هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران
ICCE 2006
۱۸-۲۰ اردیبهشت ۱۳۸۵ دانشگاه تربیت مدرس

کد مقاله: F1685

بررسی رفتار حلقه مستهلک‌کننده انرژی بمنظور استفاده در سازه مهاربندی

پیمان رشیدی طرقی، Msc ،کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه×
محمد قاسم وتر، Ph.D ، عضو هیات علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله××
منصور قلعه‌نوی، Ph.D، عضو هیات علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
* تلفن: ۰۹۱۲۳۱۱۱۷۰۰، پست الکترونیکی rashidipayman@yahoo.com
** تلفن: ۲۲۸۳۱۱۱۶-۲۱، پست الکترونیکی vetr@iiees.ac.i

چکیده:
در این مقاله، نوع جدیدی از مستهلک کننده‌های انرژی (فلزی جاری شونده)، معرفی می‌شود. این مستهلک کننده به شکل حلقه ساخته شده و در سازه‌های بادبندی به منظور بالا بردن شکل‌پذیری و جذب انرژی زلزله قابل نصب می‌باشد. هنگام وقوع زلزله، عضو مستهلک کننده قسمت قابل توجهی از انرژی ورودی به سازه را با ورود به مرحله غیرخطی و تشکیل مفاصل خمیری خمشی، مستهلک کرده و بدین صورت از ورود دیگر اعضای سازه به مرحله غیرخطی و همچنین کمانش اعضای مهاربندی جلوگیری کرده یا آنرا بتعویق می‌اندازد. این حلقه طوری طراحی می‌شود که قبل از کمانش مهاربند وارد مرحله غیرخطی شده باشد. جهت بررسی پایداری و چگونگی رفتار هیسترتیک این مدل، آزمایشات و مطالعات صورت گرفته، که نتایج یک نمونه آن در این مقاله ارائه شده‌است.

کلید واژه‌ها: مستهلک کننده انرژی تسلیمی، مهاربند، شکلپذیری، هیسترتیک

بررسی رفتار حلقه مستهلک کننده انرژی بمنظور استفاده در سازه مهاربندی

پیمان رشیدی طرقی، Msc ،کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه×
محمد قاسم وتر، Ph.D ، عضو هیات علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله××
منصور قلعه‌نوی، Ph.D، عضو هیات علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان
× تلفن: ۰۹۱۲۳۱۱۱۷۰۰، پست الکترونیکی rashidipayman@yahoo.com
×× تلفن: ۲۲۸۳۱۱۱۶-۲۱، پست الکترونیکی vetr@iiees.ac.i

چکیده

در این مقاله، نوع جدیدی از مستهلک کننده‌های انرژی (فلزی جاری شونده)، معرفی می‌شود. این مستهلک کننده به شکل حلقه ساخته شده و در سازه‌های بادبندی به منظور بالا بردن شکل پذیری و جذب انرژی زلزله قابل نصب می‌باشد. هنگام وقوع 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 ورود دیگر اعضای سازه به مرحله غیر خطی و همچنین کمانش اعضای مهاربندی جلوگیری کرده یا آنرا بتعویق می‌اندازد. این حلقه طوری طراحی می‌شود که قبل از کمانش مهاربند وارد مرحله غیر خطی شده باشد. جهت بررسی پایداری و چکونگی رفتار هیسترتیک این مدل، آزمایشات و مطالعات صورت گرفته، که نتایج یک نمونه آن در این مقاله ارائه شده‌است.

کلید واژه: ***مستهلک کننده انرژی تسلیمی، مهاربند، شکلپذیری، هیسترتیک***

۱- مقـدمـه

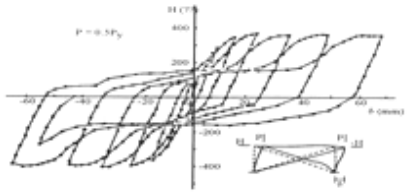
مقابله با نیروهای جانبی که توسط زلزله به سازه وارد می‌شود، معمولا با افزایش حدود نیروهایی که سازه قادر به تحمل آن می‌باشد، صورت می‌گیرد. به تدریج روشهای جدیدتری بمنظور عملکرد بهتر سازه‌ها در زلزله، مطرح شد که به میزان انرژی

ورودی زلزله و راهکارهایی برای جذب این انرژی توجه دارد و ارتعاشات سازه را به هنگام وقوع زلزله با راهکارهای مناسب،کنترل می کند.

سیستمهای مقاوم در برابر زلزله به‌منظور حفظ قابلیت و کارآیی سازه باید دو مشخصه مهم سختی و شکل‌پذیری را داشته‌باشند.

سیستمهای مهاربندی به علت سختی بالا نیروی بیشتری از زلزله دریافت می‌کنند و در عوض به‌دلیل جابجایی کم اجساس امنیت بیشتری را برای ساکنین بنا ایجاد می‌کند. نیز در مواردی که تغییر مکانهای کوچک مورد نظر باشداستفاده از سیستمهای مهاربندی مناسب خواهد بود. ضمنا اتصالات ساده و تیرهای ضعیفتر، این سیستم را به روشی ساده و کم هزینه درطراحی و اجرا تبدیل کرده است. فرض این سیستم برآنست که آسیبهای وارده به این سازه‌ها، پس از وقوع زلزله در اعضای مهاربندی متمرکز می‌باشد در نتیجه بازسازی آنها راحتتر و با هزینه کمتری، امکان پذیر است (البته با انهدام بادبندمقاومت جانبی حذف می‌شود).

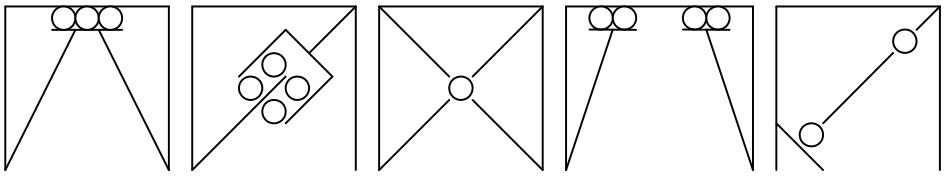
مشکل اصلی در این سازه نداشتن شکل‌پذیری مناسب است. مهاربندهای تحت فشار کمانش کرده و به طور ناگهانی مقاومت خود را در تحمل نیروی فشاری از دست می‌دهند. این در حالیست که مهاربندهای تحت کشش در مرحله پلاستیک، دچار تغییر شکلهای پلاستیک و افزایش طول ماندگاری می‌شوند و تا زمانی که جابجایی سازه به اندازه این تغییر طول جدید نرسد این اعضاء در کشش عمل نمی‌کنند. این دو عامل باعث ایجاد تغییر مکان و در عین حال فقدان نیروی مقابله کننده با آن می‌شود، که در نتیجه ضربات ناخواسته به سازه واردمی‌شود.این نوع عملکرد نامناسب سیستمهای بادبندی، معمولا در سازه‌های بلند چشمگیرتر است.



شکل ۱: *رفتار پسماند قاب با مهاربند ضربدری*

برای جلوگیری از بروز این مشکل می‌توان از مستهلک‌کننده‌های انرژی بهره جست. عضو مستهلک کننده با جذب قسمت اعظم انرژی، از ورود اعضاء مهاربندی به مرحله پلاستیک و کمانش جلوگیری می‌کنند. این امر باعث بهبود رفتار هیسترزیس و جذب بهتر انرژی شده که منجر به رفتار شکل‌پذیر مهاربند و جلوگیری از وارد شدن ضربات ناگهانی به سازه می‌شود.

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



شکل ۲. *طرحهای پیشنهادی برای استفاده حلقه در بادبند*

شکل ۲ پیشنهاداتی برای موقعیت نصب مستهلک کننده حلقه در سازه‌های بادبندی را نشان می‌دهد. حلقه استفاده شده در این تحقیق از جنس لوله‌های مانیسمان که بدون درز است می‌باشد. ارزانی و قابل دسترس بودن لوله‌های مانیسمان، جزئیات ساده اجرایی برای قرارگیری حلقه در بادبند، قابلیت مناسب آن در تحمل کرنشهای پلاستیک و شکل‌پذیری خوب قطعه است از مزایای حلقه‌های مستهلک کننده انرژی می‌باشد.

در حالت مورد بررسی فرض بر این است که حلقه در راستای محوری بادبند قرار گرفته و تنها تحت یک نیروی محوری است.با وارد شدن فشار و کشش متوالی در عضو مهاربند، حلقه وارد مرحله پلاستیک شده شروع به جذب انرژی می کند (شکل اول). 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 حداکثر ظرفیت باربری حلقه از نیروی کمانشی مهاربند کمتر باشد تا از کمانش مهاربند و ورود آن به مرحله پلاستیک جلوگیری شود.

۳- تحلیل حلقه تحت بار جانبی در حالت الاستیک

ممان و جابجایی یک حلقه به شعاع R تحت نیروی P به صورت زیر است.[۲]

$$M_A=M_D=P.R/\pi=M_{max}$$

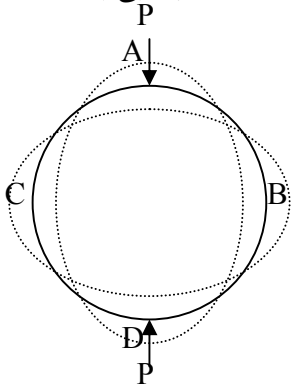
$$M_B=M_C= -P.R(1/2-1/\pi)$$

$$\Delta_V=-PR^3/EI.(\pi/4-2/\pi)\sim=-0.1488PR^3/EI$$

$$\Delta_H= PR^3/EI.(2/\pi-1/2) \sim=0.1366PR^3/EI$$

$$N_A=N_D=0$$

$$V_B=V_C=0$$



همانطور که در فرمولها دیده می‌شود ممان حداکثر در نقطه A و D، بوده که در هنگام فشار ممان 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 کرنش محیطی روی محیط داخل بزرگتر از محیط خارج است. 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. ضمنا بدلیل اینکه تحمل فلزات در فشار کمتر از کشش است، احتمالا شکست هنگامی رخ خواهد داد که حلقه تحت کشش قرار دارد و سطح داخلی بیشترین تنش فشاری را تحمل می‌کند.

۴- تحلیل پایداری حلقه تحت بار محوری توسط ANSYS

مدلسازی توسط برنامه ANSYS V8.1 انجام و بمنظور در نظر گرفتن کمانش خطی و بدست آوردن مقادیر ویژه از المان SHELL143 برای مدل کردن حلقه، و تحلیلEIGEN BUCKLING استفاده شد. ابعاد مش‌ها در حدود ۰/۲۵ سانتیمتر انتخاب شده، تا جوابها با فرمولهایی که قبلا ارائه شده‌اند همخوانی داشته باشد. مدول الاستیسیته برابر ۱/۹e+۶ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، ضریب پواسون ۰/۳ و مقاومت تسلیم برابر ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، ابعاد حلقه در این تحلیل برابر با حلقه آزمایش شده و با قطر خارجی ۲۲ سانتیمتر، ضخامت ۱/۴ سانتیمتر و عرض ۱۰/۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

نتایج تحلیل کمانش خطی مدل (تحلیل کمانشی با مقادیر ویژه) تا ۵ مود اول بصورت زیر بود.

مد اول بصورت چرخش روی محیط حلقه حول مرکز و با نیروی ۶۵ تن

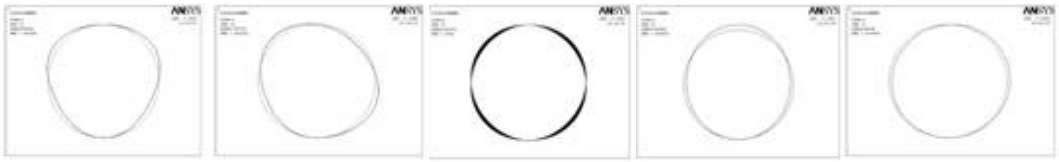
مد دوم بصورت فرو رفتگی زیر محل بار و با نیروی ۴۳۶ تن

مد سوم بصورت چرخش حول محور عمودی با نیروی ۵۳۷ تن

مد چهارم بصورت فرو رفتگی در یک طرف و بالا آمدگی طرف دیگر زیر بار با ۷۹۸ تن

مد پنجم بصورت تغییر شکل تخم‌مرغی و فشار قسمتی از پایین حلقه (تنگ شده) روی قسمت بالای آن (پهن شده) با نیروی ۹۶۹ تن.

اشکال زیر تغییر شکل حلقه در مدهای اول تا پنجم را بترتیب از راست به چپ نشان می‌دهد.

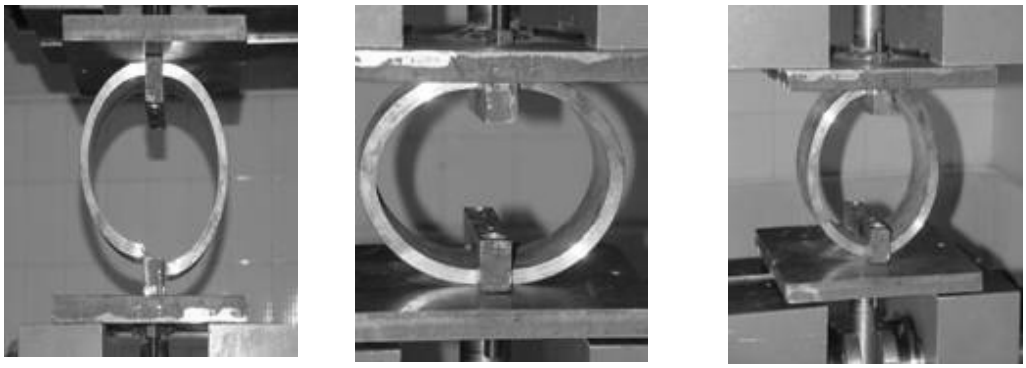


شکل ۳: *اشکال مودی حلقه تحت نیروی محوری*

با توجه به نیروهای لازم برای کمانش و حداکثر نیروی تحمل شده توسط حلقه در حالت غیر خطی عدم کمانش آن در حالت خطی مشخص می‌شود. ولی باید به شکل مدها برای جلوگیری از تغییر شکلهای ناخواسته (کمانش) در هنگام زلزله و قرار داشتن عضو در مهاربند توجه داشت. چرا که در آزمایش دستکها در فکهایی با قابلیت جابجایی فقط در یک جهت قرار دارند ولی هنگام استفاده عضو در مهاربند و در زمان وقوع زلزله امکان جابجایی و از محور خارج شدن دو نقطه اتصال مهاربند به حلقه وجود دارد که باید برای آن چاره اندیشی کرد. برای جلوگیری از جابجاییهای ناخواسته اولا بهتر است حتی‌المقدور

حلقه در نزدیکی یکی از دو انتهای مهاربند اجرا شود زیرا در نقاط انتهایی بدلیل وجود اتصالات تغییرمکانهای کمتری داریم. همچنین می‌توان با اتصال دو لوله (یا قوطی) تودرتو با قابلیت جابجا شدن داخل یکدیگر، به بسطهای U شکل و قرار دادن پینهایی روی لوله داخلی و زبانه‌های لوبیایی شکل روی لوله بیرونی، جابجایی را فقط بصورت محوری و در امتداد مهاربند کنترل کنیم.

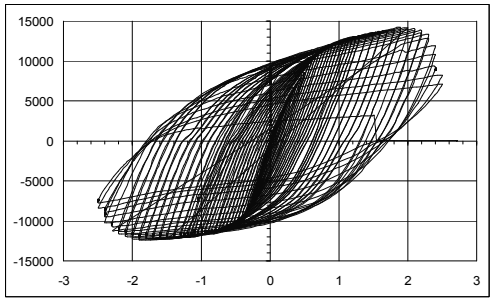
۵- آزمایش بارگذاری چرخه‌ای روی نمونه

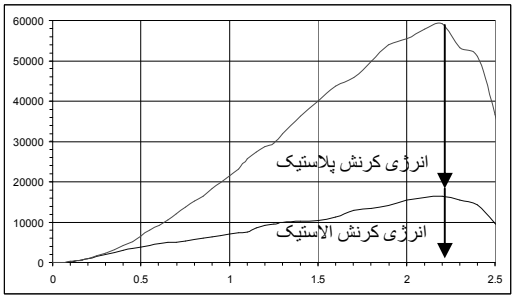


شکل۴: *حلقه در حالتهای کشش، فشار و شکست*

آزمایش روی یک قطعه استوانه‌ای به قطر خارجی ۲۲ سانتیمتر، ضخامت ۱/۴ سانتیمتر، عمق ۱۱/۵ سانتیمتر و از جنس لوله‌های مانیسمان انجام شد.

بارگذاری بصورت چرخه‌ای و افزایشی تا شکست کامل عضو ادامه پیدا کرده، اطلاعات نیرو و جابجایی آن توسط دستگاه ضبط شده‌است. شکل۴ تصاویری از تغییر شکل نمونه زیر بار هنگام کشش، فشار و زمان شکست و شکل۵ نمودار نیرو- تغییرمکان بدست آمده از آزمایش را نشان می‌دهد.





شکل۵: *نمودار نیرو^{Kgf}-جابجایی^{Cm} حلقه تحت آزمایش* **شکل۶**: منحنی انرژی$^{Kgf.Cm}$-حداکثر تغییر مکان در هر چرخه^{Cm}

۶- ارزیابی آزمایش

با انجام آزمایش نیروی تحمل شده در حالت غیر خطی (۱۴/۳ تن) حدود ۲/۵ برابر ناحیه خطی (۵/۵ تن)، و حداکثر جابجایی حالت غیر خطی (۱/۹ سانتیمتر) حدود ۸ برابر حداکثر جابجایی در حالت خطی (۰/۲۳ سانتیمتر) بدست آمده‌است.

با توجه به این نکته و نیز شکل پایا و متقارن منحنی هیسترزیس، رفتار سیکلی عضو مستهلک کننده مناسب ارزیابی شد.

در حین آزمایش افزایش نیرو تا جابجایی ۱/۹ سانتیمتر، ادامه داشت و پس از آن بعلت شکستهای اولیه تحمل نیرو توسط عضو، سیر نزولی پیدا می‌کند. همانطور که گفته شد اولین شکست در محل بار و در محیط داخلی رخ داد و بتدریج در چند سیکل بعدی شکستگی تا بالا ادامه یافت. همچنان افزایش انرژی سیکلها، تا جابجایی ۲/۲ سانتیمتر ادامه داشت و در جابجایی ۲/۵ سانتیمتر شکست خمشی رخ داد.

انرژی مستهلک شده توسط این مدل در شکل۶ آورده شده است. محور X حداکثر جابجایی در یک چرخه و محور Y انرژی محاسبه شده از سطح زیر منحنی نیرو جابجایی می‌باشد.

منحنی زیرین مربوط به انرژی قابل بازیافت یا الاستیک، و منحنی بالایی مجموع انرژی الاستیک و پلاستیک (انرژی کل) می‌باشد.

همانطور که در شکل مشخص است جذب انرژی بعد از ورود به مرحله پلاستیک افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد وجذب انرژی قسمت پلاستیک آن در بیشترین حالت ۲/۷۸ برابر جذب انرژی قسمت الاستیک آن است.

بعد از ورود به مرحله غیر خطی سیستم حدود ۶۵ سیکل با افزایش بار و جابجایی تا حد نهایی را بدون خرابی تحمل کرد و این نشان دهنده تحمل خوب این سیستم در برابر بارهای رفت و برگشتی و خستگی می‌باشد.

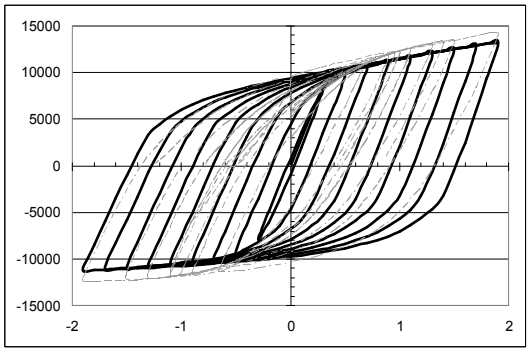
بعد از کمانش غیر خطی حلقه تحت فشار، با اضافه شدن جابجایی نیروثابت می‌ماند در حالیکه در کشش همچنان افزایش جابجایی، افزایش نیرو را به همراه دارد.

۷- مدلسازی کامپیوتری

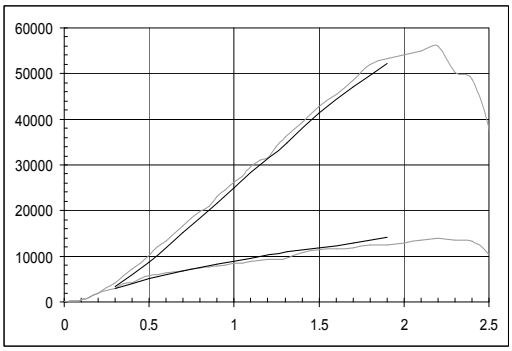
مدلسازی توسط برنامه ANSYS V8.1 انجام شده‌است و برای بررسی رفتار هیسترزیس و کمانش غیر خطی از دستور NLGEOM,ON , PSTRES,ON و المان SHELL181 که دو بعدی و دارای شش درجه آزادی است استفاده شد، این المان قادر است کلیه تنشها، نیروهای داخلی، بارگذاری داخل و خارج صفحه را در تحلیلهای غیر خطی و تغییر شکلهای بزرگ نشان دهد.در این قسمت ابعاد مش‌ها در حدود ۰/۵ سانتیمتر انتخاب شده، تا جوابها با فرمولهایی که قبلا ارائه شده‌اند همخوانی داشته باشند. نوع بارگذاری STATIC می‌باشد. اختلاف جابجایی در هر استپ یک ثانیه‌ای، ۰/۵ میلیمتر است. مدول الاستیسیته برابر ۱/۹e+۶ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، ضریب پواسون ۰/۳ و مقاومت تسلیم برابر ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر گرفته شد.مدل رفتار پسماند آن، کینماتیک هاردنینگ چند خطی، توسط KINH و بصورت زیر می‌باشد.

مرحله اول تارسیدن به مقاومت تسلیم ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع با مدول الاستیسیته ۱/۹e+۶، پس از آن با مدول الاستیسیته‌ای برابر ۰/۰۳٪ حالت الاستیک ادامه داشته تا به تنش گسیختگی (۵۶۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) برسد و و بعد از آن مدول الاستیسیته برابر صفر شود.

بارها بصورت تغییر مکان رفت و برگشتی اعمال شد و نتایج زیر بدست‌آمد. برای مقایسه به همراه منحنی مربوط به آزمایش آورده شده که نشان از دقت مناسب مدل‌سازی دارد. ضمنا در مدل‌سازی و برای حصول ضریب اطمینان محاسبات تا زمان اولین شکست انجام گرفته است.

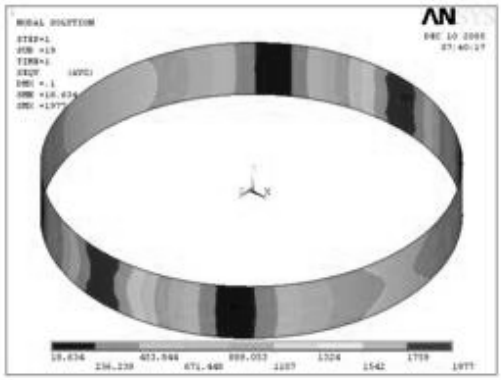


شکل۷: *نمودار نیرو^{Kgf}–جابجایی^{Cm}*

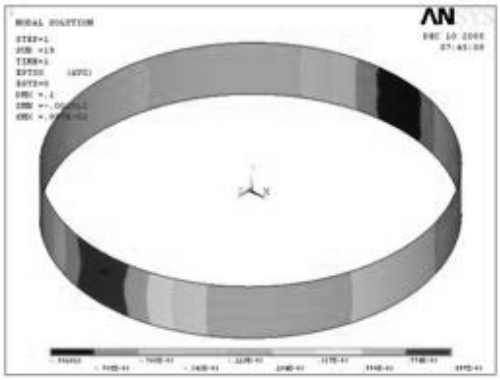


شکل۸: منحنی انرژی$^{Kgf.Cm}$–حداکثر تغییر مکان در هر چرخه^{Cm}

در اشکال ۹و۱۰ کانتورهای تنش و کرنش یک حلقه به عرض ۱ سانتیمتر، تحت کشش، بمنظور نمایش محل خداکثر و حداقلهای تنش و کرنش نشان داده شده است. همانطور که قابل مشاهده است تنش حداکثر در زیر محل بار گذاری و در داخل حلقه می‌باشد. همچنین کرنش‌های خداکثر مثبت و منفی نیز در محل بارگذاری بوده بطوریکه قدر مطلق مقدار کرنش روی محیط داخل حلقه از قدر مطلق کرنش روی محیط خارج حلقه بیشتر است.



شکل۹: *کانتور تنش حلقه*



شکل۱۰: *کانتور کرنش حلقه*

۸- نتیجه‌گیری

- لوله‌های مانیسمان بعلت تولید انبوه آن به سادگی قابل دسترس بوده و بعلت جزئیات ساده آن برای قرارگیری داخل مهاربند، اجرایی و ارزان می‌باشد.

- بعلت شکل‌پذیری خوب این لوله‌ها و جذب انرژی بالای آن می‌توان قسمت عمده‌ای از جذب انرژی پلاستیک سازه را از این اعضاء انتظار داشت.
- با توجه به اینکه حداکثر نیروی وارده به مهاربند برابر حداکثر نیروی قابل تحمل حلقه می‌باشد، می‌توان طوری طراحی مهاربند و حلقه را انجام داد تا از عدم کمانش مهاربند اطمینان حاصل کرد.
- لوله‌های مانیسمان با قطر و ضخامتهای مختلف موجود است و با در نظر گرفتن عرض دلخواه از آن براحتی میتواند برای حداکثر جابجایی، انرژی مستهلک شونده و نیروی لازم طراحی شود. و از آنجا که فقط با سه متغیر قطر، ضخامت و عمق سطح وسیعی برای طراحی در اختیارمان می‌گذارد، بسیار مناسب و طراحی آن ساده می‌باشد. همچنین ترکیباتی از دو یا چند لوله در کنار هم، تودرتو و یا روی هم به منظور رسیدن به شکل‌پذیری و سختی مناسب و حداکثر نیروی دلخواه قابل تحمل توسط حلقه، قابل اجراست.
- 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.

مراجع:

۱- رشیدی طرقی پ.، بهبود رفتار سازه‌های مهاربندی توسط مستهلک کننده انرژی با مکانیزم خمشی، ۱۳۸۴، گروه عمران دانشکده مهندسی نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

2-S.P.Timoshenko.ً " Theory of elastic stability"2nd.edition.,McGraw-HILL,1982.