

# بررسی تحلیلی افزایش شکل پذیری حلقه فولادی با استفاده از حلقه های فولادی متحدالمرکز در مهاربندهای هم محور

محمد علی کافی<sup>۱</sup>، آرش مژگانی<sup>۲</sup>

۱- دانشکده عمران، دانشگاه سمنان

۲- دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

[arash.mozhgani@gmail.com](mailto:arash.mozhgani@gmail.com)

در این مقاله، نوع جدیدی از مستهلک کننده های انرژی، معرفی می شود. این مستهلک کننده به شکل حلقه های فولادی متحدالمرکز ساخته شده و در سازه های بادبندی به منظور بالا بردن شکلپذیری و جذب انرژی قابل نصب می باشد. هنگام زلزله، عضو مستهلک کننده قسمت قابل توجهی از انرژی ورودی به سازه را با ورود به مرحله غیر خطی و تشکیل مفاصل خمیری خمشی، مستهلک کرده و بدین صورت از کماتش اعضای مهاربندی جلوگیری کرده یا آنرا بتعویق می اندازد. منحنی های هیستریسیس بدست آمده حاکی از آن است که المان پیشنهادی می تواند بعنوان یک عضو جاذب انرژی و همچنین یک فیوز جهت کنترل کماتش یک بادبند عمل کند، ضمن آنکه شکل پذیری لازم را نیز تامین کند.

کلمات کلیدی: حلقه های فولادی متحدالمرکز، شکل پذیری، هیستریسیس.

## ۱. مقدمه

تأمین شکل پذیری سازه ها متأثر از رفتار غیرخطی اعضا و اتصالات آن در زمان وقوع زلزله است که تعمیر و بازسازی آن بعد از وقوع زلزله، تابع گستردگی المانهای مقاوم در کل سازه خواهد بود. به همین دلیل تعمیر و بازسازی سازه های خمشی از هزینه قابل ملاحظه برخوردار است. در مقابل، قابهای فولادی بادبند شده هم مرکز از شکل پذیری مطلوب برخوردار نیستند ولی اعضای آسیب پذیر آن در مقابل زلزله محدود و در نتیجه بازسازی آنها بسیار کم هزینه تر از قابهای خمشی است. به منظور رفع نقطه ضعف بادبندهای هم مرکز و تأمین شکل پذیری مطلوب آنها تحقیقات گسترده ای در دو دهه گذشته توسط محققین صورت گرفته است و روشهای مختلفی برای افزایش شکل پذیری این مهاربندها توسط پژوهشگران مختلف پیشنهاد شده است. که هر یک به نحوی کوشیده اند که میزان شکل پذیری بادبندهای هم مرکز (CBF) را بهبود بخشند. یکی از این روشها استفاده از فیوزها می باشد. فیوزها به شکل های مختلف با عملکرد های متفاوت خمشی، برشی و یا پیچشی ساخته می شوند. البته بیشتر تحقیقات انجام شده در این زمینه بر روی عملکرد خمشی استوار بوده است. از انواع مختلف المان های خمشی، المان زانویی و بادبند های دارای المان زانویی می باشد که آقای Balendra [۱] در طی سالهای ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۷ تحقیقات زیادی بر روی این المان انجام داد. از جمله روش های دیگر استفاده از المان های خمشی، استفاده از المانی با رفتار خمشی ساخته شده از صفحات X، لوزی [۲] و مثلثی [۳] شکل فولادی می باشد. در این المانها از خاصیت فولاد و باتوجه به جاری شدن یکنواخت آن، به دلیل انتخاب شکل مناسب این اعضا، استفاده می شود. نوع جدیدی از المانهای خمشی، المان حلقوی هستند که در این زمینه آقای عباس نیا و همکاران [۴] تحقیقات ارزشمندی را انجام داده اند. بررسی های انجام شده نشان می دهد که عملکرد این المان سبب افزایش شکل پذیری در مهاربندهای هم مرکز می گردد، لیکن توان باربری المان حلقه محدود بوده و با افزایش قطر میزان شکل پذیری آن کاهش یافته و همچنین با محدودیت های

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده عمران، عضو هیات علمی دانشگاه سمنان

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد عمران سازه، دانشگاه علم و صنعت ایران

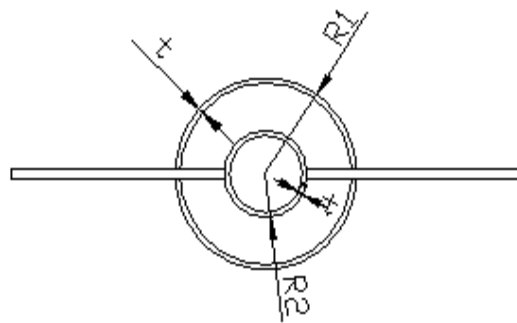
معماری نیز در دهانه مهاربند مواجه خواهد بود. در این مقاله به بررسی افزایش توان باربری حلقه با استفاده از حلقه های فولادی متحدالمرکز شکل پرداخته شده است، تا المان جدید همانند یک فیوز برای محدوده بارهای متنوع عمل کرده و از ورود دیگر اعضای سازه به مرحله غیر خطی جلوگیری نماید. در این مقاله و به منظور رسیدن به این هدف، از حلقه های فولادی متحدالمرکز به شعاع های ۲۱، ۲۲، طول L و ضخامت t در نقطه اتصال بادبند به صفحه فولادی گوشه استفاده شده است (شکل ۱.الف)). در شکل (۱.ب) نحوه قرار گیری المان پیشنهادی در قاب مهاربندی شده نشان داده شده است. طراحی طول (شکل ۲)، قطر و ضخامت حلقه ها تابع نیروی محوری مورد انتظار از بادبند است، ضمن آنکه طراحی حلقه های فولادی به گونه ای خواهد بود که قبل از وقوع کماتش در عضو فشاری بادبند، المان پیشنهادی تسلیم شود و ضمن جذب انرژی مناسب از کماتش بادبند جلوگیری کند [۵].

## ۲. مشخصات هندسی و مکانیکی اعضاء

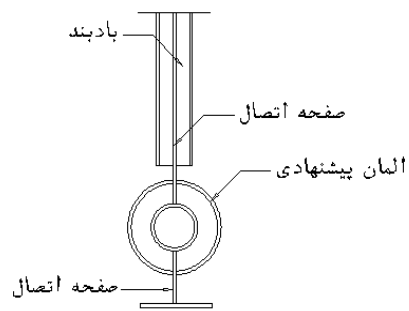
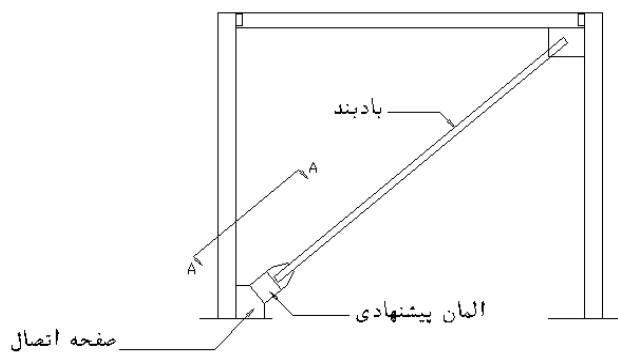
حلقه کوچک مورد استفاده از جنس لوله های مانیسمان (بدون درز) با قطر ۱۰ cm است و حلقه بزرگتر از همان جنس ولی بصورت دو نیم حلقه با قطر ۲۲ cm می باشد. ضخامت هر دو حلقه کوچک و بزرگ ۱/۲ و طول آنها ۱۴ سانتی متر می باشد [۵].

جدول ۱- مشخصات مکانیکی اعضا

	$\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	$\epsilon_u$	$F_y$ $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	$F_u$ $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$
		/		
St		/		

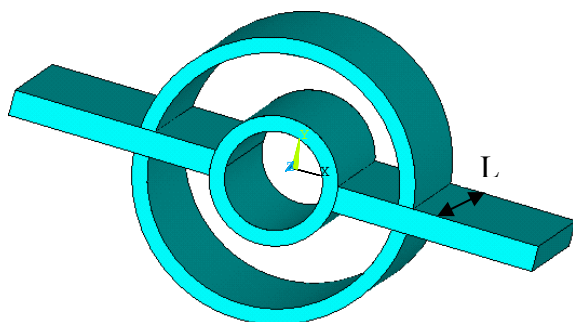


شکل ۱. الف - نمای المان پیشنهادی



view A-A

شکل ۱. ب - نحوه قرارگیری مدل پیشنهادی در بادبند

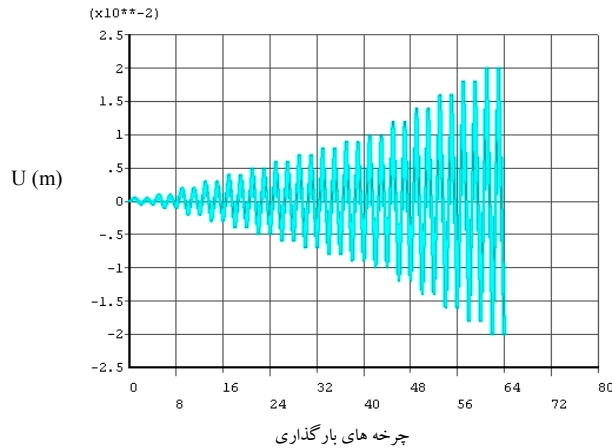


شکل ۲ - مدل پیشنهادی

### ۳. مدل سازی و مطالعه عملکرد المان

به منظور بررسی عملکرد المان زیر اثر بارهای رفت و برگشت زلزله، ابتدا حلقه به تنهایی و سپس مدل پیشنهادی با مشخصات ذکر شده و به صورت سه بعدی در نرم افزار Ansys مدل شد.

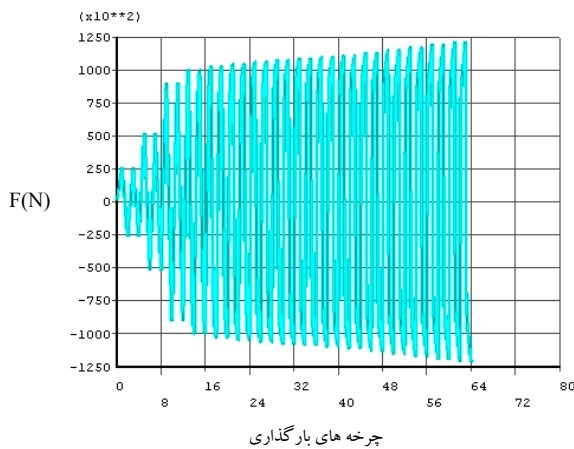
از المان ۱۸۵ solid که یک المان سه بعدی و دارای ۸ گره که هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی میباشد برای مدل سازی استفاده شده است. این المان قادر است کلیه تنشها، نیروهای داخلی، بارگذاری داخل و خارج صفحه را در تحلیل های غیرخطی نشان دهد. برای مدل سازی منحنی تنش کرنش و نحوه سخت شوندگی اعضا از مدل تنش کرنش چند خطی کینماتیک (multilinear kinematic hardening) استفاده شد. از تحلیل استاتیکی غیرخطی برای بررسی رفتار مدل استفاده شد. در شکل ۳ نمودار بارگذاری اعمالی که بر اساس آیین نامه ATC می باشد و از مقادیر کم جابجایی (۰/۵) میلیمتر شروع می شود، نشان داده شده است. [۵].



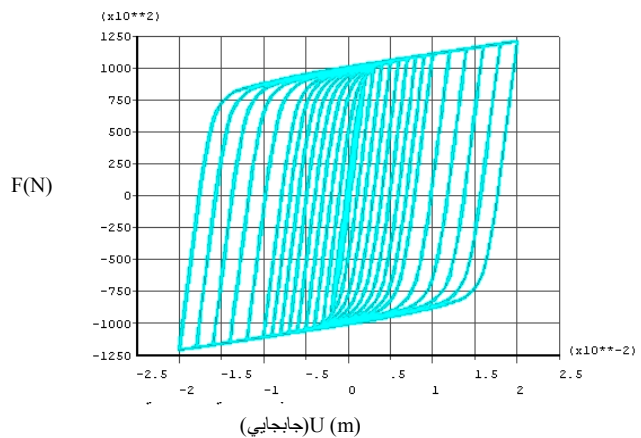
شکل ۳- منحنی جابجایی اعمالی

### ۳-۱. نتایج و منحنی هیستریسیس حلقه

حلقه فولادی به قطر ۲۲، ضخامت ۱/۲ و طول ۱۴ سانتیمتر به طوری که توصیف گردید در برنامه Ansys مدل سازی شده و تحت بارهای رفت و برگشت قرار گرفت. منحنی هیستریسیس بار تغییر مکان حلقه در شکل (۴) و منحنی پاسخ نیرو به جابجایی القاء شده در شکل (۵) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده میشود منحنی هیستریسیس دارای حلقه های پهن است و نشان دهنده میزان قابلیت جذب انرژی توسط حلقه است.

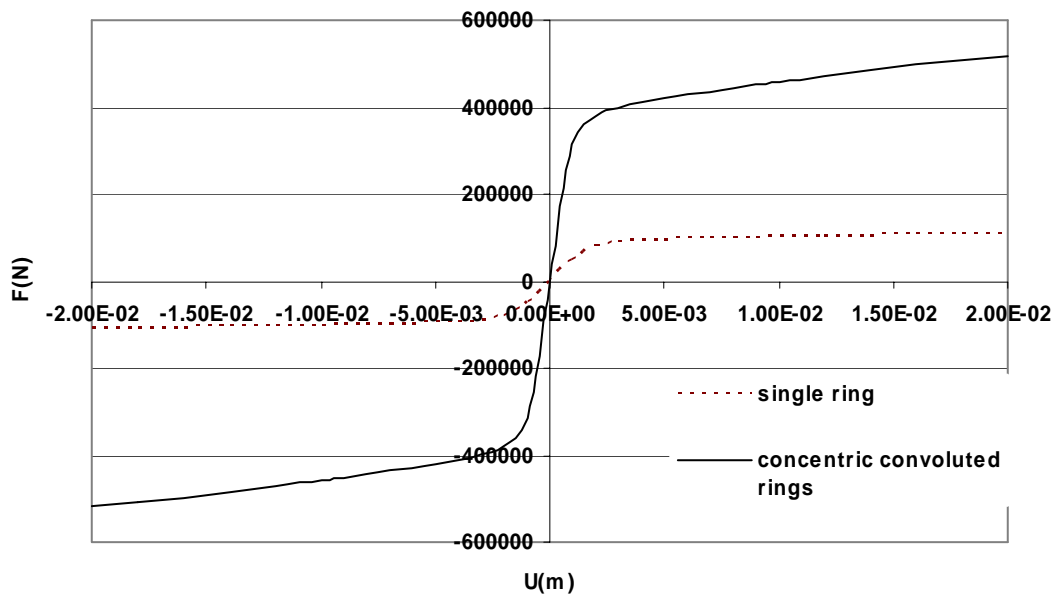


شکل ۵- پاسخ نیرو به جابجایی اعمالی



شکل ۴- منحنی هیستریسیس حلقه

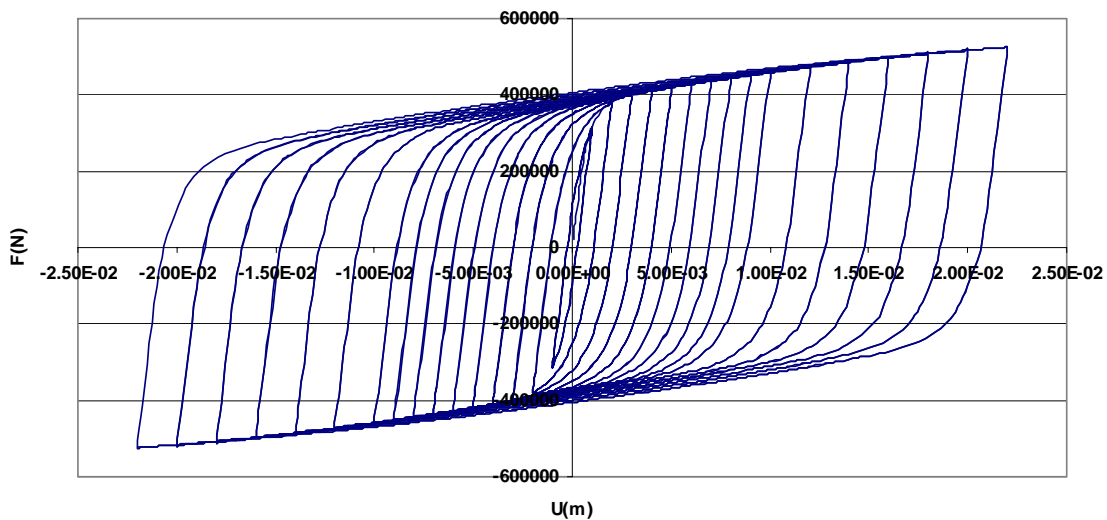
منحنی نیرو - تغییر قطر حلقه که از منحنی هیسترسیس بدست آمده در شکل (۶) مشاهده می شود. اولین مفصل پلاستیک در بار ۸۹ KN تشکیل شده است و مدل در آخرین پله بارگذاری توانسته است نیروی ۱۱۷/۷ KN را تحمل کند. نتایج بدست آمده با نتایج آزمایشگاهی مندرج در مرجع [۶] مطابقت دارد.



شکل ۶- منحنی نیرو - تغییر مکان

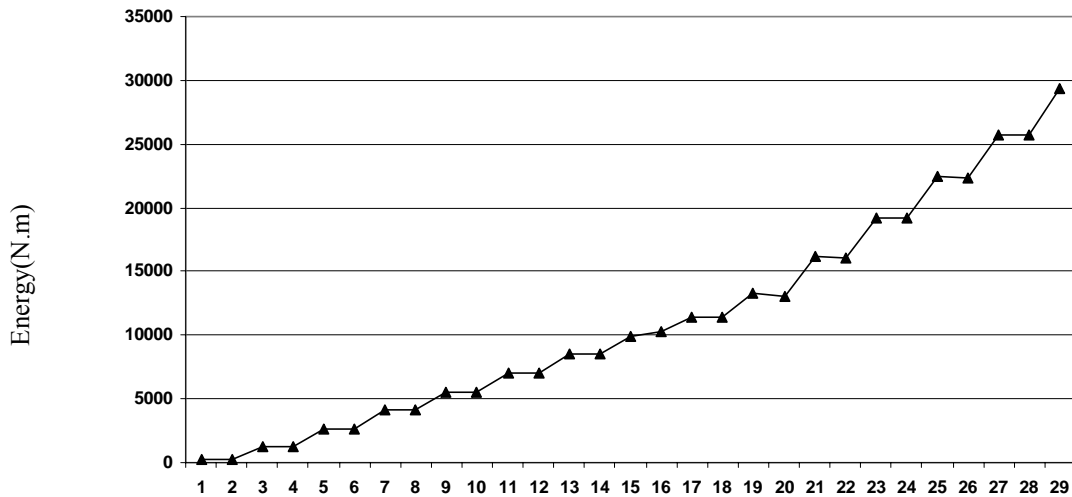
### ۲-۳. نتایج و منحنی هیسترسیس المان پیشنهادی

المان مورد نظر به صورتی که توصیف شد در Ansys مدل گردید. منحنی هیسترسیس بار تغییر مکان مدل در شکل (۷) آمده است. منحنی نیرو تغییر مکان المان که از منحنی هیسترسیس بدست آمده در شکل (۶) آمده است.

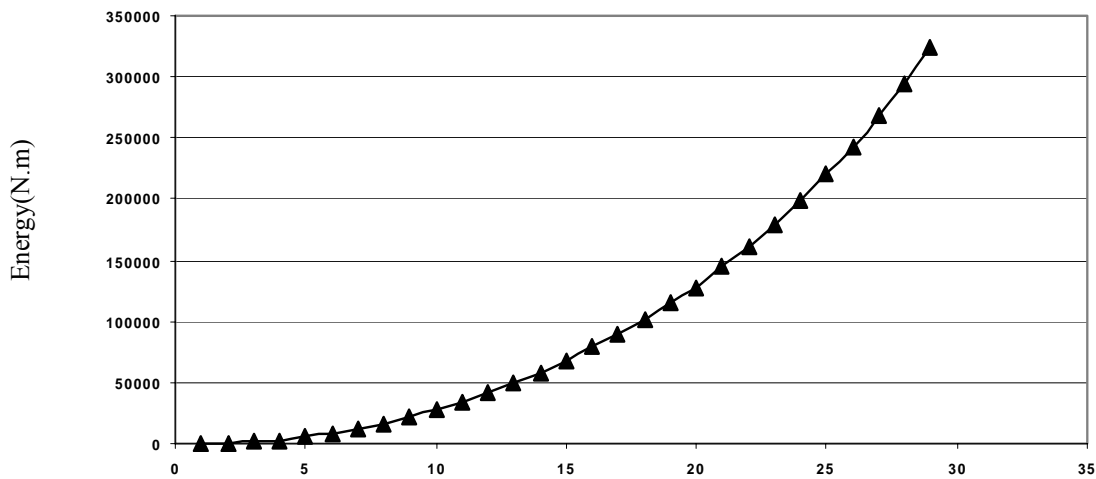


شکل ۷- منحنی هیسترسیس مدل

همانطور که از شکل (۶) مشخص است اولین مفصل پلاستیک حلقه با ضخامت صفحه اتصال ۲سانتیمتر در بار ۳۷۲ KN و در محل اتصال حلقه به صفحه اتصال تشکیل شده است و مدل توانسته است در آخرین پله بارگذاری بار ۵۰۶/۲ KN را تحمل کند. در شکل (۸) منحنی انرژی-چرخه بارگذاری برای مدل پیشنهادی و در شکل (۹) منحنی تغییرات انرژی تجمعی- چرخه های بارگذاری نشان داده شده است [۵].



شکل ۸- منحنی انرژی-چرخه بارگذاری



شکل ۹- منحنی تغییرات انرژی تجمعی- چرخه های بارگذاری

با توجه به شکل های (۸) و (۹) نتایج زیر بدست می آید.  
انرژی در آخرین چرخه الاستیک:

$$E_E = 236 \text{ N.m} \quad (1)$$

انرژی در آخرین چرخه بارگذاری (پلاستیک):

$$E_p = 29326 \text{ N.m} \quad (2)$$

نسبت :

$$\frac{E_p}{E_E} = \frac{29326}{236} = 124.25 \quad (3)$$

مجموع انرژی در ۲ چرخه بارگذاری:

$$\sum_{i=1}^2 E_i = 437.14 \text{ N.m} \quad (4)$$

مجموع انرژی در ۲۹ چرخه بارگذاری :

$$\sum_{i=1}^{29} E_i = 324243 \text{ N.m} \quad (5)$$

متوسط انرژی هر چرخه بارگذاری در ناحیه غیر الاستیک:

$$\overline{E_p} = \frac{\sum_{i=1}^{29} E_i - \sum_{i=1}^2 E_i}{29 - 2} = \frac{324243 - 437}{27} = 11992 \quad (6)$$

متوسط انرژی هر چرخه بارگذاری در ناحیه الاستیک:

$$\overline{E_E} = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i}{2} = \frac{437}{2} = 218.57 \quad (7)$$

نسبت متوسط انرژی غیر الاستیک به متوسط انرژی الاستیک هر چرخه بارگذاری:

$$\frac{\overline{E_p}}{\overline{E_E}} = \frac{11992}{218.57} = 54.68 \quad (8)$$

همانطور که ملاحظه می شود انرژی آخرین چرخه بارگذاری ۱۲۴/۲۵ برابر انرژی آخرین چرخه الاستیک است و متوسط انرژی هر چرخه بارگذاری المان پیشنهادی در آخرین چرخه بارگذاری ۵۴/۶۸ برابر متوسط انرژی هر چرخه بارگذاری در ناحیه الاستیک است. این مقایسه بیانگر قابلیت بسیار بالای حلقه در جذب انرژی زلزله و استهلاک آن است.

نسبت انرژی پلاستیک در آخرین چرخه بارگذاری برای مدل پیشنهادی به حلقه تنها با قطر ۲۲ سانتیمتر:

$$\frac{(E_p)_{model}}{(E_p)_{D=22cm}} = \frac{29326}{6558.47} = 4.47 \quad (9)$$

همانطور که ملاحظه می شود مقدار جذب انرژی ۴,۴۷ برابر شده است که بیانگر افزایش شکل پذیری است [۵].

#### ۴. نتیجه گیری

در این مقاله سعی بر آن بود که افزایش شکل پذیری مهاربندهای هم محور با استفاده از عضوی انجام شود، که ضمن دارا بودن کارایی و قابلیت مناسب، امکان تهیه و نصب آن در انتهای انواع مهاربندهای هم محور مقدور باشد. مطالعات تحلیل صورت گرفته نشان داد که: افزایش ظرفیت المان حلقوی شکل پذیر با استفاده از اعضاء حلقوی متحدالمرکز شکل پذیر امکان پذیر است و به علت شکل پذیری این المان و جذب انرژی بالای آن می توان قسمت عمده ای از جذب انرژی پلاستیک سازه را از این اعضاء انتظار داشت. با توجه به آنکه ظرفیت المان وابسته به ضخامت و جنس حلقه ها و صفحات اتصال می باشد، طراحی برای بارهای متنوع امکان پذیری باشد. با توجه به اینکه حداکثر نیروی وارده به مهاربند برابر حداکثر نیروی قابل تحمل توسط المان می باشد، می توان طوری طراحی مهاربند و المان را انجام داد تا از عدم کماتش مهاربند اطمینان حاصل کرد. المان پیشنهادی اجرای بسیار ساده ای داشته و نیاز به نیروی متخصص برای استفاده در سازه را ندارد.

#### ۵. مراجع

- [۱] T.Balendra, (۱۹۹۷), "Large-Scale Seismic Testing of Knee-Brace-Frame", JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING, January ۱۹۹۷, p.p ۱۱-۱۹.
- [۲] Ming-Hsiang Shih, Wen-Pei Sung, (۲۰۰۴), "A model for hysteretic behavior of Rhombic low yield strength steel added damping and stiffness", journal of computers and structure ۸۳(۲۰۰۵) ۸۹۵-۹۰۸
- [۳] Keh-Chyuan Tsai, M.EERI, Huan-Wei Chen, (۱۹۹۳), "Design of steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic-Resistant Construction", journal of Earthquake spectra, vol.۹, no.۳.
- [۴] عباس نیا، ر، و تو، م-ق و کافی، م-ع، ۱۳۸۴، "بررسی عملکرد المان شکل پذیر در بادبندهای هم مرکز قابهای فولادی"، هفتمین کنگره بین المللی عمران.
- [۵] مژگانی، ا.، "بررسی رفتار اعضاء حلقوی متحدالمرکز شکل پذیر"، ۱۳۸۷، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [۶] کافی، م.ع.، "بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی تاثیر حلقه فولادی بر کل پذیری مهاربندهای هم محور" ۱۳۸۷، پایان نامه دکتری مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.