه و متوسط 1/1 می‌پندارند.

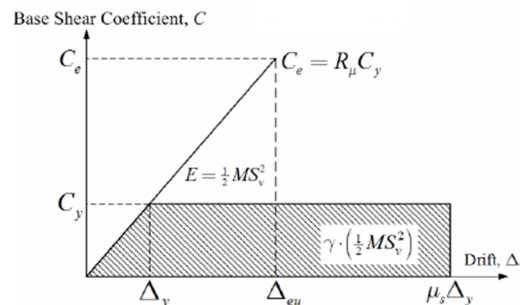
### 3- به کارگیری میراگرهای لزج<sup>3</sup> در طرح مومسان

در این بخش، نویسندگان به طرح مومسان قاب‌های خمشی میرا می‌پردازند. در آغاز، باید تغییرمکان هدف و سازوکار تسلیم این سازه‌ها مشخص گردد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد، برای طرح کارآمدتر، بهتر است با محدود نمودن تغییرمکان جانبی، میراگرها به سازه اجازه کمی شکل‌پذیری داده شود. بنابراین، تغییرمکان هدف را باید با توجه به شکل‌پذیری مورد انتظار برگزید. نویسندگان سازوکار شکل 2 را طرح نمودند. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد، سازوکار تسلیم قاب‌های خمشی شکل‌گیری مفصل‌های مومسان در دو سر تیرها و سپس در پای ستون‌های طبقه یکم است. بر این پایه، کارمایه جذبی آنها دارای سه بخش کشسان، مومسان و

که شکل 1 نشان می‌دهد، اگر رابطه نیرو- تغییرمکان مطلوب باشد، معادله تعادل کارمایه به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\gamma E = \gamma \left( \frac{1}{2} MS_v^2 \right) = (E_e + E_p) \quad (1)$$

در این جا،  $E_e$  و  $E_p$ ، به ترتیب، بخش‌های کشسان و مومسان کارمایه جذبی سازه می‌باشند. عامل  $S_v$ ، سرعت سان طرح و  $M$  جرم کل سازه است.



شکل 1- اندیشه برابری کارمایه [3].

هوزنر<sup>1</sup> نشان داد که می‌توان کارمایه وارد به یک سازه چند درجه آزادی را در زمین‌لرزه طرح به طور میانگین به صورت زیر تخمین زد [29]:

$$E = \frac{1}{2} MS_v^2 = \frac{WgC_e^2 T^2}{8\pi^2} \quad (2)$$

در رابطه کنونی،  $W$ ، وزن لرزه‌ای کل،  $C_e$ ، شتاب طیف طرح و  $T$  زمان تناوب سازه می‌باشد. این معادله ساده، به طور تقریبی، تقاضای لرزه‌ای را نشان می‌دهد. معادله تعادل کارمایه برای سازه چند درجه آزادی به صورت زیر در دسترس قرار می‌گیرد:

$$\gamma \left( \frac{1}{2} MS_v^2 \right) = \frac{1}{2} \gamma M \left( \frac{T}{2\pi} C_e g \right)^2 = (E_e + E_p) \quad (3)$$

این برابری می‌پندارد که سازه پس از تسلیم شکل حالت ثابت دارد. هم‌چنین، برای دسترسی آسان به تقاضای کارمایه، به جای جمع کردن جرم‌های هر یک از شکل حالت‌ها، از جرم کلی استفاده می‌کنند. آکیاما<sup>2</sup> [28] نشان داد که با کاهش دادن کل سازه به یک دستگاه یک درجه آزادی معادل، می‌توان کارمایه جذبی به صورت کشسان را با دقت قابل قبولی از رابطه (4) تخمین زد:

<sup>3</sup> Viscose dampers

<sup>1</sup> Housner

<sup>2</sup> Akiyama

کارمفصل های مومسان را با 75 درصد برش پایه حساب نمود:

$$E_p + E_d = V \left( \sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_{i+1}) h_i \theta_p \right) \cdot \left( \frac{W_n h_n}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \right)^{0.75 T^{-0.2}} \quad (13)$$

مقدار کارمایه مومسان جذبی از برابری پیشین به صورت زیر به دست می‌آید:

$$(\sum M_{pb} + M_{pc}) \theta_p = V \left( \sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_{i+1}) h_i \theta_p \right) \cdot \left( \frac{W_n h_n}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \right)^{0.75 T^{-0.2}} \quad (14)$$

باید آگاه بود، می‌توان برای پخش مقاومت خمشی تیرها در ارتفاع سازه از ضریب پخش بار بهره جست و مقاومت خمشی تیرهای هر طبقه را به سادگی از رابطه پیشین حساب نمود. سازوکار تسلیم مناسب برای قاب خمشی، شکل‌گیری مفصل‌های مومسان در تیرها و سپس در پای ستون‌های طبقه یکم می‌باشد. برای نمونه، سازه شکل 2 به کار می‌رود. این قاب به سازوکار تسلیم مطلوب و تغییرمکان هدف دست یافته است. کار هر میراگر از رابطه زیر در دست قرار می‌گیرد:

$$W_j = \frac{2\pi}{T_s} C_j \Delta_{rj}^2 \quad (15)$$

کارمایه میرا شده در میراگرها در هنگام دستیابی قاب به تغییرمکان مومسان از جمع کار میراگرها حساب می‌شود:

$$E_d = \sum_{j=1}^n W_j = \sum_{j=1}^n \frac{2\pi}{T_s} C_j \Delta_{rj}^2 \quad (16)$$

در رابطه کنونی،  $C_j$ ، ضریب میرایی میراگر طبقه‌ی  $j$ ام،  $\Delta_{rj}$  تغییرشکل دو سر میراگر طبقه‌ی  $j$ ام و  $T_s$  زمان تناوب وابسته به سختی وتر می‌باشد. با وابسته نمودن تغییرشکل میراگر به جابه‌جایی نسبی طبقه، معادله پیشین به صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$E_d = \sum_{j=1}^n \frac{2\pi}{T_s} C_j (\Delta_p \cos \alpha)^2 \quad (17)$$

تجربه نشان داده است که بازدهی میراگرها در طبقه‌های بالا کم‌تر می‌گردد. پخش ضریب میرایی میراگرها بهتر است متناسب با پخش برش طبقه باشد. پیشنهاد می‌شود، برای پخش میرایی در ارتفاع ساختمان از همان ضریب پخش بار

میرایی می‌باشد. معادله کارمایه پیشین برای قاب با میراگر به صورت زیر درمی‌آید:

$$\gamma \left( \frac{1}{2} M S_v^2 \right) = \frac{1}{2} \gamma M \left( \frac{T}{2\pi} C_e g \right)^2 = (E_e + E_p + E_d) \quad (7)$$

با جای گذاری رابطه (4) در برابری پیشین، مجموع کارمایه مومسان و میرایی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E_p + E_d = \frac{W g T^2}{8\pi^2} \left( \gamma C_e^2 - \left( \frac{V}{W} \right)^2 \right) \quad (8)$$

پس از تسلیم، نیروهای داخلی با نیروهای لختی معادل در تعادل اند. بنابراین، از برابر قراردادن کار نیروهای داخلی با کار نیروهای خارجی، برابری زیر در دسترس قرار می‌گیرد:

$$E_p + E_d = \sum_{i=1}^n F_i h_i \theta_p \quad (9)$$

با به کار بردن پخش بار پیشنهادی چائو و گوئل و وابسته کردن نیروهای لختی در هر طبقه به برش پایه، نیروهای لختی به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$F_n = V \cdot \left( \frac{W_n h_n}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \right)^{0.75 T^{-0.2}} \quad (10)$$

$$F_i = (\beta_i - \beta_{i+1}) F_n, \quad i = n \rightarrow \beta_{n+1} = 0$$

با قرار دادن رابطه (9) در برابری (8)، برش پایه از معادله کارمایه حساب می‌گردد. آشکار است، رابطه یافتن برش پایه قاب‌های میرا، همان برابری پیشنهادی چائو<sup>1</sup> و گوئل<sup>2</sup> است.

$$\frac{V}{W} = \frac{-\alpha + \sqrt{(\alpha^2 + 4\gamma C_e^2)}}{2} \quad (11)$$

$$\alpha = \left( \sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_{i+1}) h_i \right) \cdot \left( \frac{W_n h_n}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \right)^{0.75 T^{-0.2}} \cdot \left( \frac{\theta_p 8\pi^2}{T_s^2 g} \right) \quad (12)$$

می‌توان از برابری (9) برای طرح تیرها و میراگرها بهره جست. نشریه FEMA<sup>3</sup> 368 & 369، اجازه می‌دهد، در سازه با میرایی افزوده، برش پایه 25 درصد کاهش پیدا کند. بر این پایه، می‌توان کار میراگرها را با 25 درصد برش پایه و

<sup>1</sup> Chao

<sup>2</sup> Goel

<sup>3</sup> Federal Emergency Management Agency

بهره جست.

(11)، برش هر طبقه نیز حساب می‌گردد. با داشتن برش طبقه نیروی میراگر آن طبقه نیز به دست می‌آید. سپس، از رابطه زیر ضریب میرایی میراگر هر طبقه مشخص می‌شود:

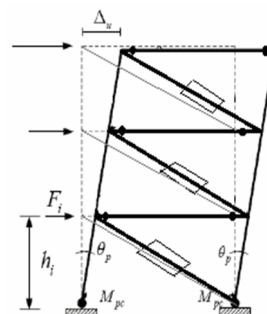
$$0.25V_j = \frac{2\pi}{T_S} C_j (\Delta p \cos \alpha) \quad (21)$$

هر دو شیوه پیشنهادی برای قاب‌های 3 و 9 طبقه‌ی سنگ نشانه به کار رفته‌اند. ضریب میرایی‌های به دست آمده از دو روش به هم نزدیک هستند. اما راه‌کار دوم ساده‌تر می‌باشد. برتری دیگر آن این است که می‌توان ضریب 0/25 را در طبقه‌هایی که شکل‌پذیری اندکی دارند، کم نمود. ارزیابی قاب 9 طبقه با تحلیل‌های ناخطی پویا نشان می‌دهد که طبقه‌های پایانی شکل‌پذیری کمی دارند. پس می‌توان از میرایی میراگرهای این طبقه‌ها کاست.

در ادامه کار، می‌توان به طرح ستون‌ها پرداخت. ستون‌ها باید در برابر نیروهای به دست آمده از مفصل‌های مومسان تیرها و نیروهای محوری مهاربندها از مقاومت کافی برخوردار باشند. برای طرح آن‌ها از تحلیل درخت ستون بهره‌جویی می‌شود. ستون‌ها از مکان مفصل‌های مومسان از قاب جدا می‌گردند. لنگرها و برش‌های مفصل‌های مومسان، بارهای ثقلی و نیروهای مهاربندها بر روی آن‌ها قرار می‌گیرند. نیروهای وارد بر ستون‌ها متفاوت هستند. آن‌ها برپایه نیروهایشان سه دسته می‌شوند: ستون‌های کناری، میانی و چسبیده به مهاربندها. از برقراری شرط ایستایی برای هر درخت ستون، نیروهای جانبی آن به دست می‌آیند. پس از یافتن نیروهای ستون، می‌توان آن را طرح نمود.

#### 4- نمونه‌های عددی

نخست، دو قاب خمشی فولادی سه و شش طبقه با میرایی طبیعی 5 درصد و با میرایی افزوده به روش مومسان طرح می‌شوند. شکل‌پذیری برگزیده برای این قاب‌ها 2 می‌باشد. باید افزود، ارتفاع هر طبقه 4 متر است و بارهای ثقلی برپایه بندهای آیین‌نامه 2800 به سازه وارد شده اند [30]. قاب‌ها و میراگر در شکل 3 مشخص شده‌اند. طرح عضوها به روش حدی انجام می‌شود [31]. این ساختمان بر خاک نوع سوم و در منطقه‌ی با خطر لرزه‌ای زیاد قرار دارد. از نرم افزار SAP 2000 V.14.2.2 برای طرح ستون‌ها بهره جویی می‌گردد.



شکل 2- سازوکار تسلیم قاب خمشی

خاطر نشان می‌کند، چاؤ و گوئل این ضریب را برای طرح مومسان عضوهای شکل پذیر به کار می‌برند [4]. در این پژوهش، افزون بر شکل‌پذیری، میرایی نیز با این ضریب در ارتفاع قاب پخش می‌گردد. بهره جستن از این ضریب به پخش مناسب تر میرایی، مفصل‌های مومسان و آسیب در ارتفاع سازه کمک می‌کند.

$$C_j = \beta_j C_n \quad (18)$$

در این رابطه،  $C_n$ ، ضریب میرایی میراگر طبقه بام است. با بهره‌جویی از ضریب پخش بار در برابری (17)، رابطه زیر در دسترس قرار می‌گیرد:

$$E_d = \sum_{j=1}^n \frac{2\pi}{T_S} \beta_j C_n (\Delta p \cos \alpha)^2 \quad (19)$$

مقدار این کارمایه از برابری (13) به صورت زیر به دست

می‌آید:

$$E_d = 0.25V \left( \sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_{i+1}) h_i \theta_p \right) \cdot \left( \frac{\sum_{n=1}^n W_n h_n}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \right)^{0.75T-0.2} \quad (20)$$

با قرار دادن مقدار این کارمایه در برابری (19) ضریب میرایی طبقه بام حساب می‌شود. سپس، با بهره جستن از ضریب پخش بار، ضریب میرایی میراگر هر طبقه به دست می‌آید. راه دیگر حساب نمودن ضریب میرایی میراگرها وابسته نمودن نیروی میراگر به برش طبقه است. به سخن دیگر، می‌توان نیروی افقی میراگر را در هر طبقه، 25 درصد برش آن طبقه پنداشت. پس از یافتن برش پایه از برابری

به سختی و تری تخمین زده شود. برای این کار از دو رابطه زیر بهره‌جویی شده است.

$$T_s = T_1 \sqrt{\mu} \quad (22)$$

$$\mu = \frac{D_u}{D_y} = \left(\frac{T_s}{T_1}\right)^2 \quad (23)$$

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{Dm}{V}} \quad (24)$$

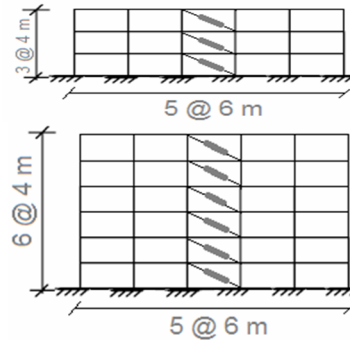
در این رابطه‌ها،  $T_1$ ، زمان تناوب بنیادی و اصلی سازه،  $T_s$ ، زمان تناوب اصلی موثر در تغییرمکان طرح،  $D_u$ ، تغییرمکان طرح،  $D_y$ ، تغییرمکان تسلیم،  $\mu$ ، شکل‌پذیری سازه،  $m$ ، وزن لرزهای و  $V$ ، برش پایه می‌باشد.

نتیجه تحلیل ایستای ناخطی قاب‌های 3 و 6 طبقه نشان می‌دهد که رابطه‌ی (22) زمان تناوب را کم‌تر از مقدار حقیقی تخمین می‌زند و رابطه (24) آن را بیشتر از مقدار حقیقی به دست می‌دهد. اگر در این رابطه از تغییرمکان و برش پایه‌ی تسلیم بهره‌جویی شود، زمان تناوب آن به دوره تناوب و تری برگرفته از تحلیل ایستای ناخطی نزدیک می‌گردد. باید افزود، بهره‌جستن از تغییرمکان و برش پایه تسلیم در این رابطه، زمان تناوب حالت یکم را می‌دهد.

جدول 1- مشخصه‌های طرح قاب‌ها

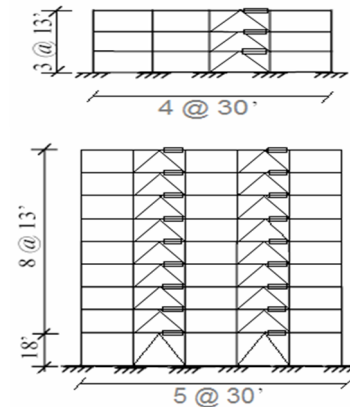
مشخصه ها	قاب 3 طبقه‌ی سنگ نشانه	قاب 9 طبقه‌ی سنگ نشانه	قاب 6 طبقه	قاب 3 طبقه
$C_e$	1/100 g	0/635g	0/715g	0/825 g
T تجربی	0/546Sec	1/285sec	0/86sec	0/51Sec
T وتری	1/00	2/20	1/88	1/25
$\theta_y$ (رادیان)	0/01	0/01	0/01	0/01
$\theta_u$ (رادیان)	0/02	0/02	0/02	0/02
$\mu_s$	2	2	2	2
$\gamma$	0/82	0/75	0/75	1
$\alpha$	2/774	1/503	1/931	2/831
V/W	0/320	0/179	0/181	0/223

کارکرد لرزهای سازه‌ها با تحلیل‌های ناخطی پویا ارزیابی می‌شود. برای این کار از نرم افزار PERFORM 3D V4 استفاده خواهد شد. برای نشان دادن رفتار ناخطی تیرها از



شکل 3- قاب‌های 3 و 6 طبقه با میراگر لزوج

نمونه‌ها عددی دیگر، قاب‌های خمشی ساختمان‌های 3 و 9 طبقه‌ای هستند که توسط لی، چائو و گوئل به شیوه مومسان طرح شده‌اند [14]. به آن‌ها میراگرهای لزوج<sup>1</sup> خطی افزوده می‌شوند و دوباره با راه کار مومسان طرح می‌گردند. شکل 4 تصویر این قاب‌ها را نشان می‌دهد. شکل‌پذیری برگزیده برای آن‌ها برابر با 2 می‌باشد. مشخصه‌های لرزهای این قاب‌ها تغییر نمی‌کند. جدول 1 مشخصه‌های طرح قاب‌ها را نشان می‌دهد. مقاومت تسلیم تمام اعضا 50(ksi) است. طرح اعضا به روش حدی انجام می‌شود.



شکل 4- قاب‌های 3 و 9 طبقه با میراگر لزوج

قاب های بدون میراگر، A و آن هایی که میرا شده‌اند، B نام دارند. برای یافتن ضریب میرایی باید زمان تناوب وابسته

<sup>1</sup> Viscose dampers

زمین‌لرزه‌های ایمپریال و نورث‌ریج بیش از پیش بینی است. بیشینه تغییرمکان نسبی قاب 6 طبقه‌ی B در زمین‌لرزه ایمپریال، 17 درصد و در دو زمین‌لرزه‌ی دیگر، 12 درصد کاهش دارد. در قاب 3 طبقه B، این شاخص در زمین‌لرزه ایمپریال 15 درصد افزایش و در دو زمین‌لرزه دیگر 25 درصد کاهش می‌یابد. در هیچ کدام از قاب‌های A و B مفصل ناخواسته‌ای دیده نمی‌شود. این نتیجه بهره جستن از تحلیل درخت ستون در هر دو قاب است. بنابراین، تمام قاب‌ها به سازوکار تسلیم مناسب دست یافته‌اند. شکل‌های 7 و 10 بیشینه شتاب کلی کف را نشان می‌دهند. همان‌گونه که در این نمودارها دیده می‌شود، شتاب کلی در طبقه‌ی بام بیشتر است. بیشینه شتاب کف طبقه بام در قاب 6 طبقه‌ی A به 0/91 و در قاب 6 طبقه‌ی B به 0/76 می‌رسد. این شاخص در قاب 3 طبقه A، 1/03 و در قاب 3 طبقه B، 0/84 می‌باشد. بیشینه شتاب کلی قاب 6 طبقه B در زمین‌لرزه‌های ایمپریال، نورث‌ریج و طبس، به ترتیب، 16، 13 و 33 درصد کاهش دارد. برای قاب 3 طبقه B این کاهش به 18، 22 و 24 درصد می‌رسد. آشکار شد، که بهره‌جویی از میرایی افزوده سبب کاهش بیشینه تغییرمکان نسبی طبقه و شتاب کلی کف طبقه‌های بالاتر می‌گردد. شکل‌های 6 و 9 درصد بیشینه کارمایه میرا هر طبقه را نشان می‌دهند. بیشینه این درصد در قاب 3 طبقه A، در بازه 44 تا 9 و در قاب 3 طبقه B، در بازه 8 تا 4 می‌باشد. در قاب 6 طبقه A، از 1/5 تا 34 درصد و در قاب 6 طبقه B، از 0/5 تا 5 درصد تغییر می‌کند. درصد کارمایه مومسان جذبی طبقه‌های پایین و میانی در قاب‌های B به مقدار چشم‌گیری کاهش پیدا می‌کند. پخش یکنواخت کارمایه مومسان جذبی در این قاب‌ها آشکار می‌باشد. بنابراین، بهره‌جستن از میراگرها سبب کاهش آسیب‌ها و پخش یکنواخت‌تر آن‌ها در ارتفاع می‌شود. مقایسه نمودارهای شکل 11 مشخص می‌کند، کاهش برش پایه در طبقه‌های بالا بیشتر می‌گردد. به همین سبب در این طبقه‌ها کاهش شتاب کلی کف نیز بیشتر به چشم می‌خورد. بیشینه تغییرمکان نسبی طبقه و بیشینه شتاب کلی کف در قاب‌های 3 طبقه بیش از قاب‌های 6 طبقه می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت، به کارگیری پخش نیروی جانبی پیشنهادی چاؤ و گوئل، در قاب‌های متوسط و بلند مناسب‌تر است.

مفصل‌های چرخشی - خمشی آیین‌نامه‌های FEMA-273/356 و برای ستون‌ها از مفصل‌های (P-M-M) بهره‌جویی می‌شود. نمودار رفتاری عضوها برپایه آیین‌نامه بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها رسم خواهد شد [32]. رفتار ناخطی تیرها و ستون‌ها، کشسان - مومسان کامل با کاهش مقاومت معرفی می‌گردد. اثر  $p$ -delta با افزودن یک ستون یکپارچه به قاب وارد می‌شود. بارهای وارد به این ستون در هر طبقه، برابر با مجموع بارهای ثقلی ستون‌های آن طبقه می‌باشد. برای ارزیابی پاسخ لرزه‌ای قاب‌های 3 و 6 طبقه، در زمین‌لرزه طرح از سه شتاب نگاشت بهره‌جویی می‌شود. این شتاب نگاشت‌ها، زمین لرزه‌های طبس، نورث‌ریج<sup>1</sup> و ایمپریال ولی<sup>2</sup> هستند. کارکرد قاب‌های سنگ نشانه با شتاب نگاشت‌های سیلمار، یرمو و نیوهال ارزیابی می‌گردد.

### 5- ارزیابی با تحلیل ناخطی پویا

بیشینه برش پایه، بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقه<sup>3</sup>، بیشینه شتاب کلی کف و درصد کارمایه مومسان جذبی طبقه نشانه‌هایی هستند که در تحلیل‌های پویای ناخطی باید بررسی شوند. با بهره جستن از تحلیل ایستای ناخطی درصد میرایی افزوده در هنگام دستیابی سازه به تغییرمکان هدف مشخص می‌گردد. این نسبت برای قاب‌های 3 و 6 طبقه، به ترتیب، 17 و 18/5 درصد و برای قاب‌های 3 و 9 طبقه سنگ نشانه، به ترتیب، 20 و 22 درصد می‌باشد. نتیجه‌های این تحلیل‌ها به شرح زیر است.

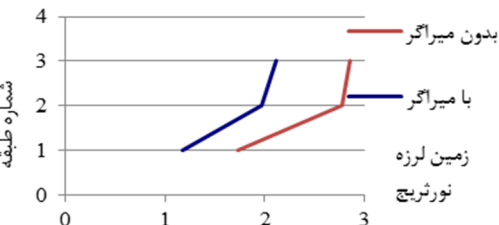
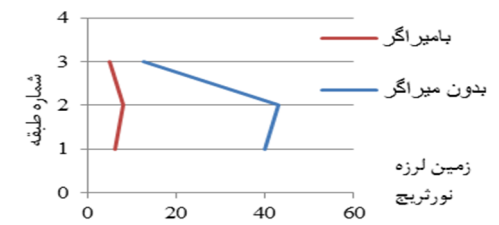
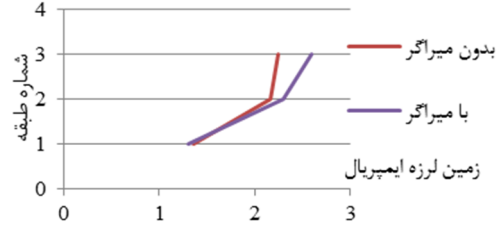
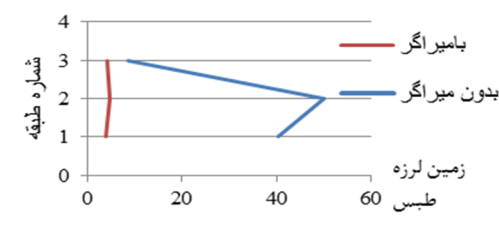
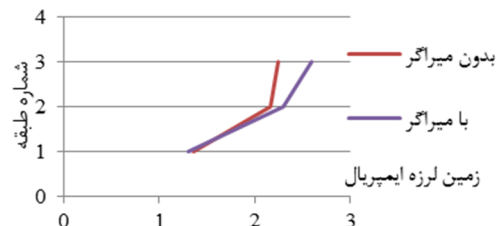
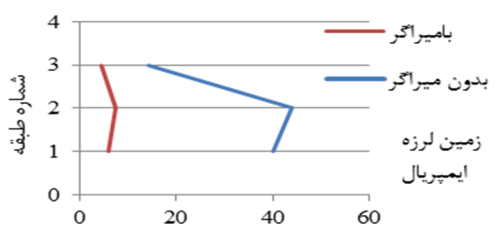
### 5-1- قاب‌ها 3 و 6 طبقه

شکل‌های 5 و 8 بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقه را نشان می‌دهند. نسبت بیشینه‌ی تغییرمکان نسبی طبقه، در قاب‌های 3 طبقه A و B، به ترتیب، به 0/028 و 0/026 می‌رسد. این نسبت در قاب‌های 6 طبقه A و B، به ترتیب، 0/021 و 0/0175 می‌باشد. همان‌گونه که آشکار است، قاب‌های 6 طبقه A و B به تغییرمکان هدف دست یافته‌اند. اما تغییرمکان هدف قاب 3 طبقه A و B در

<sup>1</sup> Northridge

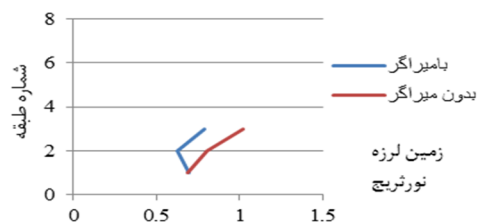
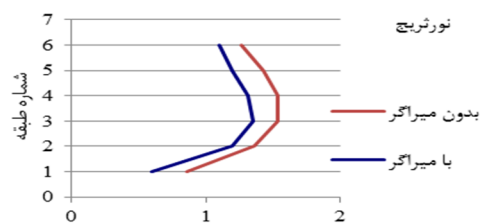
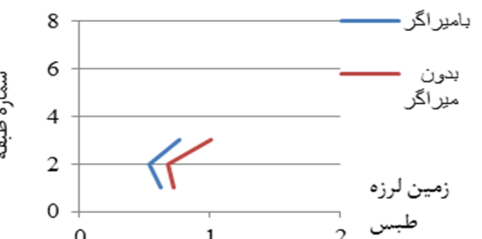
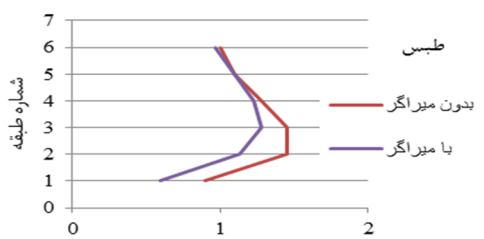
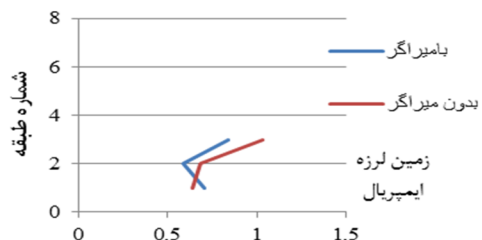
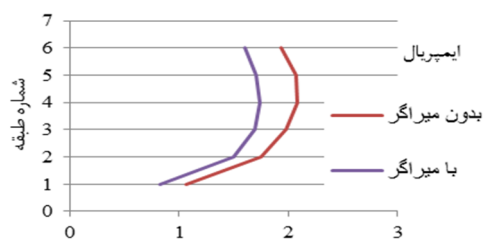
<sup>2</sup> Imperial Valley

<sup>3</sup> Drift



شکل 6- درصد بیشینه کارمایه مومسان جذبی طبقه

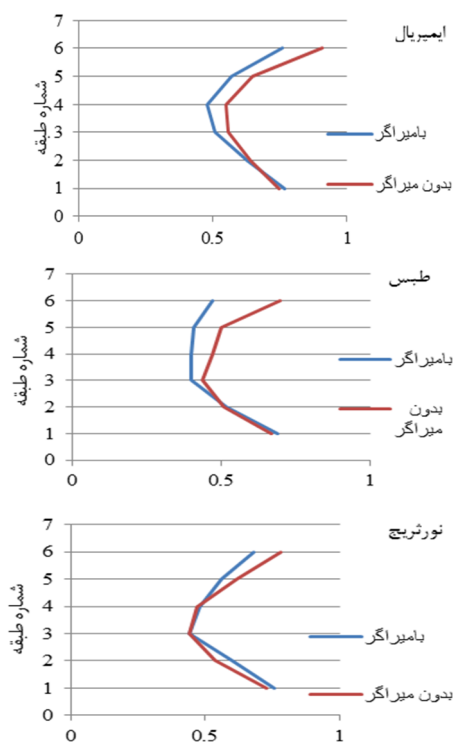
شکل 5- درصد تغییر مکان نسبی طبقه



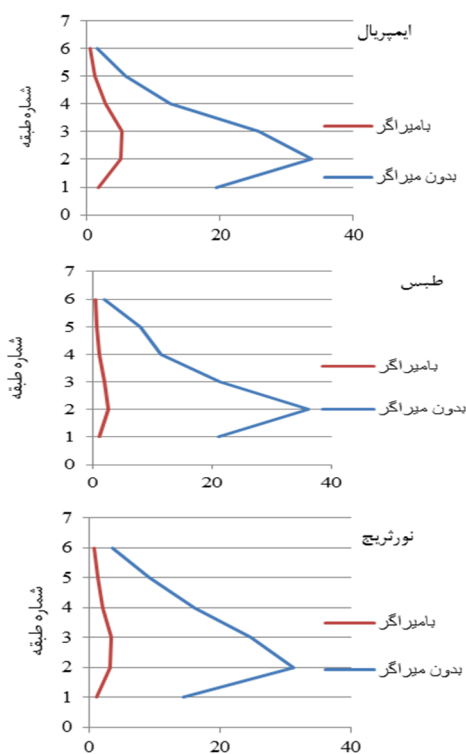
شکل 8- درصد تغییر مکان نسبی طبقه

شکل 7- بیشینه شتاب کلی کف طبقه (g)





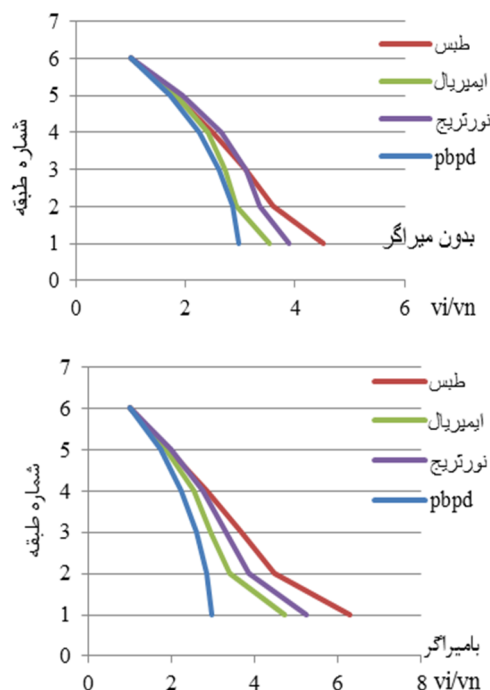
شکل 10- بیشینه‌ی شتاب کلی کف طبقه (g)



شکل 9- درصد بیشینه کارمایه مومسان جذبی طبقه

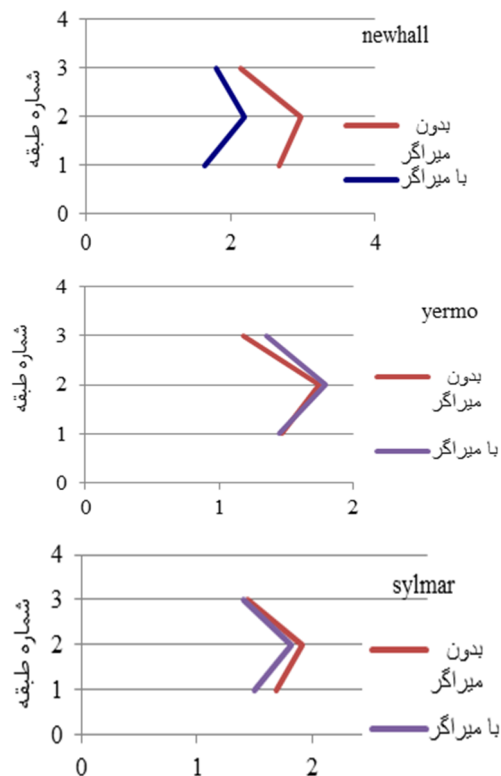
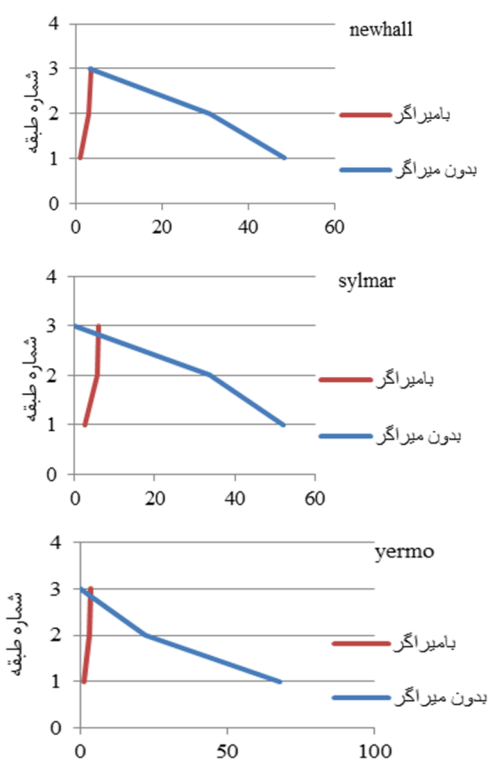
5-2- قاب 3 طبقه سنگ نشانه

مقایسه تغییرمکان نسبی طبقه، در سه زمین‌لرزه نشان می‌دهد این نشانه در زمین‌لرزه نیوهال<sup>1</sup> بیشتر می‌باشد. نسبت بیشینه تغییرمکان نسبی طبقه، در قاب‌های 3 طبقه‌ی A و B، به ترتیب، به 0/029 و 0/022 می‌رسد. همان‌گونه که نمودارهای شکل 12 نشان می‌دهند، این نسبت در زمین‌لرزه‌های یرمو<sup>2</sup> و سیلمار<sup>3</sup> در دو قاب A و B نزدیک به هم است. اما در زمین‌لرزه نیوهال، افزودن میرایی سبب کاهش 26 درصدی این شاخص می‌شود. اثر میرایی بر بیشینه تغییرمکان طبقه در دو زمین‌لرزه دیگر اندک می‌باشد. نمودارهای 14 و 15 آشکار می‌کنند، با افزودن میراگر، برش طبقه و شتاب کلی کف در تمام طبقه‌ها کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش شتاب در زمین‌لرزه سیلمار 26 درصد و در



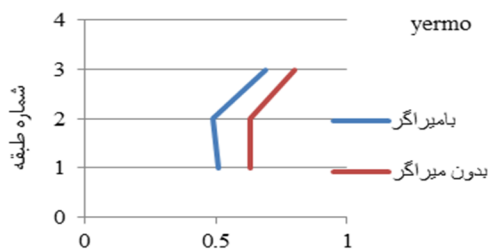
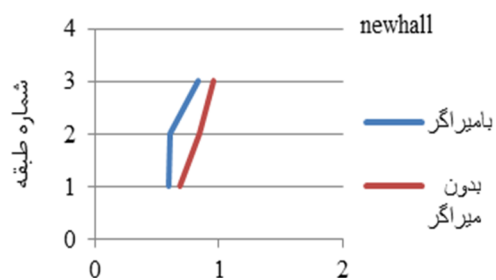
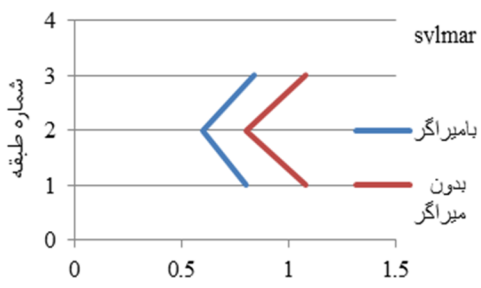
شکل 11- نسبت بیشینه برش طبقه به بیشینه برش بام

<sup>1</sup> Newhall  
<sup>2</sup> Yermo  
<sup>3</sup> Sylmar



شکل 12- درصد تغییر مکان نسبی طبقه

شکل 13- درصد بیشینه کارمایه مومسان جذبی طبقه



شکل 14- بیشینه شتاب کلی کف طبقه (g)

6 تا 0 است. درصد کارمایه مومسان جذبی طبقه‌های پایین در قاب B به مقدار چشم‌گیری کاهش پیدا می‌کند. پخش یکنواخت کارمایه مومسان جذبی در این قاب آشکار می‌باشد. با وجود این که قاب‌های A به سازوکار تسلیم مطلوب و تغییرمکان هدف دست یافته‌اند، اما درصد کارمایه‌ی مومسان جذبی طبقه نشان می‌دهد که میزان آسیب‌ها در ارتفاع یکنواخت نمی‌باشد. گردهم‌آیی آسیب‌ها در طبقه‌های 1 تا 4 چشم‌گیر است. بهره‌جویی از میرایی افزوده سبب کاهش آسیب‌ها و پخش یکنواخت‌تر آن‌ها در ارتفاع می‌شود. نمودارهای شکل 21 آشکار می‌کنند که برش پایه سازه‌های A و B به هم نزدیک شده و کاهش 25 درصدی برش پایه وجود ندارد. کاهش برش طبقه در طبقه‌های بالای قاب B بیشتر می‌گردد و به همین سبب در این طبقه‌ها کاهش شتاب کلی کف نیز بیشتر به چشم می‌خورد. همان‌گونه که جدول‌های 11-13 نشان می‌دهند، مقطع تیرها و ستون‌های کناری قاب B کوچکتر از قاب A و مقطع ستون‌های میانی قاب B بزرگتر از قاب A می‌باشد. خاطر نشان می‌کند، اندرسون<sup>1</sup> و تراسلی<sup>2</sup> این قاب 9 طبقه را با میراگرهای لزوج طرح نموده‌اند [27]. جدول 2 نتیجه کار آن‌ها را نشان می‌دهد. آن‌ها با 1/5 برابر کردن برش پایه و افزودن 25 درصد میرایی توانسته‌اند تغییرمکان جانبی طبقه‌ی بام را 33 درصد کاهش دهند.

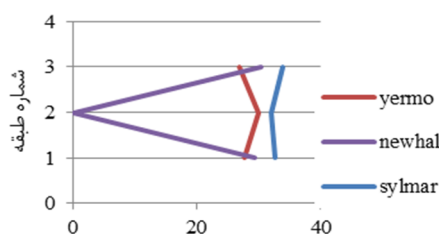
جدول 2- مشخصه‌های ساختمان 9 طبقه اندرسون و تراسلی [27]

مشخصه‌ها	قاب با 5 درصد میرایی
دوره تناوب مد یکم (s)	2/196
برش پایه (k)	2651
بیشترین تغییرمکان بام (in)	54/53

### 6- نتیجه‌گیری

طرح مومسان برپایه کارکرد با وارد نمودن هدف‌های طرح در روند تحلیل و با بهره‌جستن از تحلیل درخت ستون و ضریب پخش بار مناسب به هدف‌های کارکرد و سازوکار تسلیم

دو زمین‌لرزه دیگر 13 درصد است و بیشینه برش پایه در زمین‌لرزه‌های سیلمار، نیوهال و یرمو به ترتیب، 27، 29 و 32 درصد کاهش دارد. نمودارهای شکل 13 درصد بیشینه کارمایه میرای هر طبقه را نشان می‌دهند. بیشینه این درصد در قاب 3 طبقه A، در بازه 68 تا 0 و در قاب 3 طبقه B، در بازه 16 تا 0 می‌باشد. با افزودن میرایی کارمایه مومسان جذبی طبقه‌های یکم و دوم قاب B به مقدار چشم‌گیری کاهش پیدا می‌کند. پخش یکنواخت کارمایه مومسان جذبی در این قاب آشکار است. همان‌گونه که جدول‌های 11-13 نشان می‌دهند، مقطع تیرها و ستون‌های قاب B کوچکتر از قاب A است.



شکل 15- درصد کاهش بیشینه برش طبقه

### 5-3- قاب 9 طبقه سنگ نشانه

نسبت بیشینه تغییرمکان نسبی طبقه، در قاب‌های 9 طبقه A و B، به ترتیب، به 0/0217 و 0/0175 می‌رسد. نمودارهای شکل 16 نشان می‌دهند، نسبت تغییرمکان جانبی قاب 9 طبقه A در طبقه‌های 2 و 3 بیشتر می‌باشد. همان‌گونه که در نمودارهای شکل 17 دیده می‌شود، تغییرمکان نسبی طبقه در ارتفاع قاب B یکنواخت‌تر پخش شده است و بیشینه تغییرمکان نسبی این قاب در هر سه زمین‌لرزه کاهش می‌یابد. با افزودن میرایی، این شاخص در زمین‌لرزه‌های سیلمار، نیوهال و یرمو، به ترتیب، 35، 45 و 17 درصد کاهش می‌یابد. نمودارهای شکل 20 آشکار می‌کنند که افزودن میراگر سبب کاهش شتاب کلی کف در طبقه‌های بالاتر و پخش یکنواخت‌تر آن در ارتفاع می‌گردد. در زمین‌لرزه‌های نیوهال و یرمو کاهش 21 و 20 درصدی شتاب طبقه بام دیده می‌شود. نمودارهای شکل 19 درصد بیشینه کارمایه میرای هر طبقه را نشان می‌دهند. بیشینه این درصد در قاب 9 طبقه‌ی A، در بازه 37/5 تا 0 و در قاب 9 طبقه B، در بازه

<sup>1</sup> Anderson

<sup>2</sup> Tarassoly

- 5- افزودن میرایی سبب پخش یکنواخت‌تر بیشینه‌ی شتاب کلی کف و تغییرمکان نسبی طبقه در ارتفاع می‌شود.
- 6- کاهش مقطع تیرها و ستون‌های نچسبیده به مهارها بهینه بودن این راه‌کار را از دیدگاه اقتصادی نشان می‌دهد.
- 7- با افزودن میرایی کارمایه مومسان جذبی طبقه به مقدار چشم‌گیری کاهش می‌یابد و پخش آن نیز در ارتفاع یکنواخت می‌گردد. بنابراین، از شدت آسیب‌ها در طبقه‌های نخستین کاسته می‌شود و دیگر طبقه ضعیف در سازه وجود ندارد.
- 8- همان‌گونه که آشکار شد، با بهره‌جستن از میرایی افزوده می‌توان کارکرد لرزه‌ای بخش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای را همزمان بهبود بخشید.
- 9- طرح سازه میرا به شیوه مومسان نیاز به تکرار فرآیند تحلیل و طرح را کاهش می‌دهد.

### 7- پیوست

جدول 3 مشخصه‌های شتاب نگاشت‌های زمین لرزه‌های طیس، نورث‌ریچ و ایمپریال‌ولی را نشان می‌دهد. این شتاب نگاشت‌ها برپایه بیشینه شتاب زمین ( $g/3$ ) و بر پایه آیین نامه 2800 همپایه شدند [30]. با استفاده از نرم‌افزار Seismo Signal مدت زمان حرکت شدید زمین در آن‌ها مشخص می‌گردد و طیف پاسخ شتاب هریک، با در نظر گرفتن میرایی 5% رسم می‌شود. شکل 22 طیف‌های پاسخ این سه زمین لرزه را نمایش می‌دهد. برپایه آیین‌نامه 2800، برای مشخص نمودن ضریب مقیاس، طیف پاسخ میانگین شتاب نگاشت‌ها با  $1/4$  برابر طیف استاندارد مقایسه می‌گردد.

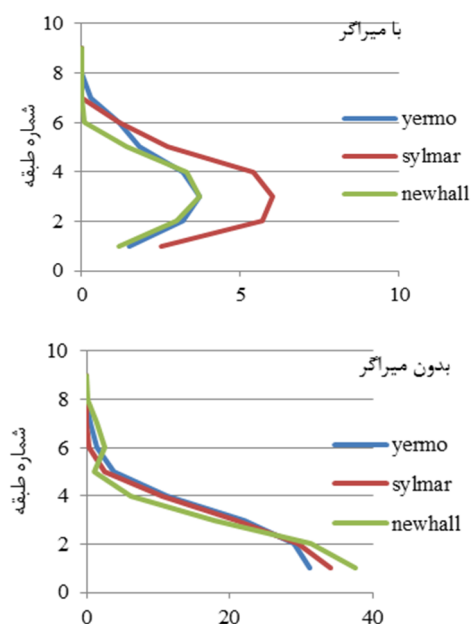
جدول 3- مشخصه‌های زمین لرزه‌ها

زمین لرزه	جهت	بیشینه	
		شتاب	سال رخ داد
ایمپریال ولی	صفر درجه	0/313	1940/05/19
	نود درجه	0/215	
نورث‌ریچ	صفر درجه	0/308	1994/01/17
	نود درجه	0/344	
طیس	صفر درجه	0/852	1978/09/16
	نود درجه	0/836	

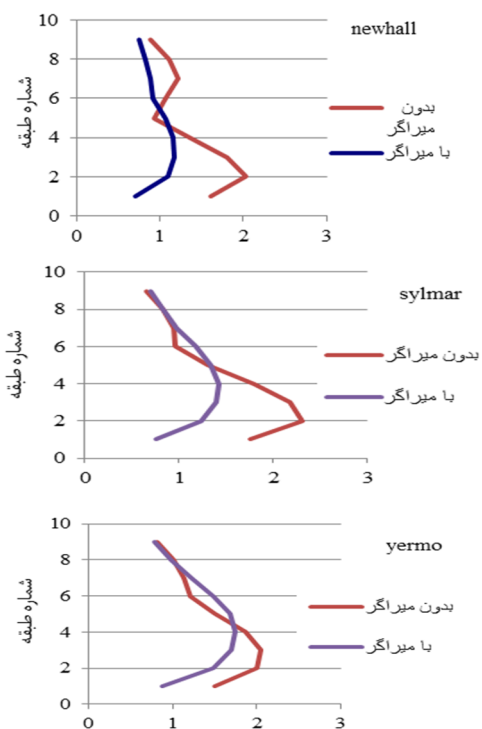
مطلوب دست می‌یابد. خاطر نشان می‌کند، پخش یکنواخت تغییرمکان نسبی و زاویه چرخش مومسان در ارتفاع قاب، سبب پخش یکنواخت آسیب‌ها نمی‌شود. زیرا، هم‌چنان تمرکز آسیب‌ها در شماری از طبقه‌ها وجود دارد. با بهره جستن از میراگرها، می‌توان از شدت آسیب‌ها کاست. ارزیابی قاب‌های میرا و نامیرا با تحلیل‌های ناخطی پویا نشان می‌دهد که افزودن میرایی سبب بهبود کارکرد لرزه‌ای آن‌ها خواهد شد. بیشینه تغییرمکان جانبی طبقه و شتاب کلی کف در قاب‌های با میرایی افزوده کاهش می‌یابد و پخش آن‌ها در ارتفاع یکنواخت می‌شود. بنابراین، می‌توان با بهره جستن از این شیوه، کارکرد لرزه‌ای بخش‌های حساس به شتاب و تغییرمکان را هم‌زمان بالا برد و از شدت آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای کاست. افزودن میرایی سبب کاهش برش پایه در قاب‌های کوتاه می‌گردد. با افزایش ارتفاع اثر میرایی بر کاهش برش پایه کم می‌شود. به طور معمول، کاهش تغییرمکان همراه با افزایش برش پایه است. اما در این پژوهش، با به کارگیری طرح مومسان، تغییرمکان جانبی طبقه بیش از 33 درصد کاهش یافت، بی آن که برش پایه افزایش یابد. بنابراین، شایسته تری بودن این شیوه از دیدگاه اقتصادی نیز آشکار می‌شود.

نتیجه‌هایی که از هم‌شماری قاب‌های میرا و نامیرا به دست آمدند به شرح زیر است:

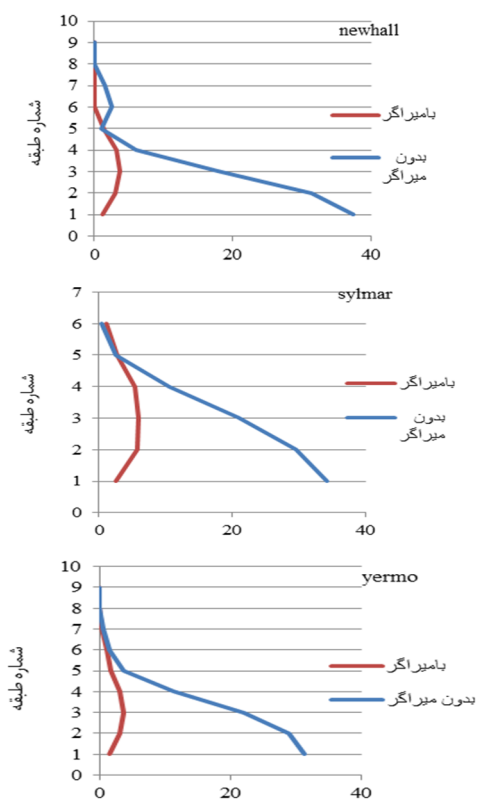
- 1- با افزودن میرایی، برش پایه در قاب‌های 3 و 6 طبقه کاهش می‌یابد و در قاب 9 طبقه تغییر چندانی نمی‌کند.
- 2- در تمام سازه‌هایی که طرح شدند، رفتار ناخطی تنها در محل‌های پیش بینی شده به وجود آمدند و عضوهای ناشکل‌پذیر به صورت خطی رفتار می‌کنند.
- 3- افزودن میرایی سبب کاهش بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقه در قاب‌های با ارتفاع متوسط (6 و 9 طبقه) می‌شود. در قاب‌های کوتاه احتمال افزایش اندک تغییرمکان نسبی طبقه وجود دارد. باید افزود، این افزایش در محدوده مشخص شده می‌باشد. بنابراین، کارکرد لرزه‌ای بخش‌های حساس به تغییرمکان مناسب خواهد بود.
- 4- افزودن میرایی سبب کاهش بیشترین شتاب کلی کف در طبقه‌های بالاتر می‌گردد. از این رو، کارکرد لرزه‌ای بخش‌های حساس به شتاب مناسب خواهد بود.



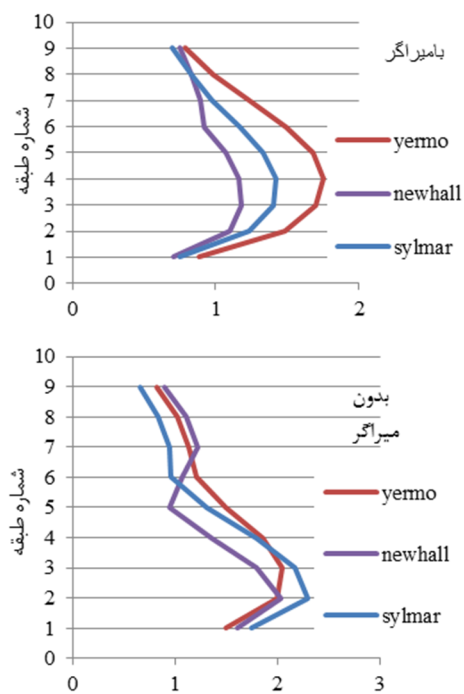
شکل 18- درصد بیشینه کارمابه مومسان جذبی طبقه



شکل 16- درصد تغییرمکان نسبی طبقه



شکل 19- درصد بیشینه کارمابه مومسان جذبی طبقه



شکل 17- درصد تغییرمکان نسبی طبقه

مشخصه‌های لرزه‌ای شتاب‌نگاشت‌های سیلمار، یرمو و نیوهال همانند جدول 4 است.

جدول 4- مشخصه‌های زمین لرزه‌های قاب‌های سنگ نشانه

زمین لرزه	مدت زمان sec	بیشینه شتاب زمین g	سال رخداد	ضریب همپایه
نورثرنج، سیلمار	60	0/8169	1994	0/99
نورثرنج، نیوهال	60	0/6778	1994	1/03
لندرز، یرمو	80	0/5195	1992	2/17

ویژگی‌های مصالح قاب‌های 3 و 6 طبقه در جدول 5 وارد شده‌اند. جدول 6 بارگذاری این سازه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول 5- مشخصه‌های مصالح سازه

نوع عضو	$F_u$ (kg / cm <sup>2</sup> )	$F_y$ (kg / cm <sup>2</sup> )
تیرها	3700	2400
ستون‌ها	4569/95	3515/35

جدول 6- مشخصه‌های بارگذاری ثقلی قاب‌ها

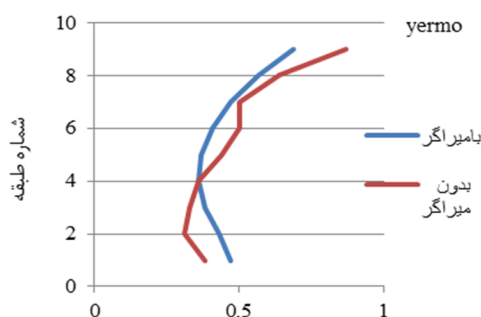
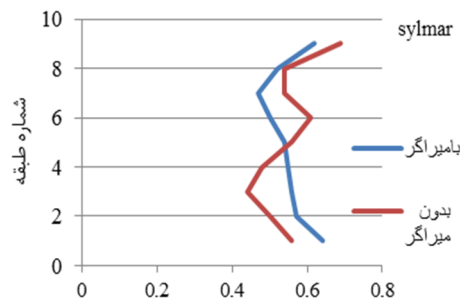
وزن طبقه (kg) (D+0.2L)	طبقه
70200	طبقه‌های میانی
56700	طبقه‌ی بام

مشخصه‌های لرزه‌ای قاب‌های سنگ نشانه در جدول 7 می‌آید.

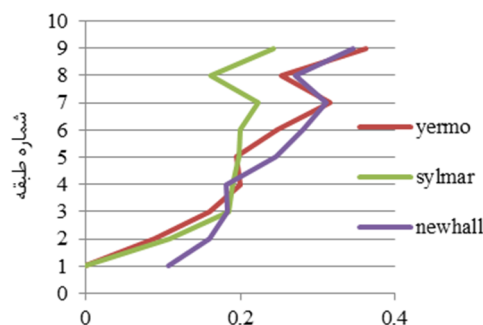
جدول 7- وزن لرزه‌ای قاب‌ها

طبقه یکم	504405/8	478761/9
طبقه‌های میانی <td>495784/8 <td>478761/9 </td></td>	495784/8 <td>478761/9 </td>	478761/9
طبقه بام <td>534068/2 <td>517995/0 </td></td>	534068/2 <td>517995/0 </td>	517995/0
طبقه یکم <td>504405/8 <td>478761/9 </td></td>	504405/8 <td>478761/9 </td>	478761/9

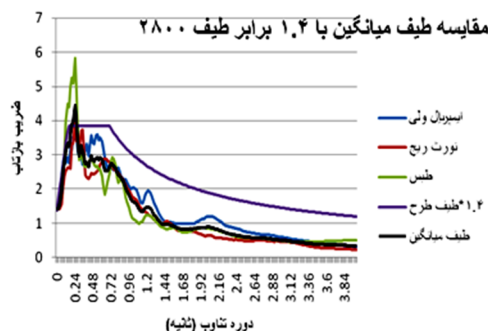
نتیجه‌های طرح این قاب‌ها در جدول‌های (8) تا (14) آمده است.



شکل 20- بیشینه شتاب کلی کف طبقه (g)



شکل 21- درصد کاهش بیشینه برش طبقه



شکل 22- نمودار طیف پاسخ زمین لرزه‌ها

**جدول 11- مقطع ستون های کناری قاب های 3 و 6 طبقه**

شماره طبقه	قاب 6 طبقه A	قاب 6 طبقه B	قاب 3 طبقه A	قاب 3 طبقه B
1	W14X43	W14X68	W14X38	W16X67
2	W14X43	W14X68	W14X30	W16X67
3	W14X30	W14X61	W14X30	W14X61
4		W14X61		W14X61
5		W14X38		W14X43
6		W14X38		W14X43

**جدول 12- مقطع ستون های کناری قاب های سنگ نشانه**

شماره طبقه	قاب 6 طبقه A	قاب 6 طبقه B	قاب 3 طبقه A	قاب 3 طبقه B
1	W14X426	W14X500	W14X211	W14X159
2	W14X426	W14X500	W14X211	W14X159
3	W14X342	W14X455	W14X211	W14X159
4	W14X342	W14X455		
5	W14X342	W14X426		
6	W14X342	W14X426		
7	W14X342	W14X342		
8	W14X257	W14X342		
9	W14X257	W14X257		

**جدول 13- مقطع ستون های میانی قاب های سنگ نشانه**

شماره طبقه	قاب 6 طبقه A	قاب 6 طبقه B	قاب 3 طبقه A	قاب 3 طبقه B
1	W36X650	W14X665	W14X370	W14X283&311
2	W36X650	W14X665	W14X370	W14X283&311
3	W36X650	W14X665	W14X370	W14X283&311
4	W36X650	W14X665		
5	W36X650	W14X665		
6	W36X650	W14X665		

**جدول 8- ضریب میرایی میراگرها**

شماره طبقه	قاب 9 طبقه سنگ نشانه	قاب 3 طبقه سنگ نشانه	قاب 6 طبقه	قاب 3 طبقه
	kg.sec/m	kg.sec/m	kg.sec/m	kg.sec/m
1	750000	550000	210000	84000
2	980000	500000	210000	70000
3	980000	300000	190000	42000
4	980000		160000	
5	850000		122000	
6	750000		71000	
7	750000			
8	350000			
9	350000			

**جدول 9- مقطع ستون های میانی قاب های 3 و 6 طبقه**

شماره طبقه	قاب 6 طبقه A	قاب 6 طبقه B	قاب 3 طبقه A	قاب 3 طبقه B
1	W18X86	W18X86	W18X60	W18X55
2	W18X86	W18X86	W18X60	W18X55
3	W18X76	W18X76	W16X36	W16X36
4	W18X76	W18X76		
5	W18X50	W18X76		
6	W18X50	W18X50		

**جدول 10- مقطع تیر های قاب های سنگ نشانه**

شماره طبقه	قاب 6 طبقه A	قاب 6 طبقه B	قاب 3 طبقه A	قاب 3 طبقه B
1	W33X130	W40X149	W30X116	W30X90
2	W33X130	W40X149	W30X108	W24X94
3	W33X118	W40X149	W30X90	W24X68
4	W33X118	W40X149		
5	W30X116	W40X149		
6	W30X116	W36X135		
7	W30X108	W33X130		
8	W30X90	W30X116		
9	W24X8	W30X90		

plastic design and evaluation method for earthquake resistant structures. *Earthquake Spectra* (under review).

- [11] Goel SC, Lioa WC, Chao SH, Bayat MR (2010) Performance-based plastic design (PBPD) method for earthquake resistant structures: an overview. *The Structural Design Of Tall And Special Buildings*, Wiley Interscience 19: 115–137.
- [12] Leelataviwat S, Saewon W, Goel SC (2007) An energy based method for seismic evaluation of structures. *Proceedings of Structural Engineers Association of California Convention SEAOC, Lake Tahoe, California*, 2131.
- [13] Liao WC, Goel SC (2010) Performance based plastic design (PBPD) of reinforced concrete special moment frame structures. *The 3rd Congress of the International Federation for Structural Concrete (fib)*, Washington DC.
- [14] Lee SS, Goel SC, Chao SH (2004) Performance-based seismic design of steel moment frames using target drift and yield mechanism. *13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada*, Paper No 266
- [15] Sahoo DR, Chao SH (2010) Performance-based plastic design for buckling-restrained braced frames. In: *Proceedings of 9th US national and 10th Canadian conference on earthquake engineering*.
- [16] Goel SC, Leelataviwat S (1998) Seismic design by plastic method. *engineering structures*. Elsevier Science 20 (4-6): 465–471.
- [17] Gupta A, Krawinkler H (1999) Prediction of seismic demands for smrfs with ductile connections and elements. Report No SAC/BD-99/06. Sacramento (CA): SAC Joint Venture.
- [18] NEHRP (2009) Recommended seismic provisions for new buildings and other structures: Part 3, Resource Papers On Special Topics In Seismic Design.
- [19] FEMA (2009) Quantification of building seismic performance factors (ATC-63 Project), FEMA P695, Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- [20] Chao SH, Goel SC (2008) Performance-based plastic design of special truss moment frames. *AISC Engineering Journal* 2: 127–150.
- [21] Bayat MR, Goel SC, Chao SH (2008) Further refinement of performance-based plastic design (PBPD) of structures for earthquake resistance. *14th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No 05-01-0412, Beijing China*.
- [22] Chao SH, Goel SC (2006) Performance-based plastic design of seismic resistant special truss moment frames (STMF). Report No UMCEE 06-03, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.

جدول 14- مقطع تیرهای قاب‌های 3 و 6 طبقه

شماره طبقه	قاب 6 طبقه	قاب 6 طبقه	قاب 3 طبقه	قاب 3 طبقه
	B	A	B	A
1	IPN340	IPN360	IPN260	IPN300
2	IPN320	IPN360	IPN240	IPN280
3	IPN320	IPN360	IPN200	IPN240
4	IPN300	IPN340		
5	IPN280	IPN300		
6	IPN220	IPN240		

### مراجع

- [1] Lee SS, Goel SC (2001) Performance-based design of steel moment frames using target drift and yield mechanism. Report No UMCEE 01-17, Dept of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- [2] Chao SH, Goel SC (2008) Performance-based plastic design of special truss moment frames. *AISC Engineering Journal*, Second Quarter.
- [3] Chao SH, Goel SC (2006) A seismic design method for steel concentric braced frames (CBF) for enhanced performance. Paper No 227. *4th International Conference on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan*.
- [4] Chao SH, Goel SC (2006) Performance-based design of eccentrically braced frames using target drift and yield mechanism. *AISC Engineering Journal* 3: 173–200.
- [5] Lee SS, Goel SC (2000) A new lateral force distribution for seismic design of steel structure. *Proceedings of US-Japan Workshop on Seismic Fracture Issues in Steel Structures, San Francisco, CA, February 28-March 1*.
- [6] Chao SH, Goel SC, and Lee SS (2007) A seismic design lateral force distribution based on inelastic state of structures. *Earthquake spectra, Earthquake Engineering Research Institute* 23(3): 547–569.
- [7] CSI (2007) Perform-3D V.4.0 User Manual. Computers & Structures, Inc., Berkeley, USA.
- [8] Goel SC, Chao SH (2008) Performance-based plastic design: earthquake resistant steel structures. *International Code Council*.
- [9] Goel SC, Liao WC, Bayat MR, Leelataviwat S (2009) Performance-based plastic design (PBPD) method for earthquake resistant structures: An overview. *Proceedings of Structural Engineers Association of California Convention SEAOC, San Diego, California*.
- [10] Goel SC, Leelataviwat S, Lee SS, Chao SH (2008) Theoretical justification of performance based



- Engineering, Vancouver, BC, Canada, Paper No 922.
- [28] Akiyama H (1985) Earthquake-resistant limit-state design of buildings. University of Tokyo Press, Japan.
- [29] Housner GW (1960) The plastic failure of structures during earthquakes. In Proceedings of Second World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, July 11-18: 997-1012.
- [30] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان (1385) مبحث ششم بارهای وارد بر ساختمان، ویرایش سوم.
- [31] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان (1387) مبحث دهم طرح و اجرای ساختمانهای فولادی.
- [32] دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود (1385). دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور و پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، نشریه شماره 360.
- [23] Chao SH, Goel SC (2005) Performance-based seismic design of ebf using target drift and yield mechanism as performance criteria. Report No UMCEE 05-05, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- [24] Chao SH, Goel SC, Lee SS (2007) A seismic design lateral force distribution based on inelastic state of structures. Earthquake Spectra, Earthquake Engineering Research Institute 23:3: 547-569.
- [25] Theodore L, Karavasilis, Choung-Yeol Seo (2011) Seismic structural and non-structural performance evaluation of highly damped self-centering and onventional systems. University of Warwick institutional repository.
- [26] Sullivan TJ, Lago A (2012) Towards a simplified direct dbd procedure for the seismic design of moment resisting frames with viscous dampers. Engineering Structures 35: 140-148.
- [27] Tarassoly V, Anderson JC (2004) Fluid viscous dampers versus a conventional retrofit system. 13th World Conference on Earthquake