J. Analysis of Structure and Earthquake

Volum 21, Issue 1, spring 2024



وبگاه مجله: www.civil-strj.maragheh.iau.ir

## Improving Hysteresis Performance Steel Frames with Diagonal Bracing

Issn: 2821-0999

Morteza Jamshidi\*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

m.jamshidi@ iauc.ac.ir

## Abstract

hysteresis performance,

energy dissipation,

IPE damper,

**Keywords:** 

CBF,

passive control.



provide lateral strength and stiffness. CBFs have less ductility and energy dissipation capacity. Studies on the lateral behavior of CBF show that the ductility and seismic behavior of these frames are intensively affected by the compression element behavior; and stiffness and strength reduction after the compression element buckling decreases the CBF performance under cyclic loading considerably. In this paper, a steel yielding device constructed with waste materials is proposed to improve the hysteresis performance of the CBFs. The hysteresis performance of the proposed device is studied through experimental and numerical studies. Experimental and numerical studies show the stable hysteresis performance of the proposed device and its appropriate energy dissipation capacity. In the case of the studied device, no strength and stiffness reduction is observed up to 18 mm axial displacement. 2. On the other hand, achieving equivalent viscous damping ratio for the damper constructed with IPE80 without the use of sophisticated tools is noticeable.

A concentrically braced frame (CBF) is a conventional frame to

This work is licensed under a <u>Creative Commons Attribution-NonCommercial</u> <u>4.0 International License</u>

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).

<sup>\*</sup> Corresponding Author

# بهبود عملکرد هیسترزیس قابهای فولادی مجهز به مهاربندهای قطری

مرتضی جمشیدی \* استادیار گروه مهندسی عمران، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

m.jamshidi@ iauc.ac.ir

۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۰ آبان ۱۴۰۲

تاریخ دریافت : ۱۳ تیر ۱۴۰۲

## چکیدہ

قاب مهاربندی شده همگرا یک قاب متعارف برای ایجاد مقاومت جانبی و سختی سازه است. این قابها شکل پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی کمتری نسبت به سایر سیستمهای مشابه دارند. مطالعات بر روی رفتار جانبی قابهای مهاربندی شده همگرا نشان می دهد که شکل پذیری و رفتار لرزهای این قابها به شدت تحت تاثیر رفتار عضو فشاری می باشد و کاهش سختی و مقاومت پس از کمانش عضو فشاری، عملکرد قابهای مهاربندی شده همگرا را تحت بارگذاری چرخهای به طور قابل توجهی کاهش می دهد. در این مقاله، یک المان تسلیم شونده فولاد، ساخته شده از قطعات دورریز برای بهبود عملکرد چرخهای قاب مهاربندی شده قطری پیشنهاد شده است. عملکرد هیسترزیس المان پیشنهادی از طریق مطالعات آزمایشگاهی و عددی مورد اتلاف انرژی مناسب آن را نشان می دهد. در مورد المان مورد مطالعه، تا ۱۸ میلی متر تغییر مکان محوری، کاهش مقاومت و سختی مشاهده نمی شود. از سوی دیگر دستیابی به نسبت میرایی ویسکوز معادل برای کاهش مقاومت و سختی مشاهده نمی شود. از سوی دیگر دستیابی به نسبت میرایی ویسکوز معادل برای

كليد واژگان: قاب مهاربندی شده همگرا، عملكرد هيسترزيس، اتلاف انرژی، ميراگر IPE، كنترل غيرفعال

\*نويسنده مسئول مكاتبات



## ۱-مقدمه

قابهای مهاربندی شده همگرا یکی از گستردهترین سیستمهای مقاوم در برابر نیروی لرزهای هستند. آنها به دلیل سختی بالا و همچنین سهولت اجرا به طور گسترده به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بار جانبی استفاده میشوند. پس از زلزله، خسارات احتمالی در عناصر کمتری از قابهای مهاربندی شده در مقایسه با قابهای خمشی متمرکز میشود. از این رو هزینه تعمیر این قابها به میزان قابل توجهی کاهش مییابد. کمانش زودهنگام عضو فشاری و از دست دادن سختی شدید چالش اصلی انواع قاب های همگرا (با مهاربندی موضوع منجر به عملکرد غیر شکل پذیر تحت بارگذاری چرخهای میشود. بنابراین، مطالعات متعددی برای بهبود عملکرد هیسترزیس و میشود. بنابراین، مطالعات متعددی برای بهبود عملکرد هیسترزیس و همچنین رفتار لرزهای این نوع سیستم مهاربندی انجام شد [۱۰

برای ارتقاء عملکرد جانبی قابهای مهاربندی شده همگرا دو راهکار پیشنهاد شده است. راهکار نخست استفاده از مهاربندهای کمانش تاب است. در این راهکار برای بهبود عملکرد مهاربند، رفتار عضو قطری تحت فشار بر اساس رفتار کششی آن تنظیم خواهد شد [۵۹۹]. راهکار دوم که در این مقاله به آن پرداخته شده است، استفاده از فیوز سازهای است. با تمرکز آسیب بر روی این المان، اعضای اصلی سازه محافظت خواهند شد. این راهکار توسط بسیاری از محققین مورد ارزیابی قرار گرفته و پیکربندیهای مختلفی از فیوزهای سازهای معرفی شده است [۱۹و۱].

فیوز 'IPE پیشنهادی عملکرد لرزهای قابهای مهاربندی مورب را اصلاح خواهد کرد. این فیوز قابل ساخت از مصالح دورریز بوده و به راحتی قابل ساخت و اجرا میباشد. از این رو، میراگر فیوز IPE را میتوان به عنوان یک فیوز سازهای مقرون به صرفه معرفی کرد.

مطالعات بر روی رفتار جانبی قابهای مهاربندی شده همگرا نشان میدهد که شکلپذیری و رفتار لرزهای این قابها به شدت متاثر از رفتار عضو قطری تحت فشار می باشد. کاهش سختی و مقاومت پس از کمانش عضو قطری تحت فشار، عملکرد هیسترزیس قابهای

مهاربندی شده همگرا را به طور قابل ملاحظهای کاهش میدهد [۲۰](شکل ۱).



شکل ۱– رفتار هیسترزیس قابهای مهاربندی شده همگرا تحت بارگذاری چرخهای

بنابراین، جلوگیری و یا به تاخیر انداختن پدیده کمانش منجر به رفتار شکل پذیر قاب های مهاربندی شده همگرا می شود. در این مقاله، یک تیر ساده ۲۰۰ میلی متری ساخته شده با مقاطع IPE دورریز (به عنوان یک راهکار عملی و اقتصادی) برای ارتقا رفتار چرخهای قابهای مهاربندی شده همگرا پیشنهاد شده است. ظرفیت خمشی این تیر ساده که تابعی از هندسه مقطع IPE است به گونهای تنظیم می شود که کمتر از ظرفیت عضو مورب در کمانشی فشاری باشد. بنابراین کمانش عضو فشاری با تسلیم خمشی تیر ساده در فیور پیشنهادی جایگزین خواهد شد. تسلیم خمشی فیوز IPE تحت بارگذاری چرخهای انرژی لرزهای را مستهلک می کند. از این رو آسیبها در تیر ساده ۲۰۰ میلی مترکز می شوند. بنابراین محاسبه و اجرای مناسب فیوز IPE عملکرد انعطاف پذیر قابهای مهاربندی شده همگرا را تضمین می کند.

## ۲- پیکربندی فیوز IPE و ایده أن

پدیده کمانش یک شکست غیر شکل پذیر است که باید با یک شکست شکل پذیر مانند تسلیم خمشی و یا برشی جایگزین شود. در راستای شکست شکل پذیر، یک مفصل پلاستیکی برای اتلاف انرژی القائی باید تشکیل شود. پروفیل IPE با طول ۲۰۰ میلی متر برای ساخت یک تیر ساده تک دهانه استفاده می شود. تکیه گاه این تیر

فصلنامهعله

اناليزسازه - زازل

62

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> - I-Profile European

فصلنامهعلمى

هیسترزیس سیستمهای قابهای مهاربندی شده همگرا، تیر تک دهانه باید به گونهای طراحی شود که قبل از کمانش عضو مهاربندی، تسلیم شود. برای افزایش مقاومت برشی تیر تک دهانه و صفحه تکیه گاهی از تعدادی سختکننده استفاده می شود (شکل ۲). بکارگیری میراگر فیوز IPE پیشنهادی در یک قاب مهاربندی شده مورب در شکل ۳ نشان داده شده است.



صفحهای میباشد که دارای برش ذوزنقهای است. این صفحه، صفحه تکیهگاهی نامگذاری شده است. تیر و صفحه تکیهگاهی آن با دو

صفحه اتصال به عضو مهاربندی مورب متصل می شوند. بار محوری

عضو مهاربندی به صورت بار متمرکز بر وسط تیر ساده تک دهانه

اعمال می شود. این بار می تواند موجب کمانش عضو مهاربندی گردد و یا باعث تسلیم تیر تک دهانه مونتاژ شده شود. برای بهبود عملکرد

شکل ۲- میراگر فیوز IPE؛ الف) تیر ساده تک دهانه و صفحه تکیه گاهی. ب) صفحه اتصال و سخت کننده های مورد استفاده در میراگر پیشنهادی



شکل ۳- بکارگیری میراگر فیوز IPE پیشنهادی

## ۳- مطالعه تحليلي

برای انتخاب IPE مناسب، ابتدا باید ظرفیت کمانشی عضو قطری محاسبه شود. مقاومت کمانشی الاستیک  $(P_e)$  عضو فشاری برابرست با:

$$P_e = F_e A_g \tag{1}$$

که در آن  $F_e$  تنش کمانش الاستیک (رابطه اویلر)، به شرح زیر است:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \tag{Y}$$

که در آن  $\lambda$  ضریب لاغری عضو مهاربندی مورب است. تقاضای خمشی  $(M_u)$  ناشی از اعمال نیروی متمرکز  $P_e$  روی تیر ساده تک دهانه با طول L را می توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$M_u = \frac{P_e L}{4} \tag{(7)}$$

ظرفیت خمشی پلاستیک تیر ساده تک دهانه است و می M<sub>p</sub> توان آن را با معادله (۴) محاسبه کرد:

$$M_p = F_y Z \tag{f}$$

بنابراین Z سطح مقطع IPE مورد استفاده برای فیوز پیشنهادی باید به صورت زیر باشد:

$$M_p = M_u \to F_y Z = \frac{P_e L}{4}$$
( $\Delta$ )  
$$Z = \frac{P_e L_n}{4F_y}$$

برای مطالعه عملکرد هیسترزیس فیوز پیشنهادی، مدل ساخته شده از ۱۹۲۰۰ با استفاده از دستگاه یونیورسال مورد آزمایش قرار گرفته است. اساس مقطع پلاستیک سطح مقطع IPE۸۰ حول محور

اصلی خمش برابر با  $10^3 \ mm^3$  است. با فرض اینکه L و  $P_e$  به ترتیب برابر با ۱۴۰ میلیمتر و ۳۰۰ مگاپاسکال هستند،  $P_e$  برابر است با:

$$P_e = \frac{4 \times 23.22 \times 10^3 \times 300}{200} \tag{8}$$
$$\cong 139.3 \, kN$$

با توجه به هندسه فیوز IPE پیشنهادی (شکل ۲)، ممکن است بخشی از انرژی تحمیلی از طریق تسلیم برشی پانلهای ایجاد شده مستهلک گردد. این فیوز از دو صفحه برشی تشکیل شده است. مقاومت تسلیم برشی هر پانل را میتوان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$F_{vy} = \frac{F_y}{\sqrt{3}}bt \tag{(Y)}$$

که در آن b ارتفاع پانل است که ۷۴٫۸ میلیمتر است و t ضخامت پانل است که ۳٫۸ میلیمتر است و t ضخامت پانل است که ۳٫۸ میلیمتر است. بنابراین برای هر پانل برشی، مقاومت تسلیم برشی تقریباً ۴۹ کیلو نیوتن خواهد بود. در نتیجه، مقاومت تسلیم برشی فیوز پیشنهادی ساخته شده با ۱۹۲۰، ۹۸ کیلو نیوتن است.

## ٤- مطالعات أزما يشكاهي

عملکرد چرخهای فیوز IPE و جذب انرژی آن از طریق تست چرخهای مورد ارزیابی قرار گرفت. برای شناسایی خواص مصالح، آزمایش کششی منطبق بر استاندارد ASTM – EA، روی دو کوپن گرفته شده از مقطع IPE انجام شد (شکل ۴).

64

فصلنامهعلم

11/2/10-





الف شکل ۴- الف) دستگاه تست یونیورسال؛ ب) نمونه برای آزمون کشش

نمودار تنش-کرنش مستخرج از آزمایش کشش در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق این نمودار، مدول الاستیک، تنش تسلیم، تنش نهایی و کرنش شکست به ترتیب برابر با ۲۰۰۵۴۰٫۹ مگاپاسکال، ۳۰۰ مگاپاسکال، ۳۸۳٫۶ مگاپاسکال و 26.8% است. نسبت پواسون برابر با ۰٫۳ در نظر گرفته میشود.



شکل ۵- نمودار تنش-کرنش به دست آمده از آزمون کشش

پیکربندی فیوز IPE پیشنهاد شده در این مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. این فیوز از یک تیر ساده تک دهانه ساخته شده از مقطع IPE، صفحات اتصال و صفحه تکیه گاهی سخت شده تشکیل شده است.

در این مطالعه، فیوز IPE ساخته شده از ۱PE۸۰ به طول ۲۰۰ میلیمتر، آزمایش شده است. هندسه صفحه تکیهگاهی در شکل ۶ نشان داده شده است. ضخامت صفحه تکیهگاهی، سخت کنندهها و ورق های اتصال به ترتیب ۲۰ میلی متر، ۱۰ میلیمتر و ۲۰ میلیمتر است. برای اتصال تمام اجزای فیوز IPE از جوشکاری شیار نفوذ کامل استفاده می شود (شکل ۷). نمونه مونتاژ شده با آهک رنگ آمیزی شده است (شکل ۸).



شکل ۶– هندسه صفحه تکیهگاهی (همه ابعاد بر حسب *mm*هستند)



دوره ۲۱، شماره ۱، بهار ۲۰۶۱







Ļ

شکل ۷- الف) جوشکاری شیار نفوذ کامل نمونه؛ ب) نمونه ساخته شده



شکل ۸– رنگ آمیزی فیوز IPE پیشنهادی با آهک

تیر ساده تک دهانه تحت یک بار متمرکز است که به صورت چرخهای از طریق عضو محوری قاب مهاربندی شده اعمال می شود. برای شبیه سازی اثرات جزء محوری قاب مهاربندی شده، از دستگاه تست یونیور سال استفاده می شود. از این رو، نمونه فیوز پیشنهادی IPE توسط دستگاه تست یونیور سال با سرعت ۰٫۰۴ میلی متر بر ثانیه مطابق با بارگذاری پروتکل ۰٫۵۲ آزمایش شد (شکل ۹و ۱۰).



شکل ۹– میراگر فیوز IPE در دستگاه تست یونیورسال

همانطور که در شکل ۱۱ (الف) نشان داده شده است، پوسته ریزی آهک از پانلهای برشی (ورق جان تیر ساده در میراگر IPE) آغاز میشود. به عبارت دیگر، عملکرد غیر ارتجاعی از طریق تسلیم برشی پانلها آغاز میشود. تغییر شکل پلاستیک پانلهای برشی موجب استهلاک انرژی تحمیل شده به سیستم میگردد. با افزایش تغییر شکل وسط دهانه تیر ساده (بخشی از میراگر نشان داده شده در شکل ۲-ب)، تسلیم خمشی بال مقطع IPE آغاز میشود. با تسلیم بال IPE، ظرفیت اتلاف انرژی نمونه آزمایشی افزایش مییابد. در نهایت، میراگر فیوز IPE در خیزی حدود ۱۸ میلی متر در وسط دهانه تیر ساده گسیخته می شود. پارگی از بال فوقانی شروع شده و به سمت بال پایین



شکل ۱۰- چرخه بارگذاری مورد استفاده در این مطالعه

## -٤- ضریب شکل پذیری و میرایی

شکل پذیری معیاری برای اندازه گیری تغییرشکل پلاستیک قبل از گسیختگی است. این ضریب از رابطه ۸ محاسبه میشود.

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{\nu}} \tag{(A)}$$

با افزایش ضریب شکلپذیری یک سیستم، ظرفیت جذب انرژی و در نتیجه ضریب رفتار آن افزایش مییابد. رفتار مناسب یک تیر ساخته شده با سطح مقطع IPE باعث میشود که میراگر فیوز IPE پیشنهادی

عملکرد هیسترزیس با ضریب شکل پذیری مناسب داشته باشد. ضریب شکلپذیری فیوز IPE آزمایش شده ۶ است. این ضریب، نسبت جابجایی ۱۸ میلی متری (به عنوان جابجایی نهایی) به جابجایی ۳ میلیمتری (به عنوان جابجایی تسلیم) است. امتداد مییابد. این موضوع، تسلیم خمشی در فیوز IPE پیشنهادی را تایید مینماید. به عبارت دیگر، اگرچه پانل های برشی تسلیم شدند، اما عملکرد هیسترزیس میراگر پیشنهادی همچنان پایدار میباشد. این پایداری به دلیل مقاومت بالهای IPE است. هنگامی که مقدار کرنش در بال فوقانی (یا تحتانی) به مقدار حداکثر خود میرسد، ناپایداری عملکرد هیسترزیس آغاز میشود (بعبارت دیگر مقاومت و سختی متناظر با چرخه ها کاهش مییابد) و فرآیند پارگی آغاز میشود. تسلیم خمشی یک شکست انعطاف پذیر است که میتواند عملکرد چرخهای مناسب فیوز IPE و در نتیجه عملکرد قاب مهاربندی شده قطری را تضمین کند. سطح مقطع IPE حول محورهای اصلی خمشی متقارن است. از این رو انتظار میرود که فیوز IPE عملکرد تقریباً یکسانی را تحت بارگذاری متمرکز چرخهای داشته باشد. بنابراین، بر خلاف قاب متداول مهاربندی شده قطری، عملکرد هیسترزیس قابهای مهاربندی

عملکرد هیسترزیس میراگر فیوز IPE در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، این نمودار تقریباً متقارن است و از حلقههای قوی تشکیل شده است که رفتار بسیار مناسب میراگر پیشنهادی را نشان می دهد.





الف







$$\zeta_{eq} = \frac{A_h}{4 \pi A_e} \tag{9}$$

و  $A_e$  و  $A_h$  به ترتیب مقدار انرژی تلف شده در یک چرخه  $A_h$  بارگذاری و مقدار انرژی ذخیره شده در یک سیستم الاستیک خطی



شکل ۱۳– نمودار نیرو-جابجایی برای محاسبه میرایی ویسکوز معادل

هستند (شکل ۱۳). قابهای مهاربندی شده همگرا، نسبت میرایی ذاتی پایینی دارند. بنابراین، افزودن یک دستگاه اتلاف انرژی به سیستم قابهای مهاربندی شده همگرا، برای افزایش نسبت میرایی آنها ارزشمند است. این موضوع میتواند ارتعاش جانبی سیستم را کاهش دهد. بر اساس نمودار هیسترزیس مستخرج از مطالعه آزمایشگاهی، نسبت میرایی ویسکوز معادل در سیکل کشش و همچنین در سیکل فشار محاسبه و در جدول ۱ ارائه شده است.

68

فصلنامهعلمي

1)2, 110-ile

#### صلنامهعلمى

ζ	A <sub>e</sub>	A <sub>h</sub>	V	Δ	سيکل
(%)	(J)	(J)	(kN)	(mm)	
46.4	1070	6239	142.7	15	كششى
42	1183	6239	157.7	15	فشارى

نسبت میرایی ویسکوز معادل در سیکل کشش ۴۶،۴ و همچنین برای سیکل تراکم برابر با ۴۲ است. دستیابی به چنین میزان نسبت میرایی، کارایی میراگر فیوز پیشنهادی IPE را تایید میکند.

## ٥- مطاعات عددي

برای بررسی عددی عملکرد هیسترزیس، فیوز IPE پیشنهادی از طریق نرمافزار اجزا محدود (FE) ABAQUS مدلسازی شد. مقطع IPE، صفحات اتصال، سختکنندهها، و صفحه تکیه گاهی سخت شده با استفاده از یک المان پوسته (Shell) چهار گره ای کاهش یافته S4R مدلسازی و مش بندی شدند. علاوه بر این، اثرات غیرخطی جابجاییهای بزرگ در نظر گرفته شد. نمونه از طریق لبه پایین صفحه تکیه گاهی نگه داشته می شود. برای این لبه نگهدارنده، جابجایی در تمام جهات و همچنین چرخش حول تمام محورها محدود شد. در طول تحلیل چرخه ای، بارهای کششی و فشاری بر روی نمونه FE از طریق جابجایی اعمال شده بر روی لبه بالایی صفحه اتصال طبق پروتکل ATC 40 اعمال شد (شکل ۱۴–الف). با تعبیه تکیه گاه های جانبی از کمانش خارج از صفحه دو صفحه اتصال در بالا و پایین المان فیوز پیشنهادی جلوگیری شده است (شکل ۱۴–ب).

از آنجا که تمامی المانهای فیوز پیشنهادی با استفاده از جوش شیاری با نفوذ کامل به یکدیگر متصل شده اند، لذا پس از قرار گرفتن قطعات در کنار یکدیگر تمامی اعضا با استفاده از دستور Merge/Cut Instances با یکدیگر به صورت یکپارچه در آورده شده اند.



شکل ۱۴ – الف) نحده بارگذاری و تعریف تکیهگاه در نمونه مدلسازی شده ب) تعریف تکیهگاه جانبی در صفحات اتصال



شکل ۱۵– نمودار هیسترزیس عددی (منحنی پیوسته) در مقایسه با داده های تجربی (نقطه چین)





شکل ۱۶- منحنی پوش نمودار هیسترزیس

در شکل ۱۵، منحنی با خط ممتد رسم شده با استفاده از مطالعه FE تطابق مناسبی را بین نتایج آزمایشگاهی و مطالعه عددی نشان میدهد. منحنی پوش نمودار هیسترزیس FE در شکل ۱۶ نشان داده شده است. طبق منحنی پوش، اولین جابجایی تسلیم قابل توجه برابر با تغییر شکل ۰٫۵۱ میلیمتر است که مربوط به بار متمرکز ۵٫۹۵ کیلونیوتن است (نقطه A در شکل ۱۶). توزیع تنش ون مایسز و کرنش پلاستیک معادل نمونه در نقطه A در شکل ۱۷ نشان داده شده است. مطابق شکل ۱۷، در این مرحله، صفحات برشی تسلیم شدند. بر اساس مطابق شکل ۲۱، در این مرحله، صفحات برشی تسلیم شدند. بر اساس مطابق متکل ۲۵، در این مرحله، صفحات برشی تسلیم شدند. بر اساس مقاومت برشی تحلیلی محاسبه شده در بخش ۳ است (۸۸ کیلونیوتن



است). نقطه B منحنی پوش تقریباً با مقاومت نهایی نمونه مطابقت دارد. توزیع تنش ون مایسز و کرنش پلاستیک معادل نمونه در نقطه B در شکل ۱۸ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۱۸، بالهای IPE در میانه دهانه تسلیم شدند. بر اساس مطالعه FE، مقاومت تسلیم خمشی ۱۴۲ کیلو نیوتن است که نزدیک به مقاومت خمشی تحلیلی است (۱۳۹/۳ کیلو نیوتن). توزیع تنش ون مایسز و کرنش پلاستیک معادل نمونه در نقطه C در شکل ۱۹ نشان داده شده است. این نقطه مربوط به تغییر شکل ۱۹ میلی متری است که شکل پذیری مناسب میراگر مورد مطالعه را نشان می دهد.

## ٦- نتیجه گیری

در این مقاله، یک سیستم کنترل غیرفعال جدید به صورت تحلیلی، آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار گرفته و رفتار چرخهای فیوز پیشنهادی ساخته شده با استفاده از مقطع IPE مورد ارزیابی قرار گرفت.



A شکل ۱۷– الف) توزیع تنش ون مایسزدر نقطه A ب) کرنش پلاستیک معادل در نقطه A شکل ۱۷– الف

اماليزسازه - زازله

70

PEEQ Rep (fractions =-1.0) (vg 75%) (vg 75%

B شکل ۸۸- الف) توزیع تنش ون مایسزدر نقطه B ب) کرنش پلاستیک معادل در نقطه B شکل ۸۸- الف



شکل ۱۹- الف) توزیع تنش ون مایسزدر نقطه C ب) کرنش پلاستیک معادل در نقطه C

الف

فصلنامهعل

اناليزسازه-



اماليزسازه - زازله

نتایج اصلی این مقاله را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- منحنیهای هیسترزیس نشاندهنده رفتار پایدار و متقارن میراگر فیوز پیشنهادی IPE در کشش و فشار است. بعبارت دیگر استفاده از این فیوز در مهاربندهای قطری می تواند ضعف عملکرد آنها در فشار را مرتفع نماید و اصلاح کننده رفتار نامناسب مهاربندهای قطری در فشار باشد.

۲- استفاده از فیوز پیشنهادی ساخته شده با استفاده از مقطع ۱۹۲۸ ، موجب می گردد تا میرایی ویسکوز معادل سیستم به ۴۶٪ در حالت کششی و ۴۲٪ در حالت فشاری افزایش یابد.

۳- ضریب شکل پذیری در آزمایش چرخهای برای میراگر پیشنهادی ساخته شده با IPE۸۰ به ۶ رسید. این ضریب، نسبت جابجایی ۱۸ میلی متری (به عنوان جابجایی نهایی) به جابجایی ۳ میلی متری (به عنوان جابجایی تسلیم) است.

۴– انرژی تلف شده در آخرین حلقه آزمایش (A<sub>h</sub>) برای چرخههای کشش و فشار به ۶۳۳۹ ژول شده است؛ در حالی که این مقدار در آخرین حلقه الاستیک (A<sub>e</sub>) به ترتیب به ۱۰۷۰ ژول برای چرخه کششی و ۱۱۸۳ ژول برای چرخه فشاری بوده است. بعبارت دیگر، نسبت میرایی ویسکوز معادل بهترتیب برابر با ۴۶٫۴٪ برای سیکلهای کششی و ۴۲٪ برای سیکلهای فشاری است که توانایی چشمگیر فیوز پیشنهادی در اتلاف انرژی ورودی را نشان میدهند.

۵– ساخت میراگر فیوز IPE بسیار مقرون به صرفه است. زیرا می توانند از مواد دورریز ساخته شوند. و اجرای آنها برای انواع مختلف قاب های همگرا کاملاً عملیاتی است.

## مراجع

[1] Halim H, Hsu HL. Steel A-braced frame upgrade performance under various load characteristics. Journal of constructional steel research. 2020; 175: 106303.

https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106303

[۲] پاچیده، قاسم؛ کافی، محمدعلی؛ قلهکی، مجید .ارزیابی آزمایشگاهی و عددی سیستم نوین مهاربندی با عضو لوزی شکل مجهز به میراگر تسلیم شونده. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۳، شماره ۱۱، بهمن ۱۴۰۰: ۴۵۷۶–۴۵۷۷.

https://doi.org/10.22060/ceej.2020.18035.6744

[۳] علوی نیا، سید مجید؛ حسین زاده، لیلا؛ قمری، علی؛ اکبرپور، عباس. بررسی رفتار میراگرهای شکاف دار فولادی در سازه های بتنی. آنالیز سازه -زلزله، دوره ۱۸، شماره ۱، خرداد ۲۰۰۰: ۲۵–۶۵

## https://doi.org/10.30495/civil.2021.682514

[۴] محمدی، مسعود؛ کافی، محمد علی؛ خیرالدین، علی؛ رونق، حمیدرضا. مطالعه آزمایشگاهی فیوز نوین کمانش ناپذیر کامپوزیتی برای مهاربندهای هم محور تحت بار چرخهای. مهندسی سازه و ساخت، دوره ۸، شماره ۴، تیر ۱۴۰۰: ۱۴۰۰–۱۲۴.

#### https://doi.org/10.22065/jsce.2019.182841.1838

[5] Castaldo P, Tubaldi E, Selvi F, Gioiella L. Seismic performance of an existing RC structure retrofitted with buckling restrained braces. Journal of Building Engineering. 2021; 33: 101688.

#### https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101688

[6] Iwata M, Kato T, Wada A. Buckling-restrained braces as hysteretic dampers. In Behaviour of steel structures in seismic areas. 2021; eBook ISBN: 9781003211198: 782.

#### https://doi.org/10.1201/9781003211198

[7] Ozcelik R, Dikiciasik Y, Erdil, EF. The development of the buckling restrained braces with new end restrains. Journal of constructional steel research. 2017; 138: 208-220.

#### https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.07.008

[8] Xie Q. State of the art of buckling-restrained braces in Asia. Journal of constructional steel research. 2005; 61(6): 727-748.

#### https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2004.11.005

[9] Zhou Y, Shao H, Cao Y, Lui EM. Application of buckling-restrained braces to earthquake-resistant design of buildings: A review. Engineering Structures. 2021; 246: 112991.

## https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112991

[10] Cheraghi A, Zahrai SM. Cyclic testing of multilevel pipe in pipe damper. Journal of Earthquake Engineering. 2019; 23(10): 1695-1718. https://doi.org/10.1080/13632469.2017.1387191

[11] Garivani S, Askariani SS, Aghakouchak AA.
Seismic design of structures with yielding dampers based on drift demands. Structures. 2020; 28:1885-1899. <u>http://dx.doi.org/10.1016/j.istruc.2020.10.019</u>
[12] Khoshkalam M, Mortezagholi MH, Zahrai SM.
Proposed modification for ADAS damper to eliminate axial force and improve seismic performance. Journal of Earthquake Engineering. 2022; 26 (10).

https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1859419

فصلنامهعلم

[13] Sun YZ, Li GO, Sun FF, Jiang J. Experimental study on behavior of steel tube dampers. Journal of Earthquake Engineering. 2019; 25(10), 2106-2126. https://doi.org/10.1080/13632469.2019.1619635 [14] Wang W, Luo Q, Wang B, Song J, Quan C. Performance Research and Optimization of Corrugated Mild Steel Damper with considering weld Failure. Journal of Earthquake Engineering, 2020; 26(6): 2802-2821. https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1772153 [۱۵] تنها، امیرحسین؛ اشرفی، حمیدرضا .عملکرد فیوز در قابهای فولادی با اتصالات المان زانو تحت بارگذاری چرخهای . نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۵، شماره ۷، مهر ۱۴۰۲: ۱۴۱۸–۱۳۹۹. https://doi.org/10.22060/ceej.2023.22173.7920 [18] شجاعى فر، حميد؛ ملكى، احمد؛ لطف اللهى يقين، محمد على. بررسی عملکرد قابهای خمشی فولادی نیمه صلب مجهز به میراگرهای غیرفعال منحنی شکل فولادی .مهندسی سازه و ساخت، دوره ۹، شماره ۴، تير ۱۴۰۱: ۲۴–۵. https://doi.org/10.22065/jsce.2021.279152.2404 [۱۷] انصاری، علیرضا؛ عباسی، سعید؛ رسولی، اصغر .تأثیر میراگر پیچشی تسلیمی بر جذب انرژی ارتعاشی سازه. آنالیز سازه زلزله، دوره ۱۹، شماره ۱، خرداد ۱۴۰۱: ۶۷–۶۰. https://doi.org/10.30495/civil.2022.691517 [۱۸] مودب، الهام؛ تیزهوش سردرودی، حسین .بررسی آزمایشگاهی و

عددی میراگر لولهای جدید دوسطحی .مهندسی ابزرسی (رمیستانی و شماره ۳، خرداد ۱۴۰۰: ۹۵–۷۵. https://doi.org/10.22065/jsce.2019.171319.1780

[۱۹] کچوئی، علی؛ کافی، محمد علی؛ گرامی، محسن. بهبود رفتار پس از کمانش مهاربندهای همگرا با استفاده از فیوز موضعی مقید شده برمبنای مطالعات آزمایشگاهی و عددی .مهندسی سازه و ساخت، دوره ۷، شماره ۱، فروردین ۱۳۹۹: ۲۱۷–۱۹۹.

https://doi.org/10.22065/jsce.2018.120353.1477 [20] Zheng HD, Fan J. Analysis of the progressive collapse of space truss structures during earthquakes based on a physical theory hysteretic model. Thin-Walled Structures. 2018; 123: 70-81. https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.10.051

73