

**A. Seyed Kazemi\***

Assistant Professor,  
Department of Civil  
Engineering, Ayatollah Amoli  
Branch, Islamic Azad  
University, Amol, Iran.

**e-mail:**  
a.seyedkazemi@iauamol.ac.ir

**E. Asghari Karimi**

Department of Civil  
Engineering, Ayatollah Amoli  
Branch, Islamic Azad  
University, Amol, Iran.

**e-mail:** I\_asghari@yahoo.com

**M. Esmaeilnia Amiri**

Assistant Professor,  
Department of Civil  
Engineering, Ayatollah Amoli  
Branch, Islamic Azad  
University, Amol, Iran.

**e-mail:**  
m.e.amiri@iauamol.ac.ir

## **Investigation of Seismic Performance of High-rise Reinforced Concrete Frames Using TADAS Metallic Yielding Dampers**

*Past seismic experience shows that many existing mid to high-rise reinforced concrete (RC) moment frame structures require seismic evaluation and possibly retrofitting. In this study, TADAS metallic yielding dampers were used for seismic retrofitting of reinforced concrete moment frames. For this purpose, three high-rise reinforced concrete frames of 12, 15 and 20 stories were designed using the old version of the Iranian seismic code and concrete regulations. Control of structures showed the need for seismic improvement in these structural models. Therefore, to satisfy the basic and enhanced performance objectives, metallic dampers were added to the structures and were designed using performance-based plastic design method. Validation was performed by selecting a valid experimental model and simulating the experiment with an accurate behavioral model of the TADAS damper in OpenSees software. Then, by performing nonlinear dynamic and static analyzes, the seismic behavior of the retrofitted structures was evaluated at two performance levels of life safety (LS) and collapse prevention (CP). The results show that TADAS metallic yielding dampers can increase the strength and lateral stiffness of RC frames by 30 to 60% with the least number of bracing bays. Also, in addition to uniformizing the distribution of maximum inter-story drift over the height, it reduces drift by more than 60%. Moreover, due to the improvement of structures, the ratio of plastic rotation angle ( $\theta/\theta_y$ ) in the critical beam and column of the frames for different earthquake hazard levels is reduced by about 70%.*

**Keywords:** Reinforced Concrete Frame, Nonlinear Analysis, Performance Levels, Seismic Retrofitting, Metallic Yielding Damper.

---

\* Corresponding author

## بررسی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های بتن آرمه بلندمرتبه با استفاده از میراگر فلزی تسلیمی TADAS

تجربه زمین‌لرزه‌های گذشته نشان می‌دهد که بسیاری از ساختمان‌های قاب خمشی بتن‌آرمه موجود با ارتفاع متوسط و بلند، نیاز به ارزیابی لرزه‌ای و احتمالاً مقاوم‌سازی دارند. در این مطالعه، از میراگرهای تسلیم شونده فلزی TADAS برای بهسازی لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتن‌آرمه استفاده شد. برای انجام پژوهش، ابتدا سه قاب بلندمرتبه بتن‌آرمه ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه، تحت آیین‌نامه‌های قدیمی زلزله و بتن ایران طراحی شدند. کنترل سازه‌ها، نیاز به بهسازی لرزه‌ای در این مدل‌ها را نشان می‌داد. لذا با دو هدف بهسازی مبنا و بهسازی مطلوب، میراگرهای فلزی به سازه‌ها اضافه شدند و این میراگرها با روش طراحی پلاستیک مبتنی بر عملکرد طراحی گردیدند. سپس، با انتخاب یک مدل آزمایشگاهی معتبر و شبیه‌سازی آزمایش با یک مدل رفتاری دقیق از میراگر TADAS در نرم‌افزار OpenSees، راستی‌آزمایی انجام شد. در ادامه، با انجام تحلیل‌های دینامیکی و استاتیکی غیرخطی، رفتار لرزه‌ای سازه‌های بهسازی شده در دو سطح عملکرد ایمنی جانی و آستانه فروریزش ارزیابی گردید. نتایج نشان می‌دهد میراگر تسلیم شونده فلزی TADAS می‌تواند با کمترین تعداد دهانه‌های مهاربندی، مقاومت و سختی جانبی قاب‌های بتنی را در حد ۳۰ تا ۶۰ درصد افزایش دهد و ضمن یکنواخت نمودن توزیع بیشینه جابجایی نسبی طبقات در ارتفاع، باعث کاهش بیش از ۶۰٪ آن شود. همچنین در اثر بهسازی، نسبت دوران ( $\theta/\theta_y$ ) مفصل پلاستیک تشکیل‌شده در تیر و ستون بحرانی قاب‌ها به ازای سطوح خطر زلزله مختلف در حدود ۷۰٪ کاهش می‌یابد.

**واژگان کلیدی:** قاب بتن‌آرمه، تحلیل غیرخطی، سطوح عملکرد، بهسازی لرزه‌ای، میراگر تسلیم شونده فلزی.

### علی سید کاظمی\*

استادیار گروه مهندسی عمران،  
دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه  
آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی،  
آمل، ایران.  
پست الکترونیک:  
a.seyedkazemi@iauamol.ac.ir

### ابراهیم اصغری کریمی

دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه  
آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی،  
آمل، ایران.  
پست الکترونیک:  
L\_asghari@yahoo.com

### مجتبی اسماعیل نیا

### امیری

استادیار گروه مهندسی عمران،  
دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه  
آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی،  
آمل، ایران.  
پست الکترونیک:  
m.e.amiri@iauamol.ac.ir

### ۱- مقدمه

که محققین بسیاری در مورد آن تحقیق نمودند، افزودن اعضای سازه‌ای جدید مانند انواع مهاربندی‌ها به ساختمان‌های بتنی است [۲-۴]. استفاده از مهاربندی هرچند سختی و مقاومت سازه را افزایش می‌دهد، اما می‌تواند باعث کاهش شکل‌پذیری سازه شود و در صورت کم‌انرژی زود هنگام، استهلاک انرژی مناسبی هم نخواهد داشت. علاوه بر این، در صورت کم‌انرژی یا تسلیم مهاربند در زلزله، تعویض آن بعد از زلزله بسیار مشکل یا ناممکن است. برای حل این مشکلات، یکی از روش‌هایی که امروزه در بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها بکار گرفته می‌شود، استفاده از انواع میراگرهاست؛ که در دسته‌بندی روش‌های

زمین‌لرزه‌های اخیر در سراسر جهان نشان دادند که ساختمان‌های بتنی با شکل‌پذیری کم (طراحی شده برای بارهای ثقلی) تا مرحله آسیب‌های شدید یا واژگونی کامل آسیب‌پذیر هستند [۱]. لذا روش‌های مختلفی برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی پیشنهاد گردید که هرکدام دارای مزایا و معایبی می‌باشد. یکی از این روش‌ها

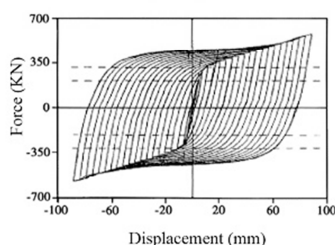
\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۱۱/۱۹، بازنگری ۱۴۰۱/۱۰/۰۳، پذیرش ۱۴۰۱/۰۲/۰۳.  
DOI: 10.22091/cer.2022.7893.1359 شناسه دیجیتال

قرارگرفته است. این میراگر مطابق شکل ۱ از صفحات مثلثی موازی یکدیگر تشکیل شده و شرایط مرزی صفحات آن بگونه ای است که جلوی کمانش آن‌ها در زیر بار قائم گرفته می‌شود [۱۹].



(الف)



(ب)

شکل ۱- میراگرهای فلزی تسلیم شونده TADAS: (الف) ورقه‌های مثلثی تشکیل‌دهنده و (ب) منحنی رفتار هیستریزس [۱۹]

دارینی و هاشمی با اصلاح رفتار لرزه‌ای مبتنی بر اتلاف انرژی در میراگرهای TADAS نشان دادند که عملکرد این میراگرها تحت زلزله‌های متوسط، مطلوب‌تر از میراگرهای مرسوم TADAS می‌باشد [۲۰]. تحقیقات انجام‌شده توسط سعیدی و همکارانش بر روی پاسخ لرزه ای قاب‌های خمشی دارای میراگرهای TADAS نشان داد که ضرایب اصلاح پاسخ در قاب‌های دارای میراگر در مقایسه با قاب‌های فاقد میراگر افزایش یافته و این ضرایب با افزایش ارتفاع سازه به‌تدریج تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد [۱۹]. در مطالعاتی که توسط محمودی و عبدی بر روی قاب‌های خمشی ویژه با میراگر و بدون آن انجام گرفت، مقاومت، شکل‌پذیری و عوامل کاهش بر پاسخ این سازه مورد ارزیابی قرار گرفت [۲۱]. تحقیقات انجام‌شده توسط

کنترل غیرفعال ساختمان قرار می‌گیرد. میراگرها اجزایی هستند که با افزایش نیروی میرایی در سازه و مستهلک نمودن انرژی زلزله باعث کاهش پاسخ لرزه‌ای در سازه می‌گردند. از دیگر مزایای استفاده از میراگرها می‌توان به‌سادگی در نصب و تعویض آن‌ها و همچنین هماهنگی با سایر اعضای سازه اشاره نمود. یکی از ساده‌ترین انواع میراگرها، میراگرهای فلزی تسلیم شونده هستند که با افزایش میرایی و سختی در سازه‌ها باعث کاهش پاسخ سازه در برابر تحریکات لرزه‌ای می‌گردند. در حقیقت، اساس کار میراگرهای فلزی تسلیم شونده بر جاری شدن مصالح و تغییر شکل پلاستیک صفحات فولادی در هنگام بارگذاری جانبی سازه می‌باشد که این تسلیم صفحات موجب مستهلک شدن مقدار زیادی از انرژی زلزله می‌گردد [۵]. تاکنون انواع مختلفی از میراگرهای فلزی از جمله میراگر ADAS<sup>۲</sup> متشکل از صفحات فلزی X شکل [۶]، میراگر TADAS<sup>۳</sup> متشکل از صفحات فلزی مثلثی شکل [۷]، میراگر RADAS<sup>۴</sup> متشکل از صفحات فولادی لوزی شکل [۸]، میراگرهای فولادی شکاف دار (SSD)<sup>۵</sup> [۹] و انواع میراگرهای فلزی تسلیمی U شکل [۱۰-۱۲] معرفی شده‌اند و قابلیت این میراگرها در افزایش سختی و میرایی، افزایش ظرفیت اتلاف انرژی، کاهش تغییرمکان نسبی طبقات و بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها اثبات شده است [۶-۱۲]. همچنین از میراگرهای فلزی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و قاب‌های خمشی بتن‌آرمه استفاده شده است و نتایج حاکی از بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مقاوم‌سازی شده با این نوع از میراگرها بوده است [۱۳-۱۸]. همانطور که بیان شد، یکی از انواع میراگرهای فلزی جاری شونده، میراگر TADAS می‌باشد که در سال‌های اخیر بعنوان یک المان الحاقی مستهلک کننده انرژی، بطور گسترده در سازه‌ها مورد استفاده

<sup>۲</sup>- Added Damping and Stiffness

<sup>۳</sup>- Triangular-plate Added Damping and Stiffness

<sup>۴</sup>- Rhombic Added Damping and Stiffness

<sup>۵</sup>- Steel Slit Damper

شونده فلزی TADAS پیشنهاد می‌گردد. سپس از طریق تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی در نرم‌افزار OpenSees به ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های بتنی بلندمرتبه بهسازی شده با میراگرهای TADAS پرداخته می‌شود.

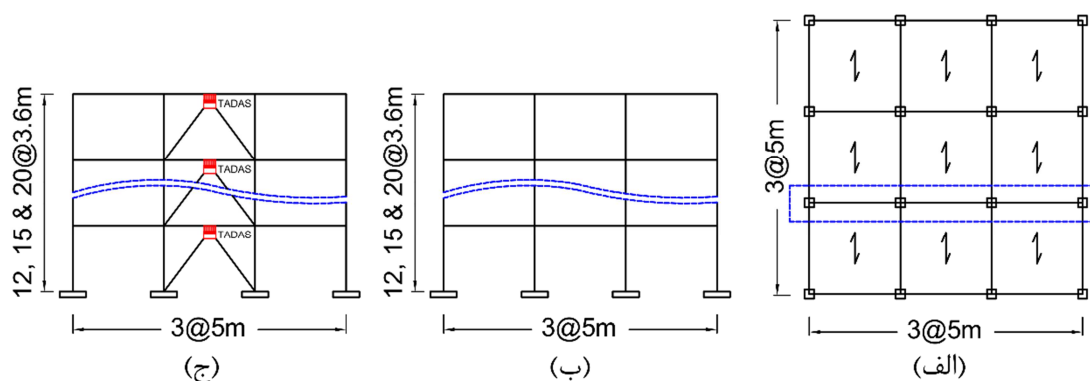
## ۲- قاب‌های مورد مطالعه

مدل‌های تحلیلی جهت ارزیابی روش بهسازی لرزه-ای پیشنهادی در این مقاله، سه قاب بتن‌آرمه دوبعدی ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه با ارتفاع طبقات برابر با ۳/۶ متر با ۳ دهانه با طول‌های برابر با ۵ متر می‌باشند. شکل ۲ پلان و قاب‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. سازه‌های مورد مطالعه، بر اساس آیین‌نامه‌ها با ویرایش قدیمی طراحی شده‌اند و طبق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه شماره ۳۶۰) [۲۷] نیاز به بهسازی لرزه‌ای دارند. نوع سیستم مقاوم باربر جانبی، قاب خمشی بتنی متوسط، محل احداث سازه‌ها شهر تهران و نوع خاک سخت (خاک نوع III در ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ [۲۸]) انتخاب می‌گردد. از آیین‌نامه‌های قدیمی شامل ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ و ویرایش سوم مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران [۲۹] برای بارگذاری طراحی مدل‌ها استفاده می‌شود و سرانجام مدل‌ها در نرم‌افزار اجزای محدود ETABS2000 [۳۰] طراحی می‌گردند. مصالح مورد استفاده در قاب‌ها شامل بتن با مقاومت فشاری  $f_c = 21 \text{ Mpa}$  و مدول الاستیسیته  $E_c = 22912/9 \text{ Mpa}$  و میلگردهای فولادی با تنش تسلیم  $f_y = 400 \text{ Mpa}$  برابر با  $36/25 \text{ kN/m}$  و  $10/0 \text{ kN/m}$  برای بارگذاری ثقلی قاب‌ها در نظر گرفته می‌شوند. جرم قاب بدلیل وزن مرده تمامی اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای برابر با  $575 \text{ kN/Floor}$  در نظر گرفته شده است. نیروی برشی پایه برای مدل‌های ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه به ترتیب

محمدی و همکارانش بر روی یک قاب خمشی ۶ طبقه مجهز به میراگر TADAS نشان داد که تغییر شکل‌های بزرگ ناشی از تحریکات لرزه‌ای شدید، موجب افزایش سختی ناگهانی در این نوع میراگرها و نیز افزایش لنگر خمشی و نیروی محوری در ستون‌ها شده و منجر به ایجاد خسارت احتمالی در این نواحی خواهد شد [۲۲]. تحقیقات شجاعی فر و همکاران روی نوع خاصی از میراگرهای TADAS انحنادار نشان داد که این نوع از میراگرهای فلزی، بخش قابل‌توجهی از انرژی لرزه‌ای ورودی به سازه را مستهلک می‌کنند و لذا از خرابی سازه‌ای جلوگیری می‌نمایند [۲۳]. تحقیقات انجام‌شده توسط غلامپور و همکارانش بر روی تأثیر میراگرهای تسلیمی TADAS در قاب‌های فولادی کوتاه و متوسط تحت زلزله‌های حوزه دور و نزدیک گسل نشان داد که دریافت و برش پایه این سازه‌ها حدود ۲۰ تا ۲۶ درصد کاهش داشته است [۲۴].

نتایج تحقیقات در دو دهه اخیر نشان داده است که استفاده از میراگرهای TADAS، علاوه بر از بین بردن ضعف‌هایی مانند عدم تطابق ابعادی اجزای سازه‌ای جدید با اجزای بتنی موجود، نیاز نیرویی تقریباً زیاد در محل اتصال پیوند به اجزای بتنی طبقه و نیاز به دهانه‌های اشغال‌شده زیاد، دارای مزایایی مانند افزایش شکل‌پذیری، سختی و مقاومت جانبی، توانایی وفق دادن با معماری، حداقل وزن اضافه‌شده به سازه اصلی و همین‌طور سیستم قاب مهارتی فولادی خارجی با کمترین قطع عملکرد سازه‌ای ساختمان می‌باشد. تمرکز خسارت ناشی از زلزله بر روی این وسیله و قابل تعویض و جایگذاری مجدد با تعبیه اتصالات پیچی و کشویی در صورت آسیب در زلزله و همچنین باقی ماندن بقیه اجزای قاب به صورت الاستیک از دیگر مزایای این روش بهسازی لرزه‌ای می‌باشد [۲۵] و [۲۶]. در این تحقیق به منظور افزایش مقاومت، سختی جانبی و نیز یکنواخت‌تر شدن توزیع جابجایی‌ها در ارتفاع سازه، یک روش بهسازی لرزه‌ای توسط میراگرهای تسلیم

۷/۲۸، ۱/۸۳۱ kN و ۷/۹۷۶ kN می‌باشند. جزئیات طراحی قاب‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲- مدل‌های مورد مطالعه: (الف) پلان، (ب) قاب‌های دوبعدی و (ج) قاب‌های دوبعدی مجهز به TADAS

جدول ۱- مشخصات مقاطع اعضا در مدل‌های مورد مطالعه

تیرها	ستون‌ها		طبقه
	میانی	کناری	
قاب بتنی ۱۲ طبقه			
(B400×600)mm	(C600×600)mm + (28φ22mm)	(C600×600)mm+(28φ22mm)	۱
(B400×600)mm	(C550×550)mm+(24φ22mm)	(C550×550)mm+(24φ22mm)	۲
(B400×600)mm	(C550×550)mm+(24φ22mm)	(C550×550)mm+(24φ20mm)	۳ تا ۴
(B400×600)mm	(C550×550)mm+(24φ20mm)	(C500×500)mm+(20φ20mm)	۵
(B400×500)mm	(C550×550)mm+(24φ20mm)	(C500×500)mm+(20φ20mm)	۶
(B400×500)mm	(C500×500)mm+(20φ20mm)	(C500×500)mm+(20φ20mm)	۷
(B400×500)mm	(C500×500)mm+(16φ20mm)	(C450×450)mm+(12φ20mm)	۸ تا ۹
(B400×500)mm	(C450×450)mm+(12φ20mm)	(C450×450)mm+(12φ20mm)	۱۰
(B400×500)mm	(C400×400)mm+(8φ20mm)	(C400×400)mm+(8φ20mm)	۱۱ تا ۱۲
قاب بتنی ۱۵ طبقه			
(B400×650)mm	(C650×650)mm+(24φ25mm)	(C650×650)mm+(24φ25mm)	۱
(B400×650)mm	(C650×650)mm+(24φ25mm)	(C600×600)mm+(28φ22mm)	۲
(B400×650)mm	(C600×600)mm+(28φ22mm)	(C600×600)mm+(28φ22mm)	۳
(B400×650)mm	(C600×600)mm+(28φ22mm)	(C550×550)mm+(24φ20mm)	۴ تا ۵
(B400×600)mm	(C600×600)mm+(28φ22mm)	(C550×550)mm+(24φ20mm)	۶
(B400×600)mm	(C550×550)mm+(24φ22mm)	(C550×550)mm+(24φ20mm)	۷
(B400×600)mm	(C550×550)mm+(24φ20mm)	(C500×500)mm+(16φ20mm)	۸ تا ۹
(B400×600)mm	(C500×500)mm+(20φ20mm)	(C500×500)mm+(16φ20mm)	۱۰
(B400×500)mm	(C500×500)mm+(20φ20mm)	(C500×500)mm+(16φ20mm)	۱۱
(B400×500)mm	(C500×500)mm+(16φ20mm)	(C450×450)mm+(12φ20mm)	۱۲
(B400×500)mm	(C450×450)mm+(12φ20mm)	(C450×450)mm+(12φ20mm)	۱۳ تا ۱۴
(B400×500)mm	(C400×400)mm+(8φ20mm)	(C400×400)mm+(8φ20mm)	۱۵

جدول ۱- ادامه

تیرها	ستون‌ها		طبقه
	میانی	میانی	
قاب بتنی ۲۰ طبقه			
(B400×700)mm	(C700×700)mm+(24φ28mm)	(C700×700)mm+(24φ28mm)	۱ تا ۲
(B400×700)mm	(C700×700)mm+(24φ28mm)	(C650×650)mm+(24φ25mm)	۳
(B400×700)mm	(C650×650)mm+(24φ25mm)	(C650×650)mm+(24φ25mm)	۴
(B400×700)mm	(C650×650)mm+(24φ25mm)	(C600×600)mm+(28φ22mm)	۵
(B400×650)mm	(C650×650)mm+(24φ25mm)	(C600×600)mm+(28φ22mm)	۶ تا ۷
(B400×650)mm	(C600×600)mm+(28φ22mm)	(C550×550)mm+(24φ22mm)	۸ تا ۹
(B400×650)mm	(C600×600)mm+(28φ22mm)	(C550×550)mm+(24φ20mm)	۱۰
(B400×600)mm	(C600×600)mm+(28φ22mm)	(C500×500)mm+(16φ20mm)	۱۱
(B400×600)mm	(C550×550)mm+(24φ22mm)	(C500×500)mm+(20φ20mm)	۱۲
(B400×600)mm	(C550×550)mm+(24φ20mm)	(C500×500)mm+(20φ20mm)	۱۳
(B400×600)mm	(C550×550)mm+(24φ20mm)	(C500×500)mm+(16φ20mm)	۱۴
(B400×600)mm	(C500×500)mm+(20φ20mm)	(C450×450)mm+(12φ20mm)	۱۵
(B400×500)mm	(C500×500)mm+(20φ20mm)	(C450×450)mm+(12φ20mm)	۱۶
(B400×500)mm	(C500×500)mm+(16φ20mm)	(C400×400)mm+(8φ20mm)	۱۷
(B400×500)mm	(C450×450)mm+(12φ20mm)	(C400×400)mm+(8φ20mm)	۱۸
(B400×500)mm	(C400×400)mm+(8φ20mm)	(C400×400)mm+(8φ20mm)	۱۹ تا ۲۰

### ۳- روش طرح سیستم بهسازی لرزه‌ای پیشنهادی

هدف‌های بهسازی لرزه‌ای مورد استفاده در این مقاله شامل دو هدف مبنا و مطلوب طبق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه شماره ۳۶۰) [۲۷] می‌باشد. در هدف‌های بهسازی مبنا سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) به ازای زلزله سطح خطر (۱) و در هدف بهسازی مطلوب ضمن تأمین هدف بهسازی مبنا، سطح عملکرد آستانه فروریزش (CP)<sup>۶</sup> به ازای زلزله سطح خطر (۲) تأمین می‌گردد.

در این پژوهش برای طراحی سیستم میراگر فلزی تسلیمی TADAS از روش طراحی پلاستیک بر اساس عملکرد (PBPD)<sup>۸</sup> استفاده می‌شود که در آن، برش طراحی در سطح خطر زلزله مورد نظر، بر اساس اتلاف انرژی معادل بدست می‌آید [۳۱]. در روش PBPD کنترل جابجایی‌های جانبی نیاز نیست، زیرا در خود روال طراحی از همان ابتدا گنجانده شده است. مراحل طراحی میراگرها با روش PBPD بصورت زیر می‌باشد [۳۱]:

۱- با توجه به هدف بهسازی انتخاب شده (مبنا یا مطلوب) برش پایه (V) از رابطه ۱ بدست می‌آید:

$$V = \left( \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\gamma S_a^2}}{2} \right) W \quad (1)$$

<sup>۸</sup>- Performance Based Plastic Design

<sup>۶</sup>- Live Safety

<sup>۷</sup>- Collapse Prevention

که در آن:

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

$$\gamma = \frac{2\mu_s - 1}{R_\mu^2}$$

در این رابطه،  $W$  وزن مؤثر لرزه‌ای قاب‌ها و  $S_a$  شتاب طیفی که طبق نشریه ۳۶۰ [۲۷] بدست می‌آید و در بهسازی مبنا برای زلزله سطح خطر (۱) و در بهسازی مطلوب برای زلزله سطح خطر (۲) محاسبه می‌گردد. در محاسبه ضریب  $\alpha$ ، قسمت پلاستیک جابجایی هدف  $\theta_p$  است و بصورت  $\theta_p = \theta_u - \theta_y$  تعریف می‌شود که در آن  $\theta_y$  و  $\theta_u$  به ترتیب جابجایی تسلیم و جابجایی هدف می‌باشند. برای قاب‌های بهسازی شده با میراگر TADAS برابر با  $0.05$  منظور می‌شود [۳۱].  $\theta_u$  با توجه به هدف بهسازی، برای زلزله سطح خطر زلزله (۱) برابر با  $0.2$  و برای زلزله سطح خطر (۲) برابر  $0.3$  انتخاب می‌شود [۳۲].  $T$  پریود اصلی قاب‌های بهسازی شده با میراگر TADAS و  $h_i$  ارتفاع طبقه  $i$  ام از تراز پایه می‌باشد. همچنین  $W_j$ ،  $h_j$  و  $W_n$  و  $h_n$  به ترتیب وزن لرزه‌ای تراز طبقه  $j$  ام، ارتفاع طبقه  $j$  ام از تراز پایه، وزن لرزه‌ای طبقه بام ( $n$ ) و ارتفاع طبقه بام از تراز پایه است.  $\beta_i$  ضریب توزیع نیروی برشی در ارتفاع می‌باشد. این ضریب که بصورت برش استاتیکی طبقه در تراز  $i$  ام ( $V_i$ ) به برش استاتیکی طبقه در تراز بام ( $V_n$ ) تعریف می‌شود، از رابطه ۲ استخراج می‌گردد [۳۱]:

$$\beta_i = \frac{V_i}{V_n} = \left( \frac{\sum_{j=i}^n W_j h_j}{W_n h_n} \right)^{0.75T - 0.2} \quad (2)$$

در محاسبه  $\gamma$  که ضریب اصلاح انرژی نامیده می‌شود،  $\mu_s$  ضریب شکل‌پذیری سازه است که بصورت  $\mu_s = \theta_u / \theta_y$  تعریف می‌شود و  $R_\mu$  ضریب کاهش مربوط به شکل‌پذیری است که به ضریب  $\mu_s$  و پریود اصلی سازه ( $T$ ) وابسته است و برای محاسبه آن روابط مختلفی پیشنهاد

شده است. در این مطالعه از روابط پیشنهادی لیاو و همکاران [۳۲] برای محاسبه  $R_\mu$  استفاده می‌شود.  
۲- نیروی جانبی طبقات ( $F_i$ ) برای طراحی بر پایه عملکرد طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$F_i = (\beta_i - \beta_{i+1}) F_n, \quad F_n = V \left( \frac{W_n h_n}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \right)^{0.75T - 0.2} \quad (3)$$

در این روابط  $F_n$  نیروی جانبی طبقه بام می‌باشد.  
۳- برش موردنیاز برای طراحی میراگر TADAS در طبقه  $i$  ( $V_{yi}$ ) از رابطه ۴ استخراج می‌شود:

$$V_{yi} = \beta_i \left( \frac{\sum_{i=1}^n F_i h_i - 2M_{pc}}{\sum_{i=1}^n H_i \beta_i} \right) \quad (4)$$

در این رابطه  $H_i$  ارتفاع طبقه  $i$  ام،  $h_i$  ارتفاع طبقه  $i$  ام از تراز پایه و  $M_{pc}$  لنگر پلاستیک پای ستون طبقه اول است که برای جلوگیری از تشکیل مکانیزم طبقه نرم به صورت رابطه ۵ پیشنهاد شده است [۳۲].

$$M_{pc} = \frac{1.1 \times V' h_1}{4} \quad (5)$$

در این رابطه  $h_1$  ارتفاع طبقه اول و  $V'$  برش پایه در یک دهانه است که از تقسیم برش پایه کل به تعداد دهانه‌های دارای میراگر TADAS بدست می‌آید.

۴- با فرض مقادیری برای ضخامت ( $t$ )، عرض پایه ( $b$ ) و ارتفاع ( $h$ ) برای ورق‌های TADAS، ابتدا مقاومت تسلیم یک ورق در دستگاه TADAS ( $V_{y-TADAS}$ ) از رابطه ۶ استخراج می‌گردد. سپس با استفاده از رابطه ۷ تعداد ورق‌های موردنیاز جهت بهسازی لرزه‌ای در طبقه  $i$  ام ( $N_i$ ) محاسبه می‌گردد:

$$V_{y-TADAS} = \frac{\sigma_y b t^2}{6h} \quad (6)$$

لرزه‌ای قاب‌های بتنی بلندمرتبه به ترتیب برابر با ۲۰ میلی‌متر، ۲۵۰ میلی‌متر و ۳۰۰ میلی‌متر انتخاب گردید. لذا مقدار مقاومت تسلیم ورق میراگر برابر  $13/33 \text{ kN}$  بدست می‌آید. در جدول ۲ مقادیر  $V_{yi}$  و همچنین تعداد ورق‌های TADAS موردنیاز برای بهسازی مبنا و مطلوب سازه‌های مورد مطالعه ذکر شده است.

$$N_i = \frac{V_{yi}}{V_{y-TADAS}} \quad (7)$$

که در آن،  $\sigma_y$  تنش تسلیم فولاد مصرفی در ورق‌های TADAS می‌باشد و مقدار آن برای فولاد ST37،  $240 \text{ Mpa}$  می‌باشد. در این مطالعه، ضخامت، عرض پایه و ارتفاع ورق‌های TADAS مورد استفاده جهت بهسازی

جدول ۲- تعداد ورق‌های میراگر TADAS موردنیاز برای بهسازی قاب‌های بتنی مورد مطالعه در طراحی پلاستیک بر اساس عملکرد

بهسازی مطلوب		بهسازی مبنا		طبقه
$N_i$	$V_{yi} \text{ (kN)}$	$N_i$	$V_{yi} \text{ (kN)}$	
قاب ۱۲ طبقه				
۱۸	۲۳۹/۹۴	۶	۷۹/۹۸	۱
۱۷	۲۲۶/۶۱	۶	۷۹/۹۸	۲
۱۷	۲۲۶/۶۱	۵	۶۶/۶۵	۳ و ۴
۱۶	۲۱۳/۲۸	۵	۶۶/۶۵	۵
۱۵	۱۹۹/۹۵	۵	۶۶/۶۵	۶
۱۴	۱۸۶/۶۲	۴	۵۳/۳۲	۷
۱۳	۱۷۳/۲۹	۴	۵۳/۳۲	۸
۱۱	۱۴۶/۶۳	۴	۵۳/۳۲	۹
۹	۱۱۹/۹۷	۳	۳۹/۹۹	۱۰
۷	۹۳/۳۱	۲	۲۶/۶۶	۱۱
۴	۵۳/۳۲	۲	۲۶/۶۶	۱۲
قاب ۱۵ طبقه				
۲۶	۳۴۶/۵۸	۸	۱۰۶/۶۴	۱ و ۲
۲۵	۳۳۳/۲۵	۸	۱۰۶/۶۴	۳ و ۴
۲۴	۳۱۹/۹۲	۸	۱۰۶/۶۴	۵
۲۳	۳۰۶/۵۹	۷	۹۳/۳۱	۶
۲۲	۲۹۳/۲۶	۷	۹۳/۳۱	۷
۲۱	۲۷۹/۹۳	۷	۹۳/۳۱	۸
۲۰	۲۶۶/۶	۶	۷۹/۹۸	۹
۱۸	۲۳۹/۹۴	۶	۷۹/۸۹	۱۰
۱۶	۲۱۳/۲۸	۵	۶۶/۶۵	۱۱
۱۴	۱۸۶/۶۲	۵	۶۶/۶۵	۱۲
۱۲	۱۵۹/۹۶	۴	۵۳/۳۲	۱۳
۹	۱۱۹/۹۷	۳	۳۹/۹۹	۱۴
۶	۷۹/۹۸	۲	۲۶/۶۶	۱۵



جدول ۲- ادامه

بهسازی مطلوب		بهسازی مینا		طبقه
$N_i$	$V_{vi} (kN)$	$N_i$	$V_{vi} (kN)$	
قاب ۲۰ طبقه				
۴۰	۵۳۳/۲	۱۳	۱۷۳/۲۹	۱ و ۲
۴۰	۵۳۳/۲	۱۲	۱۵۹/۹۶	۳ و ۴
۳۹	۵۱۹/۸۷	۱۲	۱۵۹/۹۶	۵
۳۸	۵۰۶/۵۴	۱۲	۱۵۹/۹۶	۶
۳۷	۴۹۳/۲۱	۱۲	۱۵۹/۹۶	۷
۳۶	۴۷۹/۸۸	۱۱	۱۴۶/۶۳	۸
۳۵	۴۶۶/۵۵	۱۱	۱۴۶/۶۳	۹
۳۴	۴۵۳/۲۲	۱۱	۱۴۶/۶۳	۱۰
۳۳	۴۳۹/۸۹	۱۰	۱۳۳/۳	۱۱
۳۱	۴۱۳/۲۳	۱۰	۱۳۳/۳	۱۲
۲۹	۳۸۶/۵۷	۹	۱۱۹/۹۷	۱۳
۲۷	۳۵۹/۹۱	۹	۱۱۹/۹۷	۱۴
۲۵	۳۳۳/۲۵	۸	۱۰۶/۶۴	۱۵
۲۲	۲۹۳/۲۶	۷	۹۳/۳۱	۱۶
۱۹	۲۵۳/۲۷	۶	۷۹/۹۸	۱۷
۱۶	۲۱۳/۲۸	۵	۶۶/۶۵	۱۸
۱۲	۱۵۹/۹۶	۴	۵۳/۳۲	۱۹
۸	۱۰۶/۶۴	۳	۳۹/۹۹	۲۰

#### ۴- مدل‌سازی در OpenSees و راستی آزمایی

برای مدل‌سازی قاب‌ها از قابلیت‌های مدل‌سازی عددی در برنامه OpenSees [۳۴] بهره گرفته می‌شود. با فرض رفتار صلب برای دیافراگم سقف‌ها، جرم طبقات در تراز طبقات به‌طور مساوی بین گره‌های اتصال تیر و ستون توزیع می‌گردد. برای لحاظ نمودن اندرکنش میان نیروی محوری و ممان خمشی، و تعریف رابطه تنش- کرنش از دستور uniaxialMaterial استفاده می‌شود. مدل مصالح بتن- اعم از بتن محصور و غیر محصور- از نوع Concrete01 و مدل مصالح فولادی از نوع Steel02 انتخاب می‌گردد. المان بکار رفته برای مدل‌سازی اعضای تیر و ستون بتنی، المان nonlinearBeamColumn می‌باشد و پنج نقطه انتگرال‌گیری در طول هر المان در نظر گرفته می‌شود. همچنین، مصالح فولادی از نوع

در روش بهسازی لرزه‌ای پیشنهادی، در محدوده کماتش ناپایدار مهاربندهای فشاری، نیروهای کششی و فشاری هر دو برابر بار کماتشی ( $P_b$ ) هستند. در نتیجه، برای جلوگیری از کماتش ناپایدار مهاربندهای فشاری، باید رابطه ۸ برقرار باشد:

$$2P_b \cos \alpha \geq 1.25R_y V_y \quad (8)$$

در این معادله،  $\alpha$  زاویه مهاربندها با سطح افق،  $V_y$  مقاومت تسلیم میراگر TADAS و  $R_y$  نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم مصالح می‌باشد که طبق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران محاسبه می‌شود [۳۳]. لذا، مهاربندها بگونه‌ای انتخاب می‌شوند که دارای ظرفیت کماتش حداقل محاسباتی ( $P_b$ ) باشند. مهاربند انتخابی با مقطع 2UNP220 برای تمامی قاب‌ها در تمامی طبقات جوابگو می‌باشد.

درصد ایده‌آل‌سازی می‌شود [۳۶]. از آنجاکه در روند طراحی سیستم بهسازی لرزه‌ای TADAS مهاربندهای فولادی دارای تنش‌های حد الاستیک می‌باشند، از این رو جهت اختصاص دادن ویژگی‌های خطی به مدل مهاربندها، در نرم‌افزار OpenSees از المان نیرویی elasticBeamColumn استفاده شد. همچنین جهت معرفی رفتار الاستیک فولادی مهاربندها، مدل مصالح فولادی از نوع uniaxialMaterial Elastic انتخاب گردید.

به منظور راستی آزمایی از مدل آزمایشگاهی تسای و همکاران [۳۶] استفاده شد. در این مدل آزمایشگاهی، عملکرد لرزه‌ای یک قاب فولادی یک دهانه، دوطبقه مجهز به میراگرهای TADAS ارزیابی گردید. بار دینامیکی مورد استفاده در این آزمایش، مؤلفه راستای شمال-جنوب زلزله ال سنترو<sup>۹</sup> ۱۹۴۰ با بیشینه شتاب مقیاس شده به ۰/۵g بود. مقایسه نتایج، انطباق قابل قبولی را به لحاظ تغییر مکان ماکزیمم قاب‌های اولیه (تقریباً ۲۵ mm) و تغییر مکان ماکزیمم قاب‌های بهسازی شده با TADAS (تقریباً ۱۲ mm) نشان داد.

##### ۵- طیف طرح شتاب برای سطوح خطر مورد نظر

همان‌طور که قبلاً بیان شد، در این مطالعه برای بهسازی قاب‌های خمشی بتن‌آرمه با میراگرهای فلزی، دو هدف بهسازی مینا و مطلوب در نظر گرفته می‌شود. مطابق نشریه شماره ۳۶۰، در بهسازی مینا باید طیف طرح شتاب برای زلزله سطح خطر (۱) و در بهسازی مطلوب باید طیف طرح شتاب برای زلزله سطح خطر (۲) تعیین گردد. در پژوهش حاضر برای مشخص کردن شتاب مینای طرح، از فرایند استفاده از شکل طیف ثابت بهره گرفته می‌شود. طیف شتاب مربوط به زلزله سطح خطر (۱) با استفاده از استاندارد ۲۸۰۰ تعیین می‌شود. برای

Elastic-Perfectly Plastic Material به منظور مدل-سازی رفتار ورق‌های مثلثی شکل دستگاه TADAS در OpenSees استفاده می‌شود. نقاط انتگرال‌گیری راستای المان‌ها مبتنی بر قانون quadrature Gauss-Lobatto می‌باشد. تمام مقاطع بکار رفته از نوع Fiber می‌باشند. برای تعریف میرایی در مدل‌های سازه‌ای از ماتریس میرایی رایلی (دستور Rayleigh در برنامه OpenSees) استفاده می‌شود.

مدل‌سازی رفتار میراگر TADAS طبق مرجع [۳۵] انجام می‌پذیرد. بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از تئوری مقاومت مصالح و با فرض انتهای کاملاً گیردار برای ورق‌های مثلثی و با صرف نظر کردن از تغییر شکل‌های برشی، سختی الاستیک جانبی قطعه TADAS از رابطه ۹ بدست می‌آید:

$$K = \frac{NEbt^3}{6h^3} \quad (9)$$

که در این رابطه،  $N$ ،  $E$ ،  $t$ ،  $b$  و  $h$  به ترتیب، تعداد صفحات مثلثی، مدول الاستیسیته، ضخامت ورق، عرض پایه و ارتفاع ورق مثلثی می‌باشند. سپس تغییر شکل انتهای آزاد ورق در زمانی که اولین تسلیم در آن رخ می‌دهد ( $\Delta_y$ )، از رابطه ۱۰ محاسبه می‌گردد:

$$\Delta_y = \frac{\sigma_y h^2}{Et} \quad (10)$$

در ادامه، مقاومت تسلیم ( $V_y$ ) و مقاومت نهایی ( $V_u$ ) دستگاه TADAS به ترتیب از روابط ۱۱ و ۱۲ بدست می‌آیند.

$$V_y = K \cdot \Delta_y = \frac{\sigma_y Nbt^2}{6h} \quad (11)$$

$$V_u = \frac{\sigma_y Nbt^2}{4h} \quad (12)$$

با در اختیار داشتن اطلاعات فوق، منحنی بار-جابجایی در برش برای میراگر TADAS بصورت یک منحنی دوخطی با سخت‌شوندگی کرنشی برابر با ۳٪

<sup>۹</sup>- El Centro

## ۶- تحلیل استاتیکی غیرخطی

در جدول ۳ نسبت زمان تناوب اصلی قاب‌های اولیه ( $T_0$ ) به قاب‌های بهسازی شده ( $T_r$ ) ارائه گردیده است. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد، قاب‌های بتنی بهسازی شده با TADAS به دلیل تغییر در سیستم باربر جانبی (افزایش مقاومت و سختی جانبی) دارای زمان تناوب کمتری نسبت به حالت مبنا می‌باشد. از این رو جابجایی هدف تغییر کرده و مقدار آن نسبت به حالت مبنا کوچک‌تر خواهد شد.

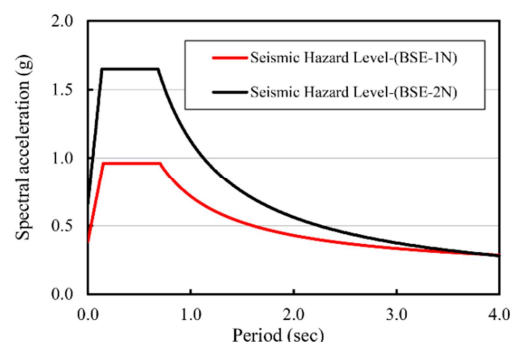
برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های بهسازی شده از نشریه شماره ۳۶۰ استفاده می‌شود. مطابق این نشریه برای انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی (تحلیل پوشش آور)، دو نوع الگوی بار جانبی به سازه‌ها اعمال می‌گردد. الگوی نوع اول که در آن توزیع بار جانبی متناسب با شکل مود اول ارتعاش در نظر گرفته می‌شود و الگوی نوع دوم که شامل توزیع یکنواخت بار جانبی است و در آن بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه می‌شود.

جدول ۳- نسبت زمان تناوب اصلی قاب‌های اولیه ( $T_0$ ) به زمان تناوب اصلی قاب‌های بهسازی شده ( $T_r$ )

$T_0/T_r$		مدل
بهسازی مطلوب	بهسازی مبنا	
۱/۱۲	۱/۰۴۶	۱۲ طبقه
۱/۱۳	۱/۰۵۱	۱۵ طبقه
۱/۱۶	۱/۰۶۶	۲۰ طبقه

در این رابطه،  $C_0$  ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان طیفی سیستم یک درجه آزادی به تغییر مکان بام سیستم چند درجه آزادی،  $C_1$  ضریب تصحیح برای اعمال تغییر مکان غیر ارتجاعی سیستم،  $C_2$  ضریب تصحیح برای اثرات کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای به دلیل رفتار غیر ارتجاعی،  $T_e$  زمان تناوب اصلی مؤثر ساختمان بر اساس مدل رفتار دوخطی است. این پارامترها بر اساس نشریه شماره ۳۶۰ محاسبه می‌شوند.  $S_a$  شتاب طیفی می‌باشد که برای زلزله‌های سطوح خطر (۱) و (۲) مطابق بند ۵ محاسبه می‌شود. رابطه بین برش پایه و تغییر مکان

زلزله سطح خطر (۲) از طیف شتاب ارائه‌شده در نشریه شماره ۳۶۰ استفاده می‌گردد. طبق نتایج بدست آمده از تحلیل خطر زلزله شهر تهران که در منابع معتبر ارائه‌شده است [۳۷]، مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب کوتاه ۰/۲ ثانیه ( $S_S$ ) و نیز مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب بلند ۱/۰ ثانیه ( $S_I$ ) برای زلزله سطح خطر (۲) به ترتیب  $1/65g$  و  $0/75g$  منظور می‌شود. در شکل ۳ طیف ثابت طرح شتاب برای زلزله‌های سطح خطر (۱) و (۲) نشان داده می‌شود.



شکل ۳- طیف ثابت طرح شتاب برای زلزله‌های سطح خطر (۱) و (۲)

همچنین، ترکیب بار ثقلی معرفی شده در ترکیب با بارهای زلزله، بصورت رابطه ۱۳ می‌باشد:

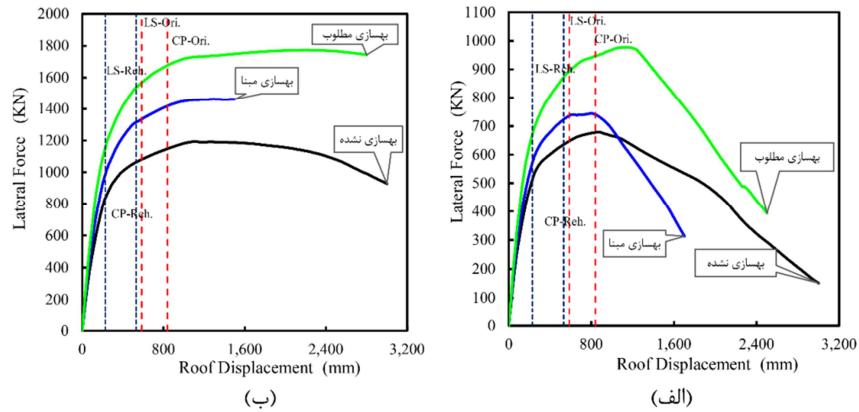
$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L) \quad (13)$$

که در آن،  $Q_D$  بار مرده،  $Q_L$  برابر ۲۵٪ بار زنده طراحی کاهش نیافته می‌باشد. با فرض دیافراگم صلب برای طبقات، تغییر مکان هدف برای دو هدف بهسازی مبنا و مطلوب از رابطه ۱۴ بدست می‌آید:

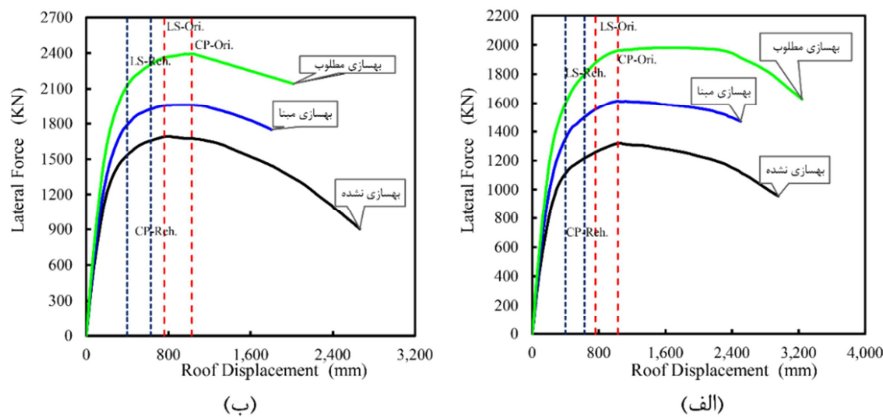
$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (14)$$

شده‌اند. رفتار تمامی تیرها و ستون‌های سه قاب کنترل شونده با تغییر شکل می‌باشند و میزان دوران پلاستیک مجاز برای مفصل‌های غیرخطی تشکیل‌شده در سطوح عملکرد  $LS$  و  $CP$  برای تیرها و ستون‌ها مطابق نشریه شماره ۳۶۰ مشخص می‌گردد

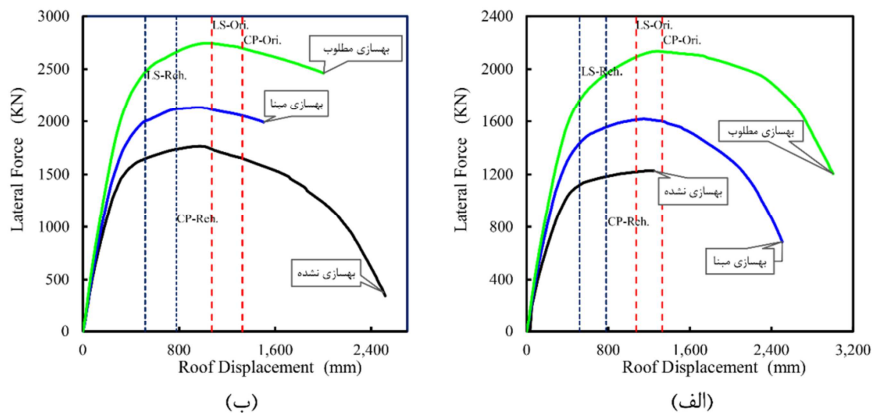
مرکز جرم بام (منحنی پوش آور) تا رسیدن به تغییر مکانی حداقل ۱/۵ برابر تغییر مکان هدف استخراج می‌گردد. در شکل ۴ منحنی‌های ظرفیت بدست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی برای قاب‌های اولیه و قاب‌های بهسازی شده با میراگر TADAS با دو هدف بهسازی مینا و بهسازی مطلوب ارائه گردیده و باهم مقایسه



قاب ۱۲ طبقه



قاب ۱۵ طبقه



قاب ۲۰ طبقه

شکل ۴- مقایسه منحنی‌های ظرفیت حاصل از تحلیل پوش آور در قاب‌های مختلف، (الف) الگوی بارگذاری مود اول و (ب) الگوی بارگذاری یکنواخت

تعداد ورق‌های مثلثی بیشتر در حالت بهسازی مطلوب می‌باشد که در مراحل الاستیک ابتدایی منحنی ظرفیت تأثیرگذار است. میزان افزایش در سختی جانبی با تغییر تعداد طبقات به الگوی بارگذاری جانبی وابسته است. بطوریکه در الگوی بارگذاری یکنواخت میزان افزایش سختی با افزایش ارتفاع روند نزولی دارد. بالعکس، در الگوی بارگذاری مود اول با افزایش ارتفاع روند افزایش سختی، صعودی است.

در جدول ۴ مقادیر سختی جانبی سازه‌ها قبل و بعد از بهسازی خلاصه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از میراگر TADAS سختی جانبی قاب‌های بهسازی شده را به شدت افزایش می‌دهد. به عنوان نمونه، در بهسازی مطلوب و الگوی بارگذاری مود اول، سختی قاب‌ها در حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد افزایش داشته است. همان‌طور که انتظار می‌رود در بهسازی مطلوب میزان افزایش سختی جانبی قاب‌های مقاوم‌سازی شده با TADAS، بیشتر از بهسازی مینا است. دلیل آن هم وجود

جدول ۴- سختی جانبی مدل‌ها حاصل از منحنی ظرفیت بدست آمده از تحلیل پوش آور برحسب kN/mm

هدف بهسازی	الگوی بار جانبی	قاب ۱۲ طبقه			قاب ۱۵ طبقه			قاب ۲۰ طبقه		
		اختلاف (%)	بهسازی	مینا	اختلاف (%)	بهسازی	مینا	اختلاف (%)	بهسازی	مینا
مینا	یکنواخت	۲۵/۴۰	۶/۲۲	۴/۹۶	۱۶/۱۶	۷/۹۸	۶/۸۷	۱۷/۶۷	۶/۴۶	۵/۴۹
	مود اول	۱۸/۷۳	۳/۵۵	۲/۹۹	۳۲/۰۰	۴/۹۵	۳/۷۵	۳۴/۷۸	۴/۰۳	۲/۹۹
مطلوب	یکنواخت	۴۹/۱۹	۷/۴۰	۴/۹۶	۴۰/۳۲	۹/۶۴	۶/۸۷	۳۷/۸۹	۷/۵۷	۵/۴۹
	مود اول	۴۲/۴۷	۴/۲۶	۲/۹۹	۶۲/۱۳	۶/۰۸	۳/۷۵	۵۹/۸۷	۴/۷۸	۲/۹۹

تغییر شکل‌های برشی غیر الاستیک بزرگ ورق‌های مثلثی دستگاه TADAS ناشی از جابجایی‌های بزرگ‌تر در حین زمین‌لرزه‌های شدید است، که به موجب آن جذب نیروی جانبی توسط این نوع میراگر به دلیل ورود به فاز پلاستیک افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تعداد طبقات مدل‌ها می‌توان یک رشد قابل توجهی در میزان افزایش مقاومت جانبی قاب‌های بهسازی شده با میراگر TADAS را مشاهده کرد.

در جدول ۵ مقادیر مقاومت جانبی سازه‌ها قبل و بعد از بهسازی خلاصه شده اند. طبق این جدول، میزان افزایش مقاومت جانبی قاب‌های بهسازی شده همانند سختی جانبی، در بهسازی مطلوب (تأمین سطح عملکرد CP به ازای زلزله سطح خطر ۲) بیشتر از بهسازی مینا (تأمین سطح عملکرد LS به ازای زلزله سطح خطر ۱) می‌باشد. از این رو، استفاده از میراگر تسلیم شونده فلزی TADAS برای قاب‌های بتنی بلندمرتبه در زمین‌لرزه‌های شدید دارای عملکرد لرزه‌ای بسیار مناسبی است. دلیل آن

جدول ۵- مقاومت نهایی جانبی مدل‌ها حاصل از منحنی ظرفیت بدست آمده از تحلیل پوش آور برحسب kN/mm

هدف بهسازی	الگوی بار جانبی	قاب ۱۲ طبقه			قاب ۱۵ طبقه			قاب ۲۰ طبقه		
		اختلاف (%)	بهسازی	مینا	اختلاف (%)	بهسازی	مینا	اختلاف (%)	بهسازی	مینا
مینا	یکنواخت	۷/۵۴	۹۹۹/۰	۱۰۸۰/۵	۵/۹۲	۱۷۸۹	۱۶۸۹	۱۵/۳۹	۲۰۰۲	۱۷۳۵
	مود اول	۱۱/۳۴	۵۷۳/۹	۶۴۷/۳۲	۷/۸۸	۱۳۵۵	۱۲۵۶	۱۷/۶۵	۱۴۳۳	۱۲۱۸
مطلوب	یکنواخت	۳۳/۸۵	۱۵۳۷	۱۱۴۸/۳	۱۴/۸۷	۱۹۲۴	۱۶۷۵	۶۱/۵۲	۲۶۶۵	۱۶۵۰
	مود اول	۲۹/۲۹	۸۷۶	۶۷۷/۵۴	۳۵/۵۹	۱۸۰۲	۱۳۲۹	۶۰/۴۱	۱۹۶۵	۱۲۲۵

## ۷- تحلیل دینامیکی غیرخطی

۶۰ کیلومتر، سرعت موج برشی با توجه به زمین محل ساخت قابها (خاک نوع سخت) برابر ۱۷۵ تا ۳۷۵ متر بر ثانیه و محدوده بیشینه شتابنگاشت‌های انتخابی بین ۰/۲g تا ۲g می‌باشند و لذا نزدیک به شرایط زلزله کنترل‌کننده ساختگاه انتخاب شده‌اند.

برای انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی از ۷ شتابنگاشت زمین‌لرزه استفاده می‌شود که مشخصات آن‌ها در جدول ۶ ارائه شده است. زلزله‌های انتخاب شده دارای ویژگی‌هایی از قبیل بزرگای بین ۴/۵ تا ۸ ریشتر، محدوده فاصله تصویر صفحه گسل تا صفحه مذکور ۲۰ تا

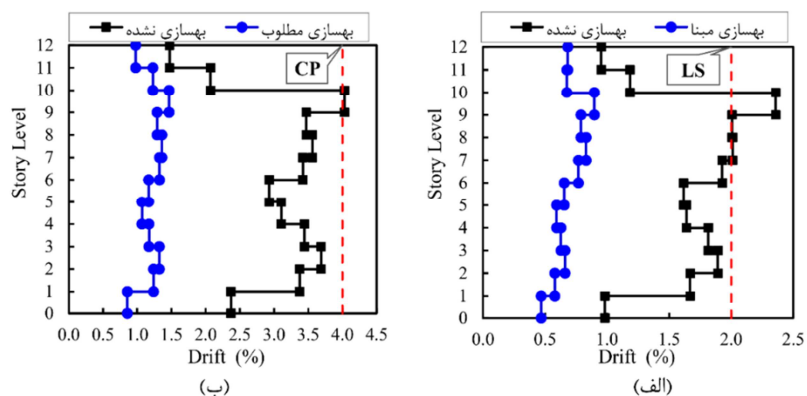
جدول ۶- جزییات زمین‌لرزه‌های استفاده شده برای تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

شماره زلزله	نام زلزله	ایستگاه ثبت	سال	فاصله از گسل (Km)	PGA (g)
۱	Whittier Narrows	Doweney-90079 Birchdale/180	۱۹۸۷	۵۶/۸	۰/۲۹۹
۲	Loma Prieta WVC	CDMG 58235 Saratoga-W Valley Coll.	۱۹۸۹	۲۳/۷	۰/۳۳۲
۳	Manjil, Iran	BHRC 99999 Abhar	۱۹۹۰	۴۰/۴۳	۰/۴۹۶
۴	New Zealand A-MAT	Matahina Dam 99999	۱۹۸۷	۲۴/۲۳	۰/۲۹۳
۵	Westmorland	Westmorland 5169 Fire Sta/90	۱۹۸۱	۳۵/۶	۰/۴۹۶
۶	Park Field TMB	CDMG 1438 Temblor pre- 1969	۱۹۶۶	۲۶/۱	۰/۳۵۷
۷	Tabas DAY	Dayhook 9102	۱۹۸۷	۲۷/۰	۰/۴۰۶

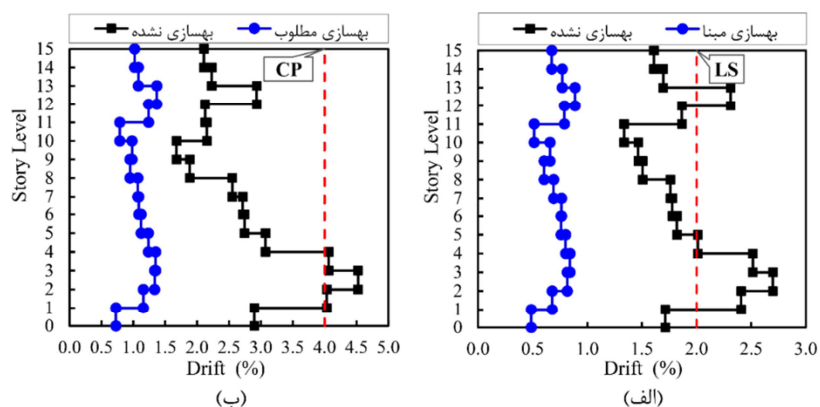
نهایی هر مقطع فایبر از المان‌ها با استفاده از نتایج انحناء-ممان حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی تعیین می‌گردد. سپس با استفاده از رابطه  $\theta_p = (Q_u - Q_y) \times L_p$  دوران پلاستیک بدست می‌آید که در آن،  $Q_u$  انحنای نهایی و  $Q_y$  انحنای تسلیم می‌باشد که با استفاده از رابطه ارائه شده در مطالعه زو و همکارانش [۳۸] محاسبه می‌شود. همچنین  $L_p$  طول فرضی مفصل پلاستیک است که در مرجع [۳۹] معرفی شده است.

در شکل ۵ میانگین نسبت دریافت طبقات بدست آمده از ۷ رکورد زلزله برای قاب‌های اولیه و قاب‌های بهسازی شده در دو سطح مطلوب و مینا نشان داده شده است. همچنین، بیشینه جابجایی نسبی مجاز برای سطوح عملکرد  $LS$  و  $CP$  به ترتیب برابر ۲٪ و ۴٪ است [۴۰] که در شکل‌ها نشان داده شده است.

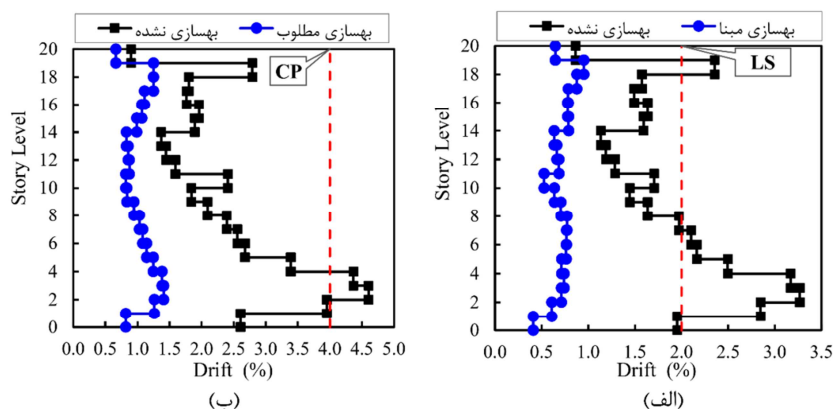
شتابنگاشت‌های انتخابی مطابق نشریه شماره ۳۶۰ برای دو سطح خطر زلزله (۱) و (۲) بر اساس طیف طرح شتابهای معرفی شده در بند ۵، مقیاس می‌شوند. بدین معنی که شتابنگاشت‌ها به نحوی مقیاس می‌گردند که طیف میانگین حاصل در محدوده زمان تناوبی 0.2T تا 1.5T کمتر از 1.3 برابر طیف طرح سازگار با سطح خطر مدنظر نباشد (T معرف زمان تناوب اصلی سازه موردنظر برای تحلیل دینامیکی است). سپس با استفاده از رکوردهای زلزله مقیاس شده، روی مدل‌ها تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی انجام می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی بصورت نمودارهای دریافت طبقات و میزان دوران مفاصل پلاستیک تشکیل شده در اعضا ارائه می‌شود. لازم به ذکر است که به منظور محاسبه دوران پلاستیک مفصل‌های غیرخطی در اعضای بتنی قاب‌ها، ابتدا میزان انحنای



قاب ۱۲ طبقه



قاب ۱۵ طبقه



قاب ۲۰ طبقه

شکل ۵- مقایسه متوسط نسبت دررفت طبقات برای قاب‌های مختلف، (الف) تحت زلزله‌های سطح خطر ۱ و (ب) تحت زلزله‌های سطح خطر ۲

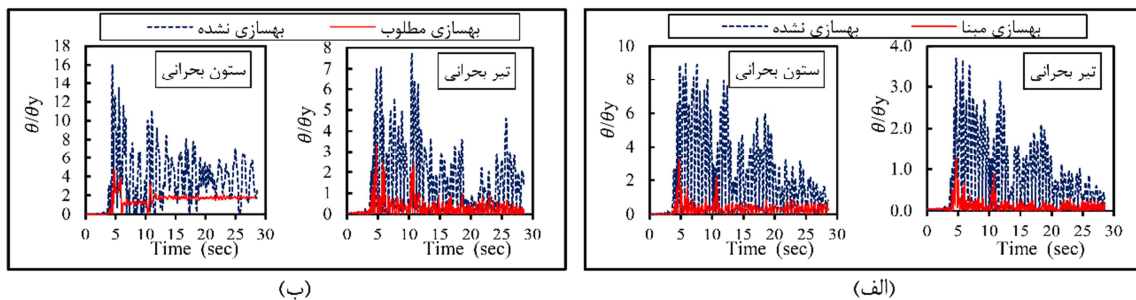
قاب‌ها، توزیع غیریکنواخت دررفت طبقات در راستای ارتفاع را به‌طور مؤثری تغییر می‌دهد و این توزیع را به حالت یکنواخت نزدیک می‌کند. به‌عنوان نمونه، برای قاب ۲۰ طبقه بهسازی نشده، ماکزیمم دررفت به ازای زلزله‌های سطح خطر (۲)، ۵/۱۱ برابر مینیمم دررفت است. در حالیکه بعد از بهسازی این قاب در سطح مطلوب، نسبت ماکزیمم به مینیمم دررفت طبقات به ازای

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، در قاب‌های بتنی بهسازی نشده توزیع دررفت طبقات در راستای ارتفاع سازه به ازای هر دو سطح خطر زلزله (۱) و (۲) کاملاً غیریکنواخت می‌باشد. همچنین، در حالت بهسازی نشده با افزایش تعداد طبقات، آن طبقاتی که دارای بیشینه دررفت هستند به سمت طبقات پایینی پیش می‌روند. استفاده از میراگر فلزی TADAS برای بهسازی لرزه‌ای

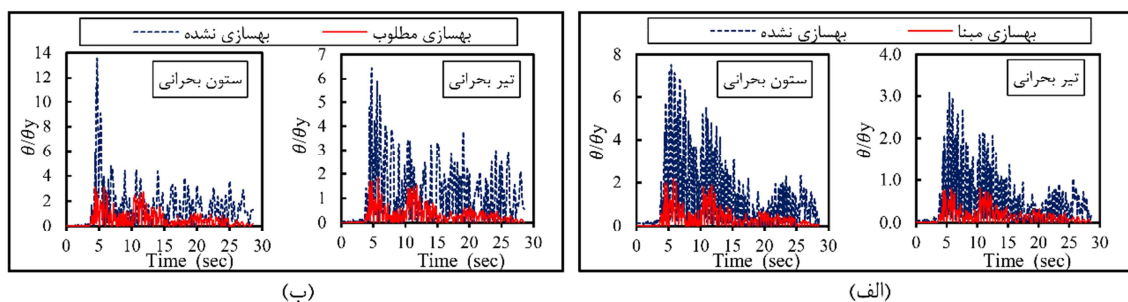
ایمنی جانی ( $LS$ ) را به ازای زلزله سطح خطر (۱) و سطح عملکرد جلوگیری از فروریزش ( $CP$ ) را به ازای زلزله سطح خطر (۲) تأمین کرده‌اند.

به‌منظور بررسی بهبود رفتار شکل‌پذیری اعضای بتنی، تیر و ستون بحرانی از طبقه اول قاب‌ها انتخاب می‌شوند و در این اعضای بحرانی، نسبت دوران مفصل پلاستیک تشکیل‌شده به دوران حد الاستیک ( $\theta/\theta_y$ ) تحت شتاب‌نگاشت زلزله شماره ۱، در حالت‌های بهسازی نشده و بهسازی شده در طول زمان تحلیل تاریخچه زمانی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. این نتایج در شکل ۶ ارائه شده است.

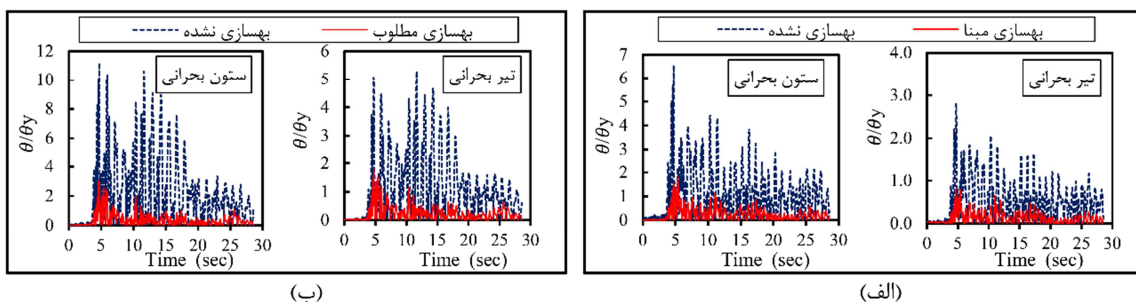
زلزله سطح خطر (۲) به  $1/74$  می‌رسد. همچنین، مقایسه نتایج قاب‌های بهسازی شده با قاب‌های بهسازی نشده نشان می‌دهد که با افزایش تعداد طبقات، نقش میراگر TADAS، در یکنواخت کردن توزیع دررفت در ارتفاع ساختمان، برجسته‌تر می‌شود. نکته قابل‌توجه دیگر، کاهش چشمگیر ماکزیمم دررفت طبقات در قاب‌های بهسازی شده با میراگر TADAS در مقایسه با قاب‌های بتن‌آرمه اولیه می‌باشد. به‌عنوان نمونه در قاب ۲۰ طبقه، بهسازی مطلوب باعث کاهش  $69/3\%$  در ماکزیمم دررفت به ازای زلزله سطح خطر (۲) می‌شود. لذا میراگر TADAS باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها شده است؛ بطوریکه سازه‌های بهسازی شده به‌راحتی سطح عملکرد



قاب ۱۲ طبقه



قاب ۱۵ طبقه



قاب ۲۰ طبقه

شکل ۶- مقایسه میزان دوران در اعضای بحرانی قاب‌های مختلف: (الف) تحت زلزله سطح خطر ۱ و (ب) تحت زلزله سطح خطر ۲



نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در صورت استفاده از سیستم میراگر TADAS، نسبت بیشینه  $\theta/\theta_y$  برای تیر و ستون بحرانی قاب‌های بهسازی شده به میزان قابل توجهی نسبت به حالت‌های بهسازی نشده کاهش می‌یابد، که مقدار این کاهش به‌طور میانگین در حدود ۷۰٪ می‌باشد. همچنین با افزایش تعداد طبقات از میزان نسبت بیشینه  $\theta/\theta_y$  تیر و ستون بحرانی قاب‌های اولیه و قاب‌های بهسازی شده کاسته می‌گردد.

مشاهده می‌شود که میزان نسبت  $\theta/\theta_y$  در تمامی طول مدت زلزله برای ستون‌های قاب‌ها بیشتر از تیرها می‌باشد که دلیل این امر را می‌توان بلندمرتبه بودن قاب‌های بتنی مورد مطالعه دانست که به‌موجب آن می‌توان رفتار برشی قابل توجهی با نقش پررنگ‌تر ستون‌ها برای کل سازه پیش‌بینی نمود. جدول ۷ میزان کاهش در مقادیر بیشینه  $\theta/\theta_y$  را برای اعضای بحرانی قاب‌های بهسازی شده در مقایسه با قاب‌های اولیه (بهسازی نشده)

جدول ۷- میزان کاهش  $\theta/\theta_y$  در اعضای بحرانی قاب‌های بهسازی شده در مقایسه با قاب‌های اولیه

درصد کاهش بیشینه $\theta/\theta_y$		سطح خطر زلزله	هدف بهسازی	تعداد طبقات
ستون بحرانی	تیر بحرانی			
۶۳/۷۶	۶۶/۰۴	یک	مینا	۱۲
۶۹/۸۹	۵۷/۴۵	دو	مطلوب	
۷۱/۱۸	۷۳/۸۹	یک	مینا	۱۵
۷۷/۲۵	۷۱/۱۶	دو	مطلوب	
۷۲/۳۷	۷۱/۰۸	یک	مینا	۲۰
۷۲/۹۶	۶۵/۷۸	دو	مطلوب	

افزایش می‌یابند. در محاسبه میزان افزایش در سختی و مقاومت قاب‌های بهسازی شده، نتایج بدست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی به‌شدت به الگوی بارگذاری جانبی وابسته است. بطوریکه نتایج بدست آمده از الگوی بارگذاری یکنواخت در مقایسه با الگوی بارگذاری مود اول محافظه‌کارانه است. دلیل این امر می‌تواند تأثیر مودهای ارتعاشی بالاتر در پاسخ ساختمان‌های بلند باشد که باعث می‌شود نتایج بدست آمده بر اساس الگوی بارگذاری مود اول سازه تا حدودی خوش‌بینانه باشد. میزان افزایش در سختی و مقاومت جانبی قاب‌های بهسازی شده با تغییر تعداد طبقات به الگوی بارگذاری جانبی وابسته است. همچنین، با افزایش ارتفاع سازه‌ها رشد قابل توجهی در افزایش مقاومت جانبی قاب‌های بهسازی شده با میراگر TADAS حاصل گردید.

## ۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله با انجام تحلیل‌های غیرخطی (استاتیکی و دینامیکی) با استفاده از برنامه OpenSees، به ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های بتنی بلندمرتبه بهسازی شده با میراگر فلزی تسلیمی TADAS پرداخته شد. برای انجام این کار از مدل‌های دوبعدی با ۳ تراز ارتفاعی ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه استفاده شد. همچنین، بهسازی با TADAS در دو سطح بهسازی مینا و بهسازی مطلوب انجام شد و پاسخ قاب‌ها در دو سطح خطر زلزله ۱ و ۲ و به ازای دو سطح عملکرد ایمنی جانی و آستانه فروریزش بررسی گردید. خلاصه نتایج بدست آمده در این مطالعه به‌صورت زیر می‌باشد:

- ۱- با اضافه کردن میراگر TADAS، به‌طور میانگین سختی و مقاومت جانبی قاب‌های بهسازی شده در سطح بهسازی مینا به ترتیب ۲۴٪ و ۱۱٪ و در سطح بهسازی مطلوب به ترتیب ۴۹٪ و ۳۹٪

نیروهای افقی وارده ناشی از زمین‌لرزه به میزان قابل توجهی و با داشتن رفتار کاملاً پلاستیک برشی به‌عنوان یک فیوز برای سازه‌ها عمل می‌کنند و باعث می‌شوند اعضا در سیستم قاب بتنی بهسازی شده با داشتن میزان دوران پلاستیک مناسب و بدون آسیب لرزه‌ای خاصی به سطح عملکرد هدف مورد نظر برسند.

۴- نتایج تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی نشان می‌دهد که میراگر TADAS باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها می‌شود؛ بطوریکه سازه‌های بهسازی شده به‌راحتی سطح عملکرد ایمنی جانی ( $L/S$ ) را به ازای زلزله سطح خطر (۱) و سطح عملکرد جلوگیری از فروریزش ( $CP$ ) را به ازای زلزله سطح خطر (۲) تأمین کرده‌اند. همچنین، به خاطر تغییر شکل‌های برشی غیر الاستیک بزرگ ورق‌های مثلثی دستگاه TADAS ناشی از جابجایی‌های بزرگ‌تر در حین زمین‌لرزه‌های شدید، استفاده از آن برای قاب‌های بتنی بلندمرتبه در زمین‌لرزه‌های شدید (زلزله سطح خطر ۲) دارای عملکرد لرزه‌ای مناسب‌تر نسبت به زمین‌لرزه‌های متوسط (زلزله سطح خطر ۱) می‌باشد. لازم به ذکر است، از آنجاکه محتوای فرکانسی زلزله‌ها تأثیر قابل توجهی بر پاسخ سازه‌ها دارد، بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌های بهسازی شده با TADAS برای شتاب‌نگاشت‌های انتخاب‌شده در این مطالعه، رخ داده است و در هر پروژه دیگری باید بررسی مستقل در این زمینه صورت بگیرد. همچنین برای مقایسه این روش بهسازی با دیگر روش‌ها، نیاز به تحقیقات جداگانه‌ای در امور پیچیدگی ساخت، هزینه، زمان و جنبه‌های معماری است.

۲- در قاب‌های بتنی اولیه (بهسازی نشده) توزیع دررفت در راستای ارتفاع سازه کاملاً غیریکنواخت است. این بدان معنی است که ویژگی رفتار پلاستیک قاب‌های بتنی که تعیین‌کننده رفتار هیسترتیک آن در برابر نیروهای زلزله ورودی است، بصورت غیریکنواخت در راستای ارتفاع قاب‌ها توزیع شده است. بطوریکه با افزایش ارتفاع ساختمان، طبقات پایینی که دارای بیشترین تغییر شکل‌ها بوده نقش بسزایی در رفتار پلاستیک قاب‌ها ایفا می‌کند، این در حالی است که نقش طبقات دیگر در مستهلک نمودن انرژی ورودی به سازه به‌مراتب کمتر می‌باشد. استفاده از میراگر فلزی TADAS برای بهسازی لرزه‌ای قاب‌ها، توزیع غیریکنواخت دررفت طبقات در راستای ارتفاع را به‌طور مؤثری تغییر می‌دهد و این توزیع را به حالت یکنواخت نزدیک می‌کند. علاوه بر این، میراگر TADAS قادر به کاهش قابل توجه ماکزیمم دررفت طبقات به مقدار بیش از ۶۰ درصد می‌باشد. همچنین، با افزایش ارتفاع ساختمان نقش میراگر فلزی TADAS در کاهش دررفت طبقات و توزیع یکنواخت دررفت در راستای ارتفاع ساختمان برجسته‌تر می‌شود.

۳- استفاده از سیستم میراگر TADAS باعث می‌شود نسبت دوران مفصل پلاستیک تشکیل‌شده به دوران حد الاستیک ( $\theta/\theta_y$ ) برای تیر و ستون بحرانی قاب‌های بهسازی شده به میزان قابل توجهی (به‌طور میانگین در حدود ۷۰٪) نسبت به حالت‌های بهسازی نشده کاهش یابد. لذا، میراگر فلزی TADAS باعث بهبود قابل توجه رفتار شکل‌پذیر اعضای بتنی قاب‌ها می‌شود، زیرا ورق‌های فلزی برشی با جذب

## مراجع

- [1] Murty, C.V.R., Greene, M., Jain, S.K., Prasad, N.P., Mehta, V.V. (2005). "Earthquake Rebuilding in Gujarat, India, a Recovery Reconnaissance Report", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.
- [2] Rouhi, H., Gholhaki, M., Kheyroddin, A. (2017). "Assessment and Seismic Rehabilitation of Reinforced Concrete Building with Large-Scale Lateral Bracing External", *Journal of Civil and Environmental Researches*, 3(1), 51-67.
- [3] Castro, J.M., Araujo, M., D'Aniello, M., Landolfo, R. (2018). "Strengthening of RC Buildings with Steel Elements", In: Costa, A., Arede, A., Varum, H. (eds) Strengthening and Retrofitting of Existing Structures, Singapore, Springer, pp 139-162.
- [4] Valipour, M.R., Badarloo, B. (2017). "Evaluation of Seismic Performance of Reinforced Concrete Frames Retrofitted with Buckling-Restrained Brace Under Near-Fault Earthquakes", *Journal of Civil and Environmental Researches*, 3(1), 69-81.
- [5] Soong, T.T., Constantinou M.C. (1994). "Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering", Department of Civil Engineering, State University Of New York at Buffalo, USA.
- [6] Aiken, I.D., Nims, D.K., Whittaker, A.S., Kelly, J.M. (1993). "Testing of Passive Energy Dissipation Systems", *Earthquake Spectra*, 9(3), 335-370.
- [7] Tsai, K.C., Hong, C.P. (1992). "Steel Triangular Plate Energy Absorber for Earthquake Resistant Buildings", Proceedings of 1<sup>st</sup> World Congress on Constructional Steel Design, Mexico.
- [8] Shih, M.H., Sung, W.P. (2005). "A Model for Hysteretic Behavior of Rhombic Low Yield Strength Steel Added Damping and Stiffness", *Computers & Structures*, 83(12-13), 895-908.
- [9] Chan, R.W.K., Albermani, F. (2008). "Experimental Study of Steel Slit Damper for Passive Energy Dissipation", *Engineering Structures*, 30(4), 1058-1066.
- [10] Jamkhaneh, M.E., Ebrahimi, A.H., Amiri, M.S. (2019). "Experimental and Numerical Investigation of Steel Moment Resisting Frame with U-Shaped Metallic Yielding Damper", *International Journal of Steel Structures*, 19, 806-818.
- [11] Zahrai, S.M., Froozanfar, M. (2019). "Improving Seismic Behavior of MRFs by U-shaped Hysteretic Damper Along Diagonal Brace", *International Journal of Steel Structures*, 19, 543-558.
- [12] Rahnvard, R., Rebelo, C., Craveiro, H.D., Napolitano, R. (2020). "Numerical Investigation of the Cyclic Performance of Reinforced Concrete Frames Equipped with a Combination of a Rubber Core and a U-Shaped Metallic Damper", *Engineering Structures*, 225, 111307.
- [13] Madheswaran, C.K., Prakash vel, J., Sathishkumar, K., Rama Rao, G.V. (2017). "Earthquake Response of Reinforced Concrete Building Retrofitted with Geopolymer Concrete and X-shaped Metallic Damper", *J. Inst. Eng. India Ser. A*, 98(1-2), 41-52.
- [14] TahamouliRoudsari, M., Cheraghi, K., Habibi, M.R. (2019). "Investigation of Retrofitting RC Moment Resisting Frames with ADAS Yielding Dampers", *Asian Journal of Civil Engineering*, 20, 125-133.
- [15] TahamouliRoudsari, M., Eslamimanesh, M.B., Entezari, A.R., Noori, O., Torkaman, M. (2018). "Experimental Assessment of Retrofitting RC Moment Resisting Frames with ADAS and TADAS Yielding Dampers", *Structures*, 14, 75-87.
- [16] Saghafi, M.H., Golafshar, A., Yahyae, A., Zareian M.S. (2019). "Analytical Assessment of Reinforced Concrete Frames Equipped with TADAS Dampers", *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 7(2), 138-151.
- [17] Javidan, M. M., Chun, S., Kim, J. (2021). "Experimental Study on Steel Hysteretic Column Dampers for Seismic Retrofit of Structures", *Steel and Composite Structures*, 40(4), 495-509.
- [18] Keykhosravi, A., Aghayari, R. (2017). "Evaluating Response Modification Factor (R) of Reinforced Concrete Frames with Chevron Brace Equipped with Steel Slit Damper", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21, 1417-1423.
- [19] Saeedi, F., Shabakhty, N., Mousavi, S.R. (2016). "Seismic Assessment of Steel Frames with Triangular-Plate Added Damping and Stiffness Devices", *Journal of Constructional Steel Research*, 125, 15-25.
- [20] Dareini, H.S., Hashemi, B.H. (2011). "Use of Dual Systems in TADAS Dampers to Improve Seismic Behavior of Buildings in Different Levels", *Procedia Engineering*, 14, 2788-2795.
- [21] Mahmoudi, M., Abdi, M.G. (2012). "Evaluating Response Modification Factors of TADAS Frames", *Journal of Constructional Steel Research*, 71, 162-170.
- [22] Mohammadi, R.K., Nasri, A., Ghaffary, A. (2017). "TADAS Dampers in Very Large Deformations", *International Journal of Steel Structures*, 17, 515-524.
- [23] Shojaeifar, H., Maleki, A., Lotfollahi-Yaghin, M.A. (2020). "Performance Evaluation of Curved-TADAS Damper on Seismic Response of Moment Resisting Steel Frame", *IJE TRANSACTIONS A: Basics*, 33(1), 55-67.

- [24] Gholampoor, S., Naseri, A., Motevali, G. (2021). "Investigation of the Effect of TADAS Yielding Plate Damper in Low and Mid Rise of Steel Structures under the Near and Far Fault Zone", *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(1), 152-172.
- [25] Aguiar, R., Mora, D., Rodriguez, M. (2016). "CEINC-LAB. A Free Software to Find the Seismic Capacity Curve of Frames with ADAS or TADAS Dissipators", *Construction Engineering Magazine*, 31(1), 37-53.
- [26] Mahmoudi, M., Abdi, M.G., Mahmoudi, F. (2014). "Influence of the TADAS Dampers on the Ductility Reduction Factor of Steel Frames", Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul, Turkey.
- [27] Publication No. 360, First Revision. (2014). "Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings", Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision, Department of Technical Affairs, Tehran, Iran (in Persian).
- [28] Standard No. 2800, 2<sup>nd</sup> Edition. (1999). "Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings", Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran (in Persian).
- [29] Iranian National Building Codes, Part 9. (2005). "Design and Construction of Reinforced Concrete Buildings", Ministry of Housing and Urban Development, Tehran, Iran (in Persian).
- [30] ETABS. (2017). "Integrated building design software", *Computers and Structures, Inc*: Berkeley, California.
- [31] Lee, S.S., Goel, S.C. (2001). "Performance-Based Design of Steel Moment Frames Using Target Drift and Yield Mechanism", Report No. UMCEE 01-17, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA.
- [32] Liao, C.W. (2010). "Performance-Based Plastic Design of Earthquake Resistant Reinforced Concrete Moment Frames", PHD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan.
- [33] Iranian National Building Codes, Part 10. (2013). "Design and Construction of Steel Buildings", Ministry of Roads and Urban Development, Tehran, Iran (in Persian).
- [34] OpenSees. (2010). "Open System for Earthquake Engineering Simulation", Available from: <http://www.opensees.berkeley.edu>.
- [35] Tsai, C., Tsai, K. (1995). "TPEA Device as Seismic Damper for High Rise Buildings", *Journal of Engineering Mechanics*, 121(10), 1075-1081.
- [36] Tsai, K.C., Hong, C.P., Su, Y.F. (1992). "Experimental Study of Steel Triangular Plate Energy Absorbing Device for Seismic-Resistant Structures", Report No. CEER/R81-08, Center for Earthquake Engineer Research, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
- [37] Zafarani, H., Hajimohammadi, B., Jalalhosseini, S.M. (2019). "Earthquake Hazard in the Tehran Region based on the Characteristic Earthquake Model", *Journal of Earthquake Engineering*, 23(9), 1485-1511.
- [38] Zou, X.K., Chan, C.M. (2005). "Optimal Seismic Performance-Based Design of Reinforced Concrete Buildings Using Nonlinear Pushover Analysis", *Journal of Engineering Structures*, 27(8), 1289-1302.
- [39] Priestley, M.J.N., Seible, F., Calvi, G.M. (1996). "Seismic Design and Retrofit of Bridges", John Wiley and Sons, New York.
- [40] FEMA 356. (2000). "Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings", American Society of Civil Engineers, Washington, DC.