

شکل پذیری قابهای مهاربندی شده هم مرکز با مکانیزم المان پیچشی

محمد قاسم وتر^۱، وحید ملصقی^۲

چکیده

در این مقاله، نوع جدیدی از مستهلک کننده های انرژی که جهت شکل پذیر کردن سیستم قابهای با مهاربندی هم مرکز (CBF) بکار می رود، معرفی می شود. اساس کارکرد این المانهای پیچشی شکل پذیر، جلوگیری از کماتش مهاربندها در زمان وقوع زلزله می باشد. بدین منظور المانهای پیچشی شکل پذیر، باید به نحوی طراحی گردند که قبل از آنکه مهاربند به بار بحرانی کماتش خود برسد، به تسلیم رسیده و انرژی ورودی زلزله به سازه را، جذب نموده و آن را مستهلک نماید. هنگام وقوع زلزله، عضو مستهلک کننده قسمت قابل توجهی از انرژی ورودی به سازه را با ورود به مرحله غیرخطی و تشکیل مفاصل پلاستیک مستهلک می نماید. با این روش از ورود دیگر اعضای سازه به مرحله غیرخطی و همچنین کماتش اعضای مهاربندی جلوگیری شده یا به تعویق می افتد. از مهمترین اهداف این مطالعات شکل پذیر کردن هر چه بیشتر قابهای CBF، بوسیله کاربرد المانهای پیچشی شکل پذیر با هزینه های اقتصادی ارزان، در مقاوم سازی لرزه ای اینگونه از سازه ها می باشد. هدف از این تحقیق مشخص کردن مقدار جذب و استهلاک کل انرژی ورودی به سازه و تعیین میزان شکل پذیری و ضریب رفتار سازه قابهای مهاربندی شده هم مرکز با المان پیچشی می باشد.

کلمات کلیدی:

مهاربند، شکل پذیری، مستهلک کننده انرژی تسلیمی، CBF، ضریب رفتار، هیسترتیک

Ductility of Concentrically Braced Frames by Torsional Element Mechanism

Abstract

In this paper a new type of earthquake energy dissipation element has been introduced. The element is supposed to be used as a supplementary element in concentrically braced frames to improve the ductility of the whole system. Such elements usually yields before critically (instability) load of the braced systems. Using this approach, during a strong earthquake cause only this element yields and other frame elements (beams, columns, braces, connections) should be remain in the elastic range of behaviors. The current studies have theoretically and experimentally investigated the application of this special link element.

The importance of such mechanism is the ability of this device in dissipation of the input earthquake energy by using torsional behaviors.

This member could be used as a fuse element in seismic design and rehabilitation of the concentrically braced frames

۱- استادیار گروه دینامیک سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، Vetr@iiees.ac.ir

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، vmolsaghi@yahoo.com

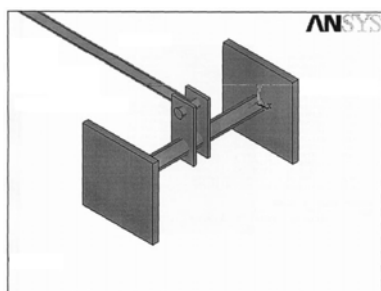
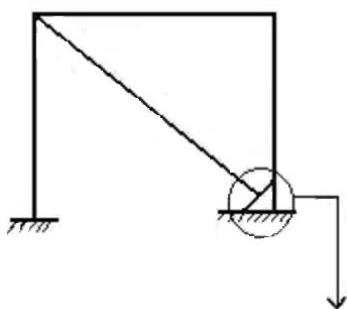
مرکزیت انتهای مهاربند نسبت به صفحه قاب، قرار دارد. با وارد شدن فشار و کشش متوالی در عضو مهاربند، المان پیچشی وارد مرحله پلاستیک شده شروع به جذب انرژی می‌کند. با توجه به اینکه حداکثر نیروی ورودی به مهاربند، برابر حداکثر ظرفیت باربری عضو ضعیف تر است؛ می‌توان مهاربند و المان مذکور را طوری طراحی کرد که نیروی (P_{y-te}) که باعث تسلیم لوله و ورود آن به مرحله پلاستیک می‌شود و از نیروی کماتشی مهاربند که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$(P_{cr} = \pi^2 EI / L^2$$

کمتر باشد. در صورت برقراری شرط ذیل:

$$P_{y-te} < 3/4.P_{cr}$$

بدیهی است جهت نیل به اهداف فوق خود لوله می‌بایست در کلیه مراحل بارگذاری پایدار باقی بماند و دچار هیچ گونه ای از کماتش نشود.



شکل (۱): طرح پیشنهادی برای استفاده از لوله در قابهای بادبندی هم مرکز

۳- تحلیل مقاومت المان پیچشی (لوله) تحت لنگرهای پیچشی ناشی از بارهای جانبی مهاربند
این المان در صفحه بادبند قرار می‌گیرد و از یک انتها به ستون و از انتهای دیگر به تیر متصل می‌گردد. جهت ایجاد لنگر پیچشی در المان مذکور، به انتهای بادبند نسبت به صفحه قاب

قابهای ساختمانی با مهاربندهای هم مرکز و اتصالات ساده از متداولترین قابهای مورد استفاده در ساخت و ساز در ایران می‌باشد. مزایایی همچون سادگی طراحی و اجرا و هزینه های اقتصادی پائین در ساخت، کاربرد آنرا روز افزون ساخته است، از طرفی مطالعات چند سال اخیر و بازدیدهای پس از زلزله ها بزرگ ثابت کرده است که این گونه قابها از شکل پذیری مناسبی برخوردار نیستند[۱]. در این مقاله با ارائه یک راه حل نسبتاً مناسب و ارزان قیمت به کمک المان پیچشی، ضمن فراهم آوردن شکل پذیری مناسب در سختی، به شکل پذیر کردن این نوع از قابها پرداخته شده است. مطالعات مقدماتی بیانگر آن است که کاربرد المان پیچشی در شکل پذیر کردن مهاربندها خصوصاً در مقاوم سازی سازه های موجود می‌تواند کارایی خوبی داشته باشند. عضو مستهلک کننده با جذب قسمت عمده انرژی زلزله، از ورود اعضا مهاربندی به مرحله پلاستیک و کماتش جلوگیری می‌کند.

۲- معرفی المان پیچشی به عنوان مستهلک کننده انرژی و کاربرد آن در مهاربند

پیشنهاد استفاده از المان پیچشی شکل پذیر در قابهای بادبندی هم مرکز در درجه اول بخاطر فراهم آوردن شکل پذیری هر چه بهتر این سیستم و در مراحل بعد بخاطر فراوانی (برشهای عرضی از یک لوله) جزئیات نصب و اجرای ساده در انتهای بادبند امکان تشکیل مفاصل پلاستیک و باز توزیع آن می‌باشد. شکل (۱) پیشنهادهایی برای مکان مناسب نصب مستهلک کننده پیچشی در سازه های بادبندی را نشان می‌دهد. المان پیچشی استفاده شده در این تحقیق از لوله های مانسمان که بدون درز است، می‌باشد. ارزانی و قابل دسترس بودن لوله های مانسمان، جزئیات ساده اجرایی برای قرارگیری لوله در انتهای بادبند، قابلیت مناسب آن در تحمل کرنشهای پلاستیک و شکل پذیری خوب قطعه است از مزایای المان پیچشی مستهلک کننده انرژی می‌باشد. در حالت مورد بررسی فرض براین است که لوله در انتهای بادبند قرار گرفته و تحت یک لنگر پیچشی، ناشی از نیروی محوری بادبند و خروج از

$$dT = \gamma.G.dA.\rho \quad (3)$$

$$r.d\theta = \gamma.dX \Rightarrow \gamma = \rho.\frac{d\theta}{dX} \quad (4)$$

$$dT = \rho.\frac{d\theta}{dX}.G.dA.\rho \quad (5)$$

$$T = \int_A \rho^2.\frac{d\theta}{dX}.G.dA \quad (6)$$

$$T = G.\frac{d\theta}{dX}.\int_A \rho^2.dA = G.\frac{d\theta}{dX}.J \Rightarrow \frac{d\theta}{dX} = \frac{T}{G.J} \quad (7)$$

$$\tau = \gamma.G = \rho.\frac{d\theta}{dX}.G = \rho.\frac{T}{G.J}.G = \frac{T.\rho}{J} \quad (8)$$

$$\Rightarrow \tau_{max} = \frac{T.r}{J} \quad (9)$$

رابطه (9)، برای طراحی و تعیین مقطع المان پیچشی استفاده می‌شود. در این رابطه J لنگر مانند قطبی می‌باشد که برای یک مقطع دایره تو خالی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [4]:

$$\left(J = \frac{\pi.(d_o^4 - d_i^4)}{32} \right) \quad (10)$$

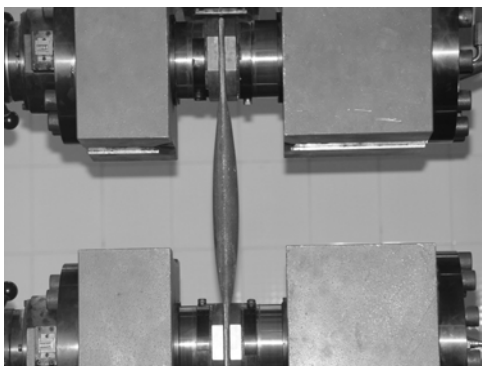
و T لنگر پیچشی، برابر است با:

$$T = P.e \quad (11)$$

که P نیروی داخلی مهاربند و e طول دستک می‌باشد.

۴- آزمایش خواص ماده

بدلیل عدم شناخت مقاومت مصالحی و تنشهای تسلیم و نهایی لوله های مانیسمان مورد استفاده نمونه هایی جهت انجام آزمایش کششی براساس استاندارد آزمایش مواد آمریکا ASTM از طول لوله تست شده اند.



شکل (۳): آزمایش تنش - کرنش جهت تعیین خواص لوله

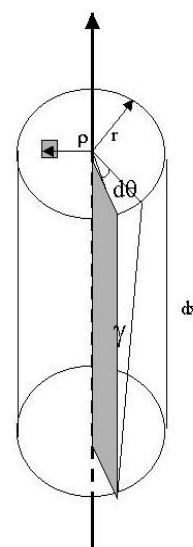
کمی خروج از مرکزیت داده می‌شود و بوسیله یک دستک، انتهای بادبند به وسط المان پیچشی متصل می‌گردد تا به این وسیله بتوان نیروی محوری داخل مهاربند را بصورت لنگر پیچشی به این المان منتقل نمود.

آنچه که در طراحی این المانها مهم می‌باشد این است که طول المان پیچشی طوری انتخاب گردد که اجازه تغییر شکلهای پلاستیک را به المان بدهد و قبل از هر گونه تسلیم دیگری دچار تسلیم پیچشی گردد. این عمل باعث می‌شود که این المان بتواند در ناحیه پلاستیک با ترکیبی از سخت شدگیهای کینماتیک و ایزوتروپیک (Kinematic&Isotropic Hardening) در پیچش به حداکثر ظرفیت باربری خود برسد.

جهت تعیین ابعاد مناسب و طول قابل اجرا برای المان پیچشی، باید مقطع این عضو قبل از رسیدن نیروهای داخلی مهاربند به نیروی کمانش، به مرز پلاستیک و خمیری برسد تا با تغییر شکلهای پلاستیک مانع از کمانش مهاربند شود و از طرف دیگر طول آن به اندازه ای باشد که سختی لازم را فراهم نماید. بنابراین براساس روابط مقاومت مصالح [4]:

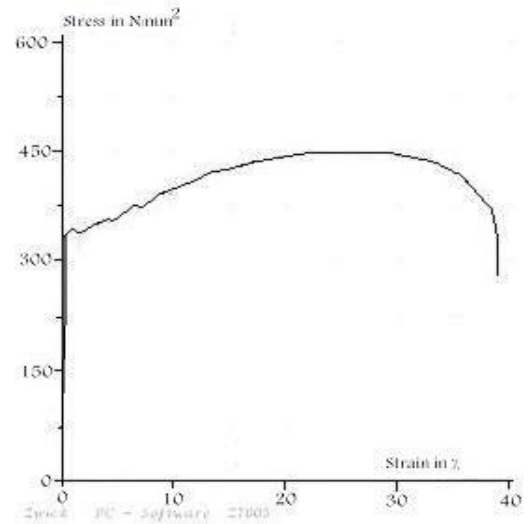
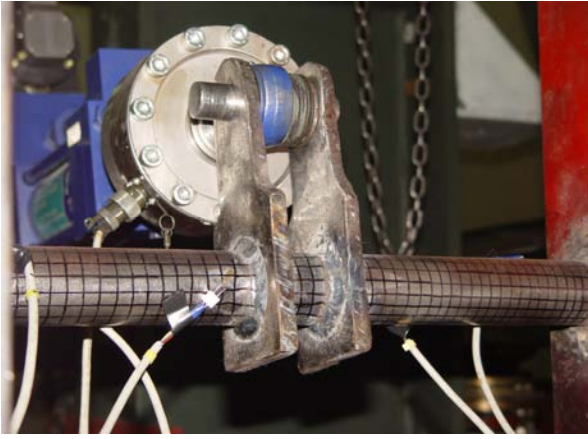
$$dT = (\tau.dA . \rho \quad (1)$$

$$\tau = \gamma.G \quad (2)$$



شکل (۲): تغییرات کرنش در یک میله استوانه ای

تحت تأثیر لنگر پیچشی



ادامه شکل (۳): آزمایش تنش - کرنش جهت تعیین خواص لوله

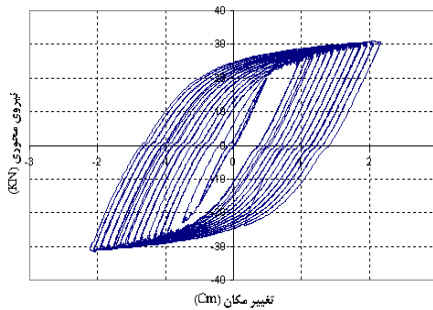
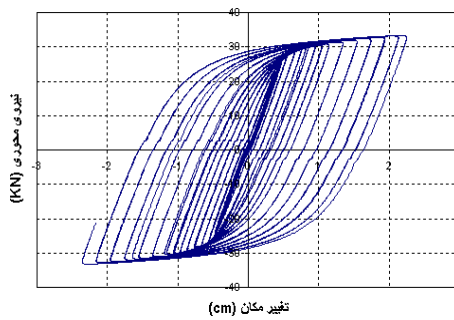


مشخصات مکانیکی ماده لوله بعد از انجام آزمایش از یک لوله به قطر خارجی ۴۸mm و ضخامت ۳/۳ mm به قرار زیر می باشد:

$$F_y = 3366 \text{ kg/cm}^2 \quad E = 2.19 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 4485 \text{ kg/cm}^2$$

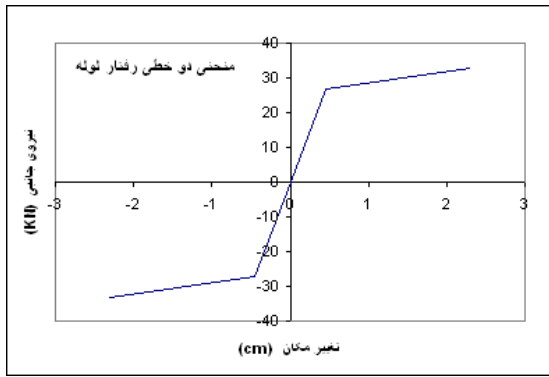
شکل (۴): لوله تحت پیچش در اثر بار محوری بصورت کششی و فشاری



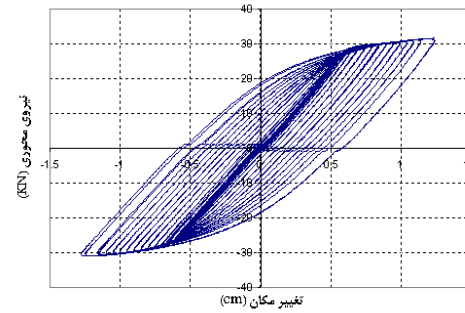
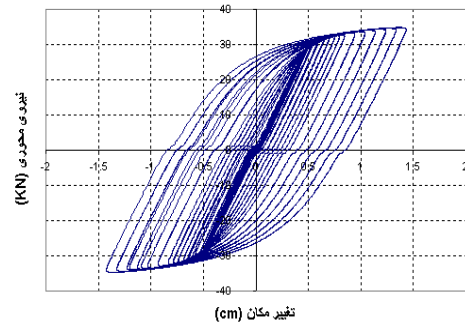
شکل (۵): نمودار هیستریزس حاصل از آزمایشها

۵- آزمایش بارگذاری چرخه ای المانهای پیچشی مستهلک کننده انرژی

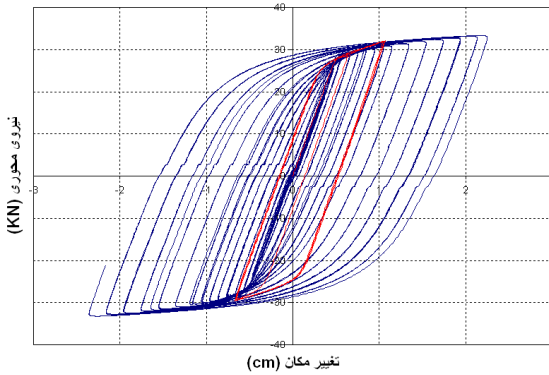
۴ آزمایش بر روی ۴ نمونه لوله به قطر خارجی ۴۸ میلیمتر، ضخامت ۳/۳ میلیمتر و طول ۴۸ سانتی متر و از جنس لوله های مانسمان انجام شد. بارگذاری بصورت چرخه ای و افزایشی تا شکست کامل عضو ادامه پیدا کرده و اطلاعات مربوط به نیرو و جابجایی آن توسط دستگاه ضبط شده است. شکل (۴) تصاویری از تغییر شکل نمونه زیر بار هنگام کشش، فشار و زمان شکست و شکل (۵) نمودار نیرو - تغییر مکان بدست آمده از آزمایش نمونه ها را نشان می دهد.



شکل (۶): مدل پیشنهادی



ادامه شکل (۵): نمودار هیستریزس حاصل از آزمایشها



شکل (۷): همپوشانی مدل پیشنهادی با آزمایش

۷- محاسبه شکل پذیری و ضریب رفتار (R_w) براساس نتایج آزمایشگاهی

با توجه به منحنی‌های هیستریزس بدست آمده از آزمایشها و استفاده از طیفهای ظرفیت می‌توان میزان شکل پذیری عضو مورد مطالعه (المان پیچشی) و ضریب رفتار سازه ای آنرا بدست آورد. طیف ظرفیت یک سازه را معمولاً به کمک منحنی ظرفیتی که به صورت برش پایه سازه در برابر جابجایی بام است ارائه می‌نمایند. برخی از نرم افزارهای کامپیوتری غیرخطی نظیر ANSYS، DRAIN، ETABS2000، SAP2000 قادر به انجام مستقیم آنالیز پوش آور هستند. این نرم افزارها قادرند افزایش بار و اصلاح سختی و مقاومت را به صورت خودکار انجام دهند.

میزان شکل پذیری عضو (μ) براساس اختلاف یا تفاضل تغییر مکان نهایی از تغییر مکان تسلیم بر تغییر مکان تسلیم عضو بدست می‌آید [۲]:

$$\mu = \frac{\Delta_U - \Delta_Y}{\Delta_Y}$$

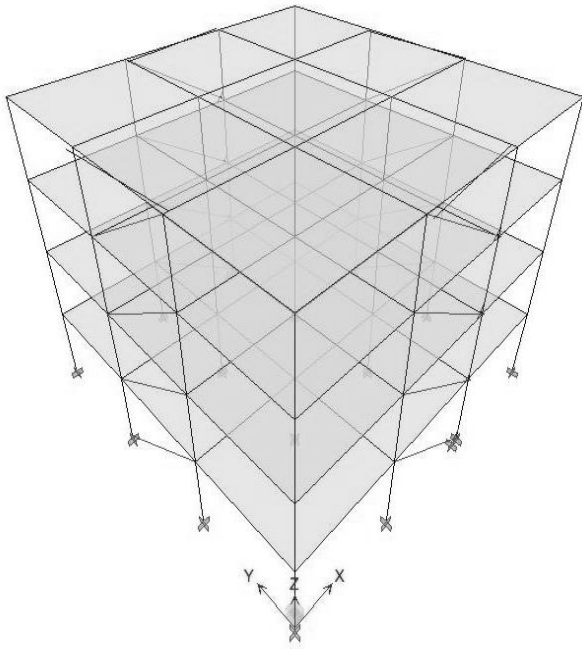
همانطور که از تست مواد و نمودارهای هیستریزس پیدا است تسلیم المان پیچشی (لوله) دربار حدود $P=2.7 \text{ ton}$ بوده است که کاملاً به بار مورد انتظار از روابط تحلیلی ناحیه پلاستیک نزدیک است. بار نهایی مورد تحمل حدود $3/3$ تن بوده است.

۶- شبیه سازی رفتار لوله با مدل دو خطی

از آنجا که مدلسازی دقیق رفتار غیرخطی المانها در برنامه های کامپیوتری مشکل می‌باشد سعی برآنست که از مدل‌های دو یا چند خطی استفاده شود. در مورد رفتار المان پیچشی بدلیل یکسان بودن رفتار آن در کشش و فشار از مدل رفتاری دو خطی برای این دو ناحیه می‌توان بهره جست. بدین منظور ابتدا با استفاده از نتایج تست مواد و شکل‌های منحنیهای هیستریزس، دو شیب یکسان برای سختی ناحیه پلاستیک (K_p) در کشش (۵٪ سختی اولیه) و در حالت فشار نیز (۵٪ سختی اولیه) فرض می‌شود (اشکال ۵ و ۶).

با استفاده از روابط ارائه شده در ناحیه پلاستیک سختی ها بصورت زیر تعیین می‌گردد:

$$K_p = 0.05 K_e$$



شکل (۸): سازه انتخاب شده برای محاسبات ضریب رفتار

۸- بارگذاری

بارهای مرده و زنده در جدول (۱) و (۲) آمده است:

| توضیحات | بار مرده |
|----------------|-----------------------|
| طبقه | ۶۰۰ Kg/m ² |
| بام | ۵۵۰ Kg/m ² |
| دیوار خارجی | ۷۰۰ Kg/m ² |
| دیوار جان پناه | ۲۵۰ Kg/m ² |

جدول (۱): خلاصه بارهای مرده

| توضیحات | بار زنده |
|---------|-----------------------|
| طبقه | ۲۰۰ Kg/m ² |
| بام | ۱۵۰ Kg/m ² |

جدول (۲): خلاصه بارهای زنده

۹- بارگذاری زلزله

اطلاعات کلی فرض شده جهت محاسبه ضریب زلزله:

$$T_0 = 0.5 \quad A = 0.35 \quad I = 1 \quad R_1 = 6$$

بر این اساس با توجه به تست مواد (شکل ۱- و منحنیهای هیستریزس بدست آمده (شکلهای ۲، ۳، ۴ و ۵) متوسط میزان شکل پذیری عضو برای یک لوله فولادی حدود $\mu=6$ بدست می آید.

ضریب رفتار (R_W) سیستم سازه های مهاربندی هم مرکز با مکانیسم المان پیچشی شکل پذیر را می توان از آیین نامه های معتبری نظیر ATC-40 بدست آورد. براساس 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 مقاومت، ضریب کاهش و ضریب تفاوت نیروهای حدی و مجاز می باشند. برابر توصیه ATC-40 مقدار $R_d=1.4$ اختیار می شود.

برای نیل به ضریب رفتار می بایست نمودارهای طیفهای شتاب - جابجایی (S_a-S_d) همزمان با اعمال ضریب میرایی در یک صفحه ترسیم می گردند.

برای محاسبه شکل پذیری نیاز، منحنی ظرفیت (منحنی پوش آور) سازه همراه با طیف پاسخ الاستیک ۰.۵٪ 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 زلزله ای است، که طیف پاسخ آن توسط آئین نامه مشخص شده است [۲].

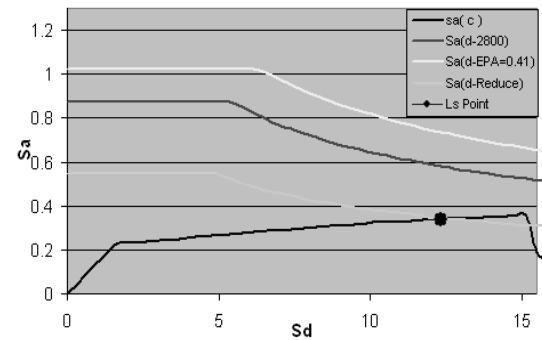
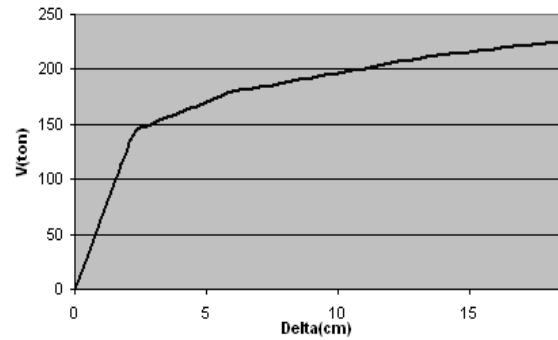
برای محاسبه ضریب رفتار سیستم بادبندهای هم مرکز شکل پذیر، یک سازه مطابق شکل (۸) که مقارن می باشد انتخاب شده است. محاسبات در راستای X برای پلان انتخاب شده، انجام گردیده است. در طراحی ساختمان برای ستون ها از مقاطع جفت IPE، برای تیرها از IPE و برای بادبندها از جفت ناودانی استفاده شده است.

۱۰- محاسبه ضریب رفتار

در این مدل محدودیت شکل پذیری رسیدن مفصل محوری در بادبند طبقه دوم به مرز CP می‌باشند.

$$\Delta_{LS} = 12.01 \text{ cm}$$

منحنی پوش آور و منحنی های طیف ظرفیت و نیاز و محاسبات مربوطه در شکل های (۹-a,b) ترسیم شده است.



اشکال (۹-a,b): به ترتیب منحنی پوش آور و منحنیهای طیف

ظرفیت و نیاز را ارائه می‌دهند.

$$V_e = A \times B \times W = 0.41 \times 2.5 \times 702.75 = 719.55 \text{ ton}$$

$$V_y = 145.3 \text{ ton}$$

$$R_u = \frac{V_e}{V_y} = \frac{719.55}{145.3} = 4.9$$

$$R_w = 1.4 \times R_u = 1.4 \times 4.9 = 6.93$$

در مرحله بعدی گام های ۲ و ۱۰ با ضریب رفتار محاسبه شده در بالا (۶/۹۳) مجدداً انجام می‌شود و ضریب جدید محاسبه می‌گردد و تا زمانی که ضریب رفتار قبلی با ضریب رفتار جدید برابر شود مراحل بالا تکرار می‌گردد. در این حالت برای مثال مذکور ضریب رفتار ۷/۲۸ بدست می‌آید.

۱۱- نتیجه گیری

اهم نتایج این پژوهش عبارتند از:

- ۱- برای طرح سازه های مقاوم در برابر زلزله، یکی از راه حلها استفاده از خاصیت شکل پذیری و جذب انرژی ناشی از زلزله بصورت تغییر شکلهای خمیری می‌باشد.
- ۲- با توجه به نتایج حاصل از آزمایش، بهبودی رفتار، شکل پذیری و جذب انرژی ناشی از زلزله بصورت تغییر شکلهای خمیری پیچشی توسط المان مذکور کاملاً مشهود است.
- ۳- این عضو می‌تواند با رفتار شکل پذیر خود، زمان کماتش مهاربند را به تعویق بیندازد تا مهاربند بتواند بدون کماتش مقدار زیادی از انرژی ورودی زلزله را مستهلک نماید.
- ۴- استفاده از مفصل پیچشی یک روش و ایده در طراحی قابهای مهاربندی شده می‌باشد و همچنین می‌تواند یک روش آسان، کارا و مقرون به صرفه جهت مقاوم سازی سازه های موجود باشد.
- ۵- تعویض مفصل پیچشی در سازه هایی که با این سیستم اجرا شوند، پس از تجربه یک زلزله نسبتاً شدید در مقایسه با سایر سیستمهای مهاربندی مرسوم آسانتر می‌باشد.

مراجع :

- ۱- ملکی، علی اصغر، ۱۳۸۱، بهبود رفتار لرزه ای سازه ها به کمک مهاربندهایی با مکانیسم پیچشی، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر محمد قاسم وتر
- ۲- رضائیان، علیرضا، ۱۳۸۳، بهبود رفتار لرزه ای قابهای مهار بندی شده هم مرکز از طریق شکل پذیر نمودن آنها، پایان نامه کارشناسی ارشد (دانشگاه علم و صنعت) مهندسی سازه به راهنمایی دکتر محمد قاسم وتر.

- 3- Skinner, R. I., Kelly, J. M., Heine, A. J., "Hysteretic Dampers for Earthquake-Resistant Structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 3, 1975. pp. 287-296
- 4- Gere & Timoshenko, "Mechanics of Material", MC GRAW HILL, 1983.
- 5- Farzad Naeim, "The Seismic Design Hand book ", Van Nostrand Rein hold, 2005.