اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه ای
1st International Congress on Seismic Retrofitting

کد مقاله :۷۴۳
نوع ارائه : شفاهی

بررسی شکل پذیری و جذب انرژی قابهای مهاربندی شده هم مرکز با مکانیزم المان حلقه توسط تحلیل استاتیکی غیرخطی

محمد قاسم وتر
Ph.D، عضو هیئت علمی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
vetr@iiees.ac.ir

منصور قلعه‌نوی
Ph.D، عضو هیات علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

پیمان رشیدی طرقی
Msc، کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه

چکیده

در این مقاله، به بررسی رفتار نوع جدیدی از مستهلک کننده‌های انرژی که جهت شکل‌پذیر کردن سیستم قابهای با مهاربندی هم‌مرکز *(CBF)* بکار می‌رود،توسط تحلیل استاتیکی غیرخطی پرداخته میشود. اساس کارکرد این حلقه‌های شکل‌پذیر جلوگیری از کمانش مهاربندها می‌باشد. بدین منظور حلقه های شکل‌پذیر باید به نحوی طراحی گردند که قبل از آنکه مهاربند به بار بحرانی کمانشی خود برسد به تسلیم رسیده و به جذب و استهلاک انرژی ورودی زلزله به سازه بپردازند. هنگام وقوع زلزله، عضو مستهلک کننده قسمت قابل توجهی از انرژی ورودی به سازه را با ورود به مرحله غیر خطی و تشکیل مفاصل پلاستیک مستهلک می نماید. با این روش از ورود دیگر اعضای سازه به مرحله غیر خطی و همچنین کمانش اعضای مهاربندی جلوگیری شده یا بتعویق می‌افتد. از مهمترین اهداف این مطالعات شکل‌پذیر کردن هرچه بیشتر قابهای*CBF* با بکارگیری هزینه‌های اقتصادی ارزان و کاربرد حلقه‌های شکل‌پذیر در مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد. هدف از این تحقیق مشخص کردن چگونگی جذب و استهلاک انرژی ورودی به سازه وتعیین میزان شکل پذیری و ضریب رفتار سازه می باشد.

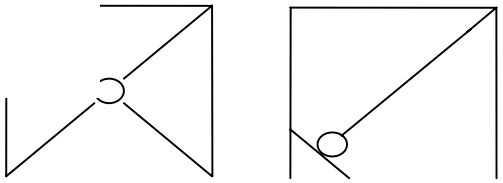
واژه های کلیدی : مهاربند *CBF*، مستهلک کننده انرژی تسلیمی، شکل‌پذیری، هیسترتیک،ضریب رفتار، تحلیل استاتیکی غیر خطی

۱- مقـدمـه

قابهای ساختمانی با اتصالات ساده و مهاربندهای هم مرکز از متداولترین قابهای مورد استفاده در مناطق شهری ایران می‌باشد. مزایایی همچون سادگی طراحی و اجرا و هزینه‌های اقتصادی پایین در ساخت، کاربرد آنرا روزافزون ساخته‌است؛ از طرفی مطالعات چند سال اخیر و بازدیدهای پس از زلزله‌های بزرگ ثابت کرده که این گونه قابها از شکل‌پذیری مناسبی برخوردار نیستند. در این مقاله با ارائه یک راه حل نسبتا مناسب و ارزان‌قیمت به کمک حلقه*ای فولادی به* شکل‌پذیر کردن این نوع از قابها پرداخته شده‌است. عضو مستهلک کننده با جذب قسمت عمده انرژی زلزله، از ورود اعضاء مهاربندی به مرحله پلاستیک و کمانش جلوگیری می‌کند.

۲- معرفی حلقه بعنوان مستهلک کننده انرژی و کاربرد آن در مهاربند

حلقه استفاده شده در این تحقیق برشهای عرضی از لوله‌های مانسمان که بدون درز است می‌باشد. با توجه به اینکه حداکثر نیروی ورودی به مهاربند، برابر حداکثر ظرفیت باربری عضو ضعیفتر است؛ می‌توان مهاربند و حلقه را طوری طراحی کرد که نیروی $(P_{C\text{-}ring})$ که باعث تسلیم حلقه و ورود آن به مرحله پلاستیک می‌شود از نیروی کمانشی مهاربند $(P_{cr}=1.7\ f_a\ A)$ کمتر باشد.$P_{C\text{-}ring}<Pcr$. بدیهی است جهت نیل به اهداف فوق، خود حلقه می‌بایست تحمل تغییر شکلهای مورد نیاز سازه (شکل‌پذیری نیاز) را داشته باشد.

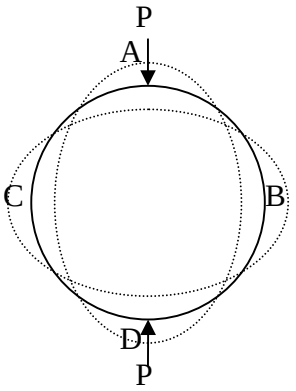


شکل ۱: طرح پیشنهادی برای استفاده از حلقه درقابهای بادبندی هم مرکز *[1]*

۳- تحلیل مقاومت یک حلقه تحت بارهای جانبی

۳-الف-ناحیه الاستیک

نحوه باربری و توزیع نیروهای خمشی و برشی در یک حلقه الاستیک در کتب مقاومت مصالح آمده است.این نیروها وجابجاییها برای یک حلقه به شعاع R و تحت نیروی P به صورت شکل زیر است.[۳]



$$M_A=M_D=P.R/\pi=M_{max}$$
$$M_B=M_C= -P.R(1/2-1/\pi)$$
$$\Delta_V=-PR^3/EI.(\pi/4-2/\pi)\sim=-0.1488PR^3/EI$$
$$\Delta_H= PR^3/EI.(2/\pi-1/2) \sim=0.1366PR^3/EI$$

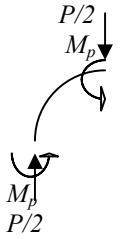
همانطور که در شکل و روابط فوق دیده می‌شود لنگر حداکثر در نقطه A و D(زیر بار متمرکزPمیباشد)، در هنگام فشار لنگر در این دو نقطه مثبت و در نقاط B و C منفی است. پس انتظار می‌رود که ابتدا در نقاط A و D و سپس در B و C مفاصل پلاستیک تشکیل شود. نقطه شکست نیز احتمالا در A یا D خواهد بود. تحت بار P نقاط روی محیط داخلی و خارجی حلقه جابجایی یکسان دارند اما محیط خارجی بزرگتر از محیط داخلی است، بنابراین انتظار میرود که کرنش محیطی روی محیط داخل بزرگتر از محیط خارج باشد. به همین ترتیب تنشهای محیطی داخل حلقه بزرگتر از تنشهای محیطی خارج آن بوده و بدینسان انتظار می‌رود شکست از داخل شروع و به محیط خارجی برسد.

۳-ب- در ناحیه پلاستیک

برای بدست آوردن نیروی حداکثر P در حالت پلاستیک مراحل بارگذاری را بصورت گام به گام بررسی می‌کنیم. همانطور که قبلا ذکر شد لنگر حداکثر در نقاط A,D یعنی در زیر محل اعمال بار بوجود می‌آید. پس اول این نقطه به مقدارMp برابر $Z.Fu$ می‌رسد. محاسبه $Pmax$ هنگامی که در مقاطع بحرانی (A,B,C,D) ٤ مفاصل پلاستیک تشکیل شود به قرار ذیل می باشد *[1]*:

$$\Sigma M_A = 0 \;\Rightarrow\; 2M_p - \frac{P}{2}.R = 0 \;\Rightarrow\; P = \frac{4M_p}{R}$$

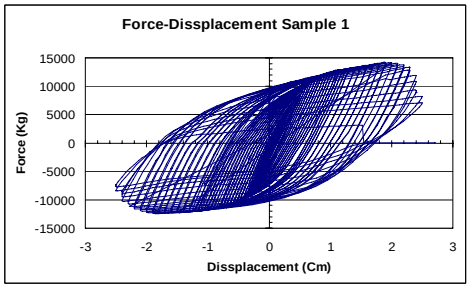
$$M_p = Z.F_u = (bt^2/4).F_u \Rightarrow P = \frac{bt^2.F_u}{R}$$

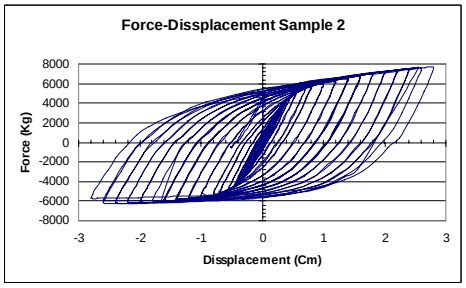


که در آن b,t به ترتیب پهنا و ضخامت حلقه میباشند.

٤-آزمایش بارگذاری چرخه‌ای حلقه‌های مستهلک کننده انرژی

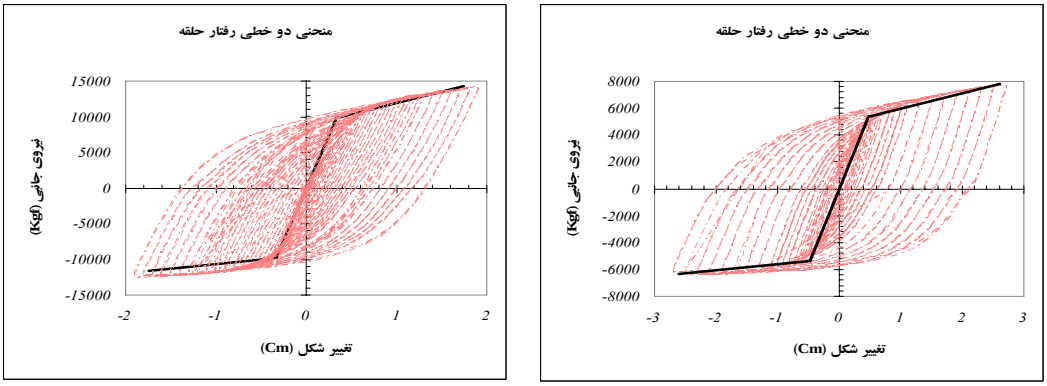
٤ آزمایش بر روی ٤ نمونه حلقه یکی به قطر خارجی ۲۲ سانتیمتر، ضخامت ۱/٤ سانتیمتر، عمق ۱۱ سانتیمتر و سه تای دیگر به قطر خارجی ۲٤/٥ سانتیمتر، ضخامت ۱/۲ سانتیمتر، عمق ۹/۷ سانتیمتر و از جنس لوله‌های مانسمان انجام شد.بارگذاری بصورت چرخه‌ای و افزایشی تا شکست کامل عضو ادامه پیدا کرده واطلاعات مربوط به نیرو و جابجایی آن توسط دستگاه ضبط شده‌است. شکل۳ تصاویری از تغییر شکل نمونه زیر بار هنگام کشش، فشار و زمان شکست وشکل ۲ نمودار نیرو-تغییرمکان بدست آمده از آزمایش نمونه ها را نشان می‌دهد.





شکل ۲: نمودار هیسترزیس حاصل از آزمایشها *[1]*.

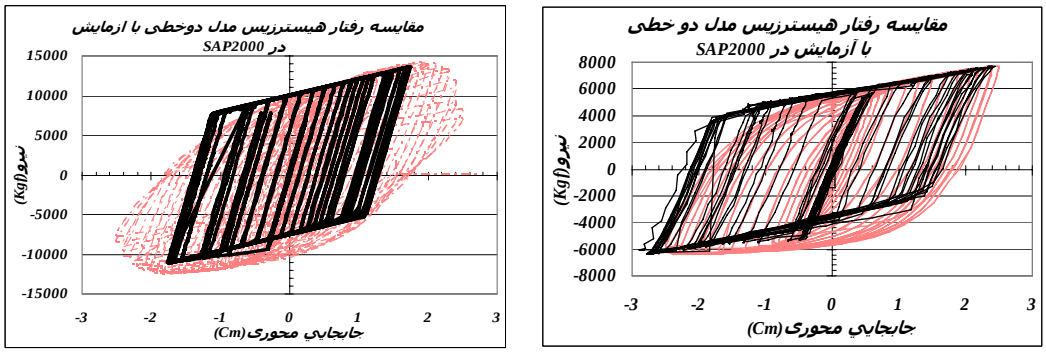
۵- شبیه‌سازی رفتار حلقه با مدل دو خطی



شکل ۳: نمایش مدل دوخطی رفتار حلقه و آزمایش *[1]*

از آنجا که مدلسازی دقیق رفتار غیر خطی المانها دربرنامه‌های کامپیوتری مشکل می‌باشد سعی بر آنست که از مدلهای دو یا چند خطی استفاده شود. درمورد رفتار حلقه‌ها بدلیل تفاوت رفتار آن در کشش و فشار می‌بایست از دو مدل رفتاری دوخطی برای این دو ناحیه بهره جست. بدین منظور ابتدا با استفاده از نتایج تست وشکلهای منحنیهای هیسترزیس دو شیب متفاوت برای سختی ناحیه پلاستیک(Kp) در کشش (۱۰٪ سختی اولیه) و در حالت فشار (٤٪ سختی اولیه) فرض میشود .با استفاده از روابط ارائه شده در ناحیه الاستیک سختی ها بصورت زیر تعیین میگردد.رکشش $K'_T= 0.10Ke$ & درفشار $K'_C=0.04Ke$ $(4\pi)/(\pi^2-8)$ $Ke=EI/R^3$&

برای مقایسه مدل دو خطی ارائه شده رفتار حلقه، مدلسازی حلقه‌های آزمایش شده را با لینک کینماتیک پلاستیک در *SAP2000* انجام و با نتایج آزمایش مقایسه می‌کنیم.



شکل ۳: مقایسه رفتار هیسترزیس مدل دو خطی در *SAP2000* و آزمایش *[1]*

٦-محاسبه شکل پذیری وضریب رفتار (R_W)

با استفاده از طیفهای ظرفیت میتوان میزان نقطه عملکرد، شکل پذیری و ضریب رفتار سازه را بدست آورد. میزان شکل پذیری (μ) بر اساس تغییر مکان نهایی بر تغییر مکان تسلیم سازه بدست می آید: $\mu = \frac{\Delta_U}{\Delta_Y}$ پس ار بدست آمدن نقطه عملکردی شکل‌پذیری نیاز از تغییر مکان نقطه عملکردی بدست می‌آید.

ضریب رفتار(R_W) سیستم سازه های مهار بندی هم مرکز با مکانیسم حلقه شکل پذیر را می توان با استفاده از روشهای ارائه شده در آیین نامه های معتبری نظیر *ATC-40[5]* بدست آورد. بر اساس *ATC-40* ضریب رفتار(R_W) یک سیستم لرزه بر برابر خواهد بود با :

$$R_W = R_S R_\mu R_d$$

در رابطه فوق R_S ، R_μ و R_d *بترتیب* ضریب اضافه مقاومت، ضریب کاهش بعلت شکل پذیری و ضریب تفاوت نیروهای حدی و مجاز میباشند. $R_d=1.4$ اختیار میشود.

منحنی ظرفیت سازه همراه با طیف پاسخ الاستیک ۵٪ میرایی آئین نامه روی نمودار واحدی که به صورت جابجایی طیفی در برابر شتاب طیفی (فرمت *ADRS*) است ، رسم شده سپس نقطه عملکرد سازه برای طیف پاسخ نیاز مشخص شده بدست می آید . جابجایی این نقطه، ماکزیمم جابجایی مورد انتظار سازه تحت اثر زلزله‌ای است، که طیف پاسخ آن توسط آئین نامه مشخص شده است[۵]..

٦-الف ضریب رفتار(R_W) یک قاب مهاربندی هم مرکز معمولی

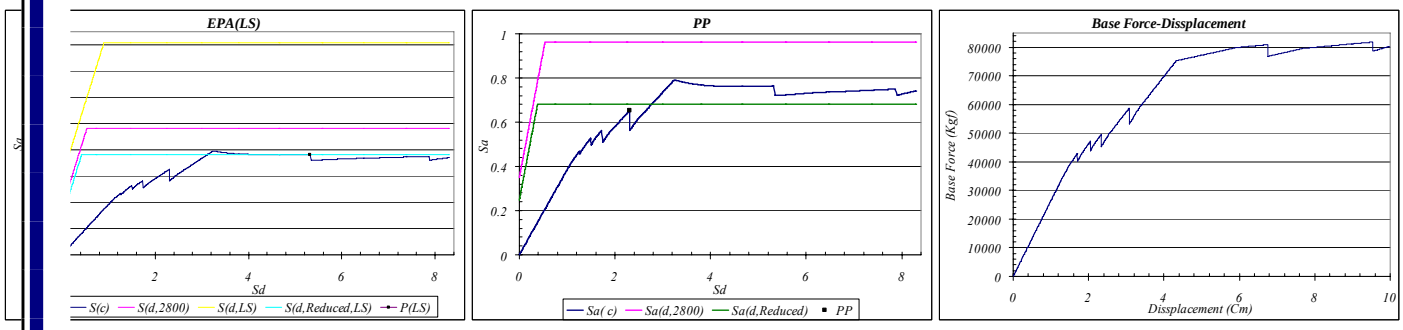
با توجه به مطالب فو ق ابتدا ضریب رفتار یک قاب فولادی مهاربندی ٤ طبقه هر کدام به ارتفاع ۳ متر و ۳ دهانه به طولهای ٦ متر وسپس جهت مقایسه اثرات بکار گیری حلقه در ضریب رفتار همان قاب مجهز به حلقه شکل پذیر بررسی میگردد.جهت انجام این مطالعه از برنامه *SAP2000*، *V9.03* استفاده شده‌است.

بار مرده ۱۹۰۰ کیلوگرم بر متر و بار زنده ۵۰۰ کیلوگرم بر متر در نظر گرفته شده‌است. تیرها *IPE300*، ستونها از *IPB*، و بادبندها از نبشی دوبل انتخاب شده‌است.

طراحی بادبندها ضعیف است تا احتیاج به مقاوم سازی باشد. مفاصل پلاستیک توسط جداول ارائه شده در *FEMA273* در بادبندها تعریف شده‌اند. بارگذاری جانبی در تحلیل بر اساس مد اول انجام شده‌است. ظرفیت الاستیک فشاری و کششی مفاصل محوری استفاده شده در تحلیل بصورت زیر می‌باشد:

$$P_c=1.7 f_a A \quad \& \quad P_t=F_y A$$

نتایج تحلیل بار افزون، تبدیل آن به فرمت *ADRS* و محاسبه V_e در ادامه آورده شده‌است.همانطور که دیده میشودشکل *c* برش پایه *(Kgf)*، در مقابل جابجایی بام *(Cm)* یا طیف ظرفیت سازه، شکل *b* طیف شتاب استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش دوم برای خاک نوع *I* و طیف ظرفیت سازه را در فرمت *ADRS* و شکل *a* طیف شتابی که نقطه Δ_{LS} و V_{LS} نقطه عملکردی آن باشد را نمایش می‌دهد.



a *b* *c*

شکل c برش پایه (Kgf)، در مقابل جابجایی بام (Cm) یا طیف ظرفیت سازه، شکل b طیف شتاب استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم برای خاک نوع IV و طیف ظرفیت سازه را در فرمت $ADRS$ و شکل a طیف شتابی که نقطه Δ_{LS} و V_{LS} نقطه عملکردی آن باشد را نمایش می‌دهد.

همانطور که از اشکال بالا مشخص است مشخصات نقطه عملکردی روی طیف ظرفیت بصورت زیر است:

Sd(C,PP)	Sa(C,PP)	Dis(C,PP)	V(C,PP)	Sa(D,PP)
3.423	0.786	4.5366	72863.3	0.9625

همچنین مشخصات Δ_{LS} و V_{LS} روی طیف ظرفیت بصورت زیر است

Sd(C,LS)	Sa(C,LS)	Dis(C,LS)	V(C,LS)	Sa(D,LS)
5.622	0.766	7.1468	80203.5	1.22987

$V_e=S_a.W=141696$ و از آنجا $R_\mu=V_e/V_{LS}=1.77$ و $R_s=V_{LS}/V_y=1.38$ آنگاه $R_u=R_\mu.R_s=2.44$ و در نهایت $R_u=3.42$ $R_w=1.4$ بدست می‌آید.

۷-ب ضریب رفتار (R_W) یک قاب مهاربندی هم مرکز مجهز به حلقه فولادی شکل پذیر

در این قسمت ضریب رفتار همان قاب فولادی مهاربندی مثال قبل که مجهز به حلقه فولادی مستهلک کننده انرژی شده محاسبه و ارائه شده‌است.

با توجه به ظرفیت فشاری الاستیک بادبند، $P_c=1.7 f_a A$، حلقه‌ها طوری طراحی می‌شوند که حداکثر ظرفیت پلاستیک آنها کمتر از P_c باشد و بمنظور حصول شکل پذیری لازم حلقه‌هایی طراحی شود که توانایی تحمل تغییر شکلهای معادل ۰/۰۲ ارتفاع طبقه را تقریبا داشته باشد

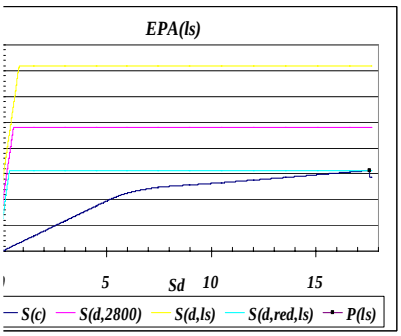
در هر بادبند با مقاطع $2L100\times75\times10/20$ (I)، $2L100\times75\times10/10$ (II)، $2L100\times75\times10/10$ (III)، $2L80\times65\times10/10$ (IV)، دو حلقه به قطر 30^{Cm} و به ضخامت 1.6^{Cm} و عرض هر کدام بترتیب 30^{Cm}، 23^{Cm}، 17^{Cm}، 9^{Cm} در نظر گرفته شده‌است. نتایج تحلیل پوش آور و تبدیل آن به فرمت $ADRS$ و محاسبه V_e در ادامه آورده شده‌است.

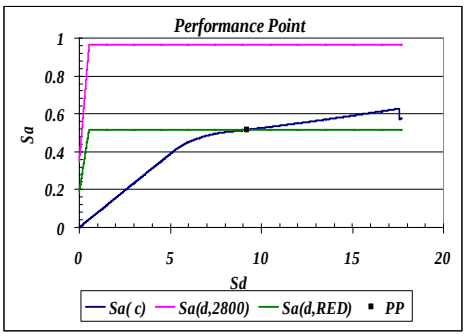
همانطور که از اشکال ذیل مشخص است مشخصات نقطه عملکردی روی طیف ظرفیت بصورت زیر است

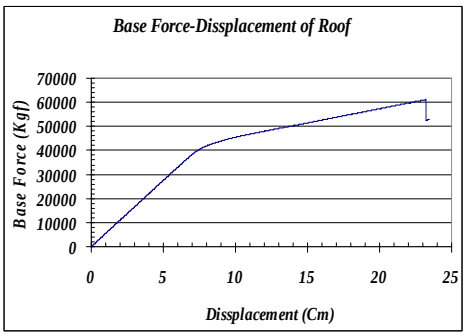
Sd(C,PP)	Sa(C,PP)	Diss(C,PP)	V(C,PP)	Sa(D,PP)
9.47	0.52	12.7897	47681	0.9625

همچنین مشخصات Δ_{LS} و V_{LS} روی طیف ظرفیت بصورت زیر است

Sd(C,LS)	Sa(C,LS)	Diss(C,LS)	V(C,LS)	Sa(D,LS)
15.781	0.598	21.0896	57223.2	1.35668







a b c

شکل c برش پایه (Kgf)، در مقابل جابجایی بام (Cm) یا طیف ظرفیت سازه، شکل b طیف شتاب استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم برای خاک نوع IV و طیف ظرفیت سازه را در فرمت $ADRS$ و شکل a طیف شتابی که نقطه Δ_{LS} و V_{LS} نقطه عملکردی آن باشد را نمایش می‌دهد.

$V_e=S_a.W=156290$ و از آنجا $R_\mu=V_e/V_{LS}=2.73$ و $R_s=V_{LS}/V_y=1.41$ آنگاه $R_u=R_\mu.R_s=3.86$ و در نهایت $R_u=5.4$ $R_w=1.4$ بدست می‌آید.

همانطور که از نتایج بندهای الف و ب فوق بر می آید ضریب بدست آمده برای قاب ساختمانی با مهاربندی هم مرکز معمولی پایین تر از ضریب رفتار پیشنهادی توسط آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران میباشد.در مقابل ضریب رفتاری قاب ساختمانی با مهاربندی هم مرکز مجهز به حلقه شکل پذیر نزدیک $R_w=6$ میباشدکه 1.5 برابر حالت مقاوم سازی نشده است.

- نتیجه‌گیری

منحنیهای هیسترزیس آزمایشها تا اواخر آزمایش نسبتا پایدار بوده اند بعد از کمانش حلقه نیز تحمل خوبی در تغییر شکل بدون افت نیرو داشته‌اند و میزان شکل پذیری خوبی از خود نشان داده‌اند. بعلت شکل‌پذیری خوب حلقه ها و جذب انرژی بالای آن می‌توان قسمت عمده‌ای از جذب انرژی پلاستیک سازه را از این اعضاء انتظار داشت

با توجه به اینکه در طراحی ایده حداکثر نیروی وارده به مهاربند برابر حداکثر نیروی قابل تحمل حلقه رعایت شده است، می‌توان طوری طراحی مهاربند و حلقه را انجام داد تا از عدم کمانش مهاربند اطمینان حاصل کرد..

از آنجاکه حلقه در فشار، خود کمانش غیرخطی داشته و با افزایش جابجایی، نیرو تغییر نمیکند رفتاری بسیار مناسب و هماهنگ با مهاربند خواهد داشت به این ترتیب که در حالتی که دو عضو حلقه و مهاربند در فشارند حلقه قبل از مهاربند کمانش کرده و نیروی محوری در مهاربند ثابت می‌ماند ولی در کشش که تحمل مهاربند تا رسیدن به مرحله غیرخطی بیشتر است، حلقه نیز از خود مقاومت بیشتری نشان می‌دهد و به‌این ترتیب حداکثر جذب انرژی را خواهیم داشت.

استفاده از حلقه‌های مستهلک کننده انرژی باعث جذب انرژی ورودی زلزله توسط حلقه‌ها شده و با کم شدن برش پایه و ازدیاد جابجایی طبقات زلزله را کنترل می‌کند.در نقطه عملکرد سازه‌ها دیده شد که برشهای پایه در دو حالت حدود ۱/۵ برابر تفاوت دارند که این امر هم نشان دهنده کم شدن نیروهای داخلی اعضا می‌باشد.

با توجه به نسبت بدست آمده از ضریب رفتارهای دو سازه احتمالا ضریب رفتار سازه‌های مجهز به حلقه‌های مستهلک کننده انرژی را می‌توان حدود ۹ در نظر گرفت. توجه به این نکته لازم است که ضریب رفتار بالا، شکل‌پذیری نیاز را نیز بالا می‌برد.

از مزایای دیگر سیستم پیشنهادی میتواند کاربرد ساده وارزان آنها در مقاوم سازی لرزه ای کلیه سیستمهای ساختمانی علی الخصوص قابهای با مهار بندی هم مرکز میباشد.

ستونهای طبقه دوم سازه اصلی در نقطه نهایی خود (حد ایمنی جانی) در آستانه ورود به مرحله غیر خطی قرار می‌گیرند که بعلت نزدیکی نقطه عملکرد و حد ایمنی جانی در این سازه انتظار می‌رود در زلزله‌های شدید این ستونها پایداری خود را از دست بدهند. اما در سازه تقویت شده حد نهایی را کمانش بادبند طبقه چهارم کنترل می‌کند و بعلت دور بودن نقطه حد ایمنی جانی و نقطه عملکرد بازه خوبی را برای حصول اطمنان از عملکرد مناسب سازه تقویت شده بدست می‌دهد.

افزایش شکل‌پذیری و ضریب شکل‌پذیری نقطه عملکرد و نهایی سازه در حالت تقویت شده دیده می‌شود، در نتیجه سازه زلزله را با جابجایی بیشتر و کاهش انرژی ورودی و برش پایه کنترل می‌کند.

کمتر شدن نیروی برش پایه باعث کمتر شدن نیروهای داخلی اعضا شد.

کمانش بادبندهای تمام طبقات در نقطه عملکردی آن دیده شد در حالیکه در سازه تقویت شده کمانش اولین بادبند نقطه حد ایمنی جانی در نظر گرفته شده است.

مراجع:

[1] **پیمان رشیدی طرقی "مهاربندهای جاذب انرژی با مکانیزم عضو خمشی" پایان نامه کارشناسی ارشد(دانشگاه زاهدان)مهندسی سازه به راهنمایی دکترمحمد قاسم وتر ١٣٨٤.**

[2] **علیرضا رضائیان"بهبود رفتار لرزه ای قابهای مهار بندی شده هم مرکز از طریق شکلپذیر نمودن آنها" پایان نامه کارشناسی ارشد(دانشگاه علم وصنعت)مهندسی سازه به راهنمایی دکترمحمد قاسم وتر, ١٣٨٣.**

[3] S.P.Timoshenko." Theory of elastic stability"2.e.,McGraw-HILL,1982.

[4] A.Poccanschi M.Phocas"Kraefte in Bewegung"Teubner Verlag,2003

[5] Applied Technology Concil "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings" vol 1,vol 2 (ATC-40) ,-1996