میراگرهای غیرفعال و کاربرد آنها در بهبود رفتار دینامیکی سازه های دریایی

مهرداد شمسی زادگان[1]، محمد جواد کتابداری[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های دریایی، دانشگاه هرمزگان

m shamsizadegan@yahoo.com

۲- استادیار، دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Ketabdar@cic.aut.ac.ir

چکیده :

هنگامی که نیروی جانبی مثلا نیروی باد یکنواخت به یک سازه وارد می گردد در سازه تغییر مکان مشخصی ایجاد می گردد. در صورتیکه این بار تحت تاثیر باد غیر یکنواخت یا زلزله به صورت دینامیکی باشد سازه شروع به ارتعاش در مودهای مختلف ارتعاشی می نماید. در هر دو این حالتها مقدار تغییر مکان و دامنه ارتعاشات به سختی سازه وابسته است. حدود یک قرن است که ایده کاربرد میراگرها در سازه ها مطرح و حدود چند دهه است که میراگرهای غیر فعال در سازه های صنعتی و سازه های بلند خشکی جهت مقابله با بار دینامیکی باد یا زلزله استفاده می گردند. اسکله های ساحلی و سکوهای فراساحلی در دریا نیز تحت تاثیر نیروهای پیچیده و ویرانگر ی ناشی از باد، موج، جریان دریایی، زلزله و ،حتی نیرو های ناشی از گردابه قرار می گیرند. این نیروها جابه جایی های بزرگی را در سکو یا اسکله باعث میشوند که به ایمنی و خدمت پذیری سازه دریایی جهت بهره برداری خدشه وارد می کند. در این تحقیق ضمن معرفی انواع این میراگرها کاربرد آنها در سازه های دریایی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان می دهد که استفاده از میراگرهای غیر فعال می تواند یک روش موثر جهت مقابله با نیروهای محیطی در دریا است. این میراگر ها بدون افزایش قابل توجه در سختی سیستم ، قابلیت اتلاف انرژی مجموعه را به مقدار زیادی افزایش می دهد.

کلمات کلیدی : سازه های دریایی – نیروهای محیطی- میراگرهای غیر فعال – مستهلک کننده انرژی

Archive of SID

www.SID.ir

۱ مقدمه

به طور کلی روشهای مختلفی برای طراحی سازه ها در برابر نیروهای دینامیکی استفاده می گردد. یک سازه با ترکیبی از سختی، قابلیت شکل پذیری و همچنین استهلاک انرژی از خود مقاومت نشان می دهد. در حالت معمولی میزان میرایی در سازه ها بسیار کم می باشد و بنابراین انرژی مستهلک شده در محدوده رفتار الاستیک سازه بسیار ناچیز می باشد. ولی هنگامی که نیروهای دینامیکی قوی به سازه وارد می شود ،تغییر مکانهای بزرگی در سازه ایجاد می گردد. در این حالت سازه فقط به دلیل قابلیت تغییر مکان غیر الاستیک به وجود آمده در آن پایدار باقی می ماند. چنین تغییر مکانهایی موجب به وجود آمدن مفصل پلاستیک به صورت موضعی در نقاطی از سازه می گردد که خود موجب افزایش شکل پذیری و همچنین افزایش استهلاک انرژی می شود. در این حالت مقدار زیادی از انرژی وارد شده به واسطه تخریبهای موضعی در سیستم مقاوم جانبی سازه مستهلک می گردد. شکل ۱ یک نمونه گسیختگی سکوی دریایی تحت بارهای وارد را نشان می دهد.

شکل۱ خرابی سکو ناشی از نیروهای دینامیکی دریا

ایمنی یک سازه می تواند با کاهش وزن ، تعویض اعضای ضعیف یا افزایش سختی سازه به طوری که فرکانس طبیعی ارتعاش سازه از فرکانس تشدید دور گردد تامین شود، اما این روشها در بسیاری از مواقع با

Archive of SID

www.SID.ir

هزینه های زیادی همراه است ویا ممکن است اساسا مقدور نباشد. از جمله روشهایی که در سالهای اخیر برای مقاوم سازی سازه ها مورد توجه قرار گرفته است ، استفاده از سیستمهای جاذب انرژی[۶۰] می باشد، که کاهش میزان جا به جایی سازه را در حد مطلوبی فراهم می کند.

۲ انواع میراگرهای غیر فعال[۶۱]

فن آوری کنترل ارتعاش برای سازه های خشکی به منظور مقاومت در برابر نیروهای باد یا زمین لرزه در چند دهه گذشته به نحو موثری رو به پیشرفت است. اما این فن آوری به ندرت برای سکوهای ثابت دریایی استفاده شده است[1]. کاربرد این فن آوری در دریا محدود به موج و زلزله نبوده و دامنه وسیعی از نیروها شامل ارتعاش ایجاد شده در اثر گردابه ها ی تولید شده اطراف سکو ، نیروهای دینامیکی ناشی از یخ و جریانهای قوی دریایی را میتواند شامل گردد. به این منظور سیستم های جاذب انرژی متنوعی می تواند استفاده گردد. از شناخته شده ترین این سیستمها می توان میراگر فلزی (جاری شونده)[۶۲]، میراگر اصطکاکی[۶۳]، میراگر ویسکو الاستیک[۶۴]، میراگر ویسکوز[۶۵]، میراگر جرمی تنظیم شده[۶۶]، میراگر مایع تنظیم شده[۶۷] را نام برد. هر سیستم در موارد خاصی ممکن است عملکرد بهتری داشته باشد.

۳ مکانیزم عملکرد میراگرهای غیر فعال[2]

[60] Energy Absorbers
[61] Passive Dampers
[62] Metallic Damper
[63] Friction Damper
[64] Viscoelastic Damper
[65] Viscous Damper
[66] Tuned Mass Damper
[67] Tuned Liquid Damper

Archive of SID
www.SID.ir

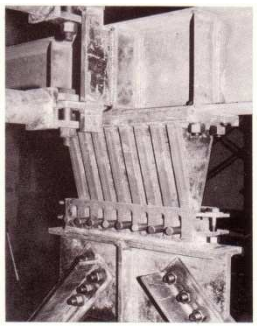
این سیستمها به طور کلی به گروه های وابسته به جابجایی[۶۸]، وابسته به سرعت[۶۹] وسایرموارد[۷۰] تقسیم می گردند. وسایل وابسته به جابه جایی باید شامل وسایلی باشند که رفتار سخت- پلاستیک (مانند وسایل اصطکاکی) یا رفتار دو خطی (مانند وسایل فلزی جاری شونده) داشته باشند. وسایل وابسته به سرعت شامل میراگرهای ویسکو الاستیک و ویسکوز میباشند. تجهیزات اتلاف انرژی که در این دو دسته قرار نمی گیرند جزء سایر محسوب می گردند. در این قسمت هر یک از میراگر های فوق معرفی گشته و چگونگی کار کرد آنها توضیح داده می شود.

۳-۱ میراگر های فلزی

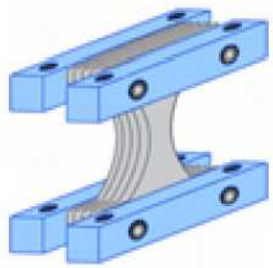
از خاصیت جاری شدن فلزات در روشهای مختلفی جهت افزایش کارایی سازه در مقابل نیروهای دینامیکی وارده به سازه استفاده شده است. میراگر های فلزی معمولا از جنس فولاد ساخته می شوند و طراحی آنها طوری صورت می گیرد که بر اثر ارتعاش سازه، این میراگر ها دچار تغییر شکل شده و انرژی را تلف می نمایند. اولین کارها در زمینه به کار گیری میراگر های فلزی در سازه به منظور جذب انرژی با کارهای آزمایشگاهی بین سالهای ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۵ شروع شد. طرح های معمول مورد استفاده در سازه ها برای میراگر های فلزی به شکل ورق های مثلث و X شکل می باشند (اشکال ۲و۳).

[68] Displacement Based
[69] Velocity Based
[70] Others

Archive of SID
www.SID.ir

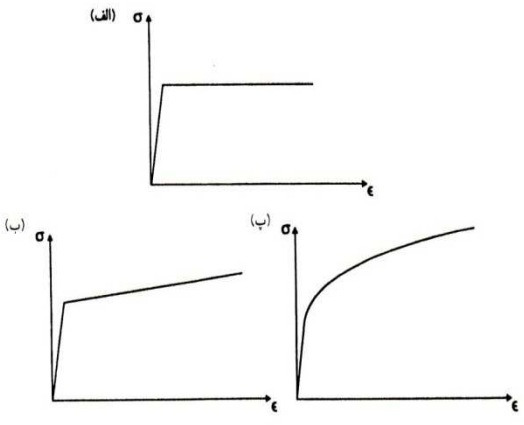


شکل ۳ میراگر فلزی مثلثی شکل



شکل ۲ میراگر فلزی X شکل

در این سیستم با افزودن قطعه ای به سازه و انتقال نیروی حساب شده به آن ، موجب جاری شدن قطعه در هنگام وقوع بار گذاری و در نتیجه مستهلک نمودن مقدار زیادی از انرژی ورودی به سازه می گردند. در واقع در این روش ، عمل تخریب ، بر روی اسکلت سازه رخ نمی دهد. بلکه بر روی قطعه ای از پیش تعیین شده رخ می دهد که بعد از بارگذاری قابل تعویض می باشد. در تمامی شکلهای میراگرهای فلزی، مکانیزم عمل آنها بر اساس اتلاف انرژی به شکل تغییر شکل غیر الاستیک فلز موجود میراگر می باشد . معمولا این فلز از جنس فولاد نرم می باشد ولی در بعضی مواقع سرب یا آلیاژهای فلزی دیگری نیز استفاده می شود. مدلهای ریاضی گوناگونی جهت ایده آل سازی رفتار میراگر فلزی معرفی شده اند که شامل مدل الاستیک- پلاستیک کامل، مدل خطی الاستیک با کرنش سخت شدگی و مدل رامبرگ- اوزگود می باشد (شکل ۴).



شکل۴ مدل های ریاضی تنش – کرنش

Archive of SID
www.SID.ir

الف) الاستیک – پلاستیک کامل ب) الاستیک خطی با کرنش سخت شدگی پ) رامبرگ – اوزگود

لازم به ذکر است مدلهای فوق برای توصیف پاسخ به بارگذاری سیکلی دلخواه که در آن وضعیت تنش نه تنها به کرنش فعلی بلکه به تمامی تاریخچه قبلی آن وابسته است مناسب نمی باشد. در نتیجه به منظور توسعه مدل هایی برای میراگرهای فلزی می باید این بحث را به رفتار آنها تحت بارهای رفت و برگشتی که شامل رفتن به ناحیه غیر الاستیک است بسط داد.

۳-۲ میراگرهای اصطکاکی

میراگرهای اصطکاکی به صورت ساده متشکل از یک مکانیزم با سطوح لغزشی در محل تقاطع بادبند ها می باشند. در این حالت اتلاف انرژی در اثر اصطکاک بین دو جسم جامد ایجاد می گردد. بر اساس شبیه سازی ترمز ماشین در سال ۱۹۸۰ توسعه میراگرهای اصطکاکی غیر فعال جهت بهبود پاسخ لرزه ای سازه ها شروع گردید[3]. دو نوع از میراگرهای اصطکاکی در شکل ۵ نشان داده شده است.

الف) میراگر اصطکاکی پال ب) میراگر اصطکاکی چرخشی

شکل ۵ میراگر اصطکاکی

Archive of SID

www.SID.ir

شکل های بسیاری از اصطکاک ممکن است به شکل مؤثری در کاهش خسارات سازه ها طی اعمال بارهای دینامیکی به کار روند. در تمامی این فرم ها از خاصیت اصطکاک اجسام لغزنده جامد به عنوان عامل اصلی اتلاف انرژی استفاده می گردد. بنابراین در میراگرهای اصطکاکی کار غیر قابل بازگشت توسط نیروی مماسی مورد نیاز برای لغزش یک جسم صلب در امتداد صفحه ای دیگر انجام می شود . این کار در جهت بیشینه نمودن انرژی تلف شده انجام می گردد و بنابراین هیچ نیازی برای وجود یک لایه لزج در فصل مشترک وجود ندارد و کلیه سطوح تماس باید خشک باقی بمانند. به منظور بررسی موضوع وضعیت اصطکاکی دو صفحه که دارای لغزش نسبت به یکدیگر می باشند فرضیات زیر در نظر گرفته می شود:

- نیروی کل اصطکاک که می تواند تولید شود مستقل از سطح تماس ظاهری است.
- نیروی کل اصطکاک که می تواند تولید شود متناسب با نیروی عمودی کلی است که در فصل مشترک دو صفحه عمل می کند.
- برای مواردی در لغزش در سرعت های نسبتا پایین نیروی کل اصطکاکی مستقل از آن سرعت می باشد.

در نتیجه این فرضیات، در لحظه شروع لغزش خواهیم داشت:

$$F = \mu N \qquad (۱)$$

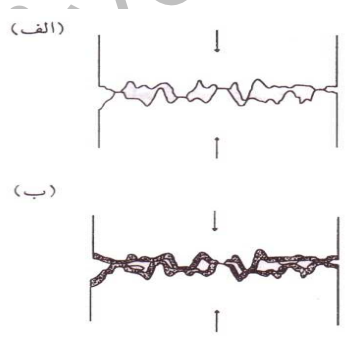
F : نیروی اصطکاکی N : نیروی عمودی μ : ضریب اصطکاک

ضریب اصطکاک در لحظه شروع لغزش تا حدی بیش از حالت حین لغزش می باشد. معمولا ضریب استاتیکی اصطکاک (μ_s) و ضریب جنبشی (μ_k) در نظر گرفته می شوند. در هر حالت نیروی اصطکاکی F به صورت مماسی در فصل مشترک دو صفحه و در جهت مخالف حرکت عمل می کند. مفهوم اصطکاک کولمب اساس تئوری بیشتر کارهایی که در ارتباط با میراگرهای اصطکاکی ظاهر شده است را فراهم می آورد. هر چند که فرآیند های اصطکاکی به ندرت به این سادگی می باشند. به علاوه ضریب اصطکاک μ ، که در معادلات ثابت

Archive of SID

www.SID.ir

فرض می گردد همیشه مقدار ثابتی نداشته و نه تنها به انتخاب ماده لغزشی بستگی دارد بلکه به شرایط حاضر در فصل مشترک دو سطح نیز وابسته است . از آنجایی که عموما سطوح، در معرض فرآیند های در حال انجام فیزیکی و شیمیایی می باشند، ضریب اصطکاک مربوط به یک فصل مشترک ممکن است به مقدار قابل توجهی تغییر نماید. تئوری مدرن اصطکاک خشک جامدات بر روی شناسایی سطوح واقعی تماس که شامل مکانیزم های چسبندگی بین سطحی و تغییر شکل های غیر الاستیک محلی که در ناحیه تماس رخ می دهد می باشد متمرکز می شود. بر اساس آزمایشهای دقیق، سطوح طبیعی و پرداخت شده توسط انسان در سطح میکروسکوپیک صاف نیستند بلکه شامل نا منظمی های بسیاری هستندکه با عناوین موج دار و زبر طبقه بندی می شوند. این نامنظمی ها عموما در مقیاسهای متنوعی وجود دارند. در هر حال تماس واقعی تنها به علت اندرکنش زبری سطحی همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است اتفاق می افتد. در این شکل نشان داده شده است که سطوح واقعی تماس ما بین دو صفحه به شکل قابل ملاحظه ای از سطوح تماس ظاهری متفاوت است.



شکل ۶ نمایی از تماس اصطکاکی

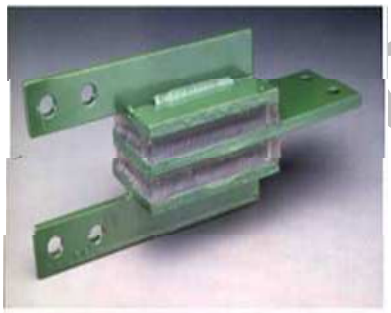
الف) سطوح فلزی تمیز ب) سطوح فلزی با غشاهای زنگ زده ذرات ریزدانه

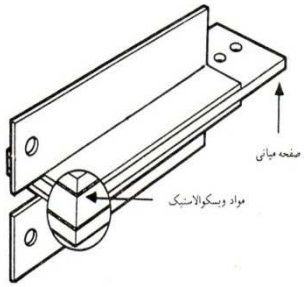
Archive of SID

www.SID.ir

۳-۳ میراگر ویسکو الاستیک

میراگرهای ویسکو الاستیک در سالهای اخیر در سازه های بلند به کار گرفته شده اند. کاربرد این گونه مواد جهت کنترل ارتعاش سازه ها به سال ۱۹۵۰ باز می گردد[4]. در صنعت هوایی این نوع میراگر برای اولین بار به منظور کنترل خستگی ناشی از ارتعاشات در بدنه هواپیما به کار گرفته شد. استفاده از این مواد در سازه های مهندسی عمران از سال ۱۹۶۹ و با نصب ۱۰۰۰۰ میراگر در هر یک از برجهای دوقلوی مرکز تجارت جهانی در نیویورک به منظور کمک به مقاومت سازه در برابر بارهای ناشی از باد شروع شد. عملکرد این نوع میراگر بر خلاف میراگرهای فلزی و اصطکاکی که وابسته به میزان تغییر مکان ایجاد شده در آنها می باشند وابسته به سرعت ایجاد شده در آن است (شکل ۷).





شکل۷ نمای دو میراگر ویسکو الاستیک

جنس مواد ویسکو الاستیک عموما از جنس هم پلیمر ها بوده که هنگامی که تحت تأثیر تغییر شکل برشی قرار می گیرند، انرژی را تلف می کنند. وقتی این میراگر در سازه قرار می گیرد، ارتعاش سازه سبب حرکت نسبی بین بالهای فولادی خارجی و ورق میانی می گردد. در این حالت تغییر شکل برشی و در نهایت اتلاف انرژی صورت می پذیرد. از نظر تنش – کرنش رفتار مواد را به سه نوع می توان تقسیم نمود. برای یک ماده با سطح مقطع A و ضخامت t که تحت تأثیر یک نیروی سیکلی $F_{(t)}$ قرار گرفته است،پاسخ ماده می تواند به صورت تابع جا به جایی $X(t)$ نشان داده شود. تنش سیکلی روی ماده به وسیله تقسیم نیروی ورودی بر سطح مقطع و کرنش سیکلی به وسیله تقسیم جا به جایی بر ضخامت به دست می آید. برای یک ماده الاستیک خالص همه انرژی

Archive of SID
www.SID.ir

ذخیره شده در نمونه آزمایش پس از بار برداری بازگشت می کند، بنابراین منحنی تنش و کرنش برای ماده الاستیک کاملا هم فاز می باشند. بر عکس ماده الاستیک، ماده ویسکوز هیچ انرژی ذخیره شده ای را باز نمی گرداند و همه انرژی ذخیره شده را تلف می کند. در این حالت ، تنش متناسب با نرخ کرنش است و نسبت تنش به نرخ کرنش به عنوان ویسکوزیته یا لزجت شناخته می شود. این مواد مولفه سختی نداشته و صرفا استهلاک را باعث می شوند (شکل ۸). سایر مواد که جزء دو دسته بالا نمی باشند به نام مواد ویسکو الاستیک نامیده می شوند. بخشی از انرژی ذخیره شده در مواد ویسکو الاستیک با باربرداری جایگزین می شود و مابقی به شکل گرما تلف می گردد. این مواد دارای یک مدول مختلط می باشند. بخش حقیقی این عدد مختلط ، E_1 به عنوان رفتار الاستیکی ماده و به عبارتی سختی آن را مشخص می کند و قسمت موهومی آن E_2 در ارتباط با رفتار ویسکوزیته ماده بوده و به عنوان توان اتلاف انرژی ماده تعریف می گردد. مدول الاستیسیته این مواد به شکل زیر تعریف می شود:

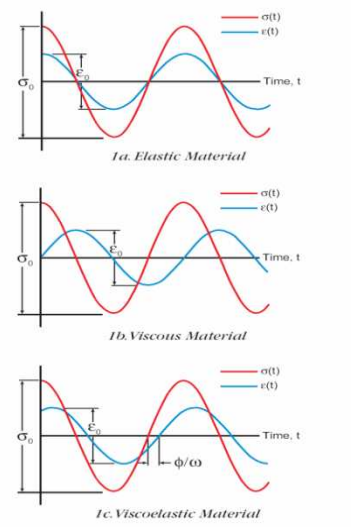
$$E = E_1 + E_2 i \quad (۲)$$

یکی از خواص منحصر به فرد مواد ویسکو الاستیک این است که خواص این مواد تحت تأثیر پارامتر های گوناگونی شامل : فرکانس، درجه حرارت، نرخ کرنش دینامیکی، خزش و خستگی قرار دارند. مهمترین این پارامترها شامل فرکانس و درجه حرارت می باشند. مواد ویسکو الاستیک نوعا دارای رفتاری مشابه شکل ۹ می باشند. در ناحیه اول آنها به شکل جامد بوده و زنجیره پلیمری به طور محکم بسته شده است. در این قسمت E_1 در بالاترین مقدار است و سطح ا ستهلاک نوعا در کمترین مقدار می باشد. در ناحیه انتقالی، ماده از حالت جامد به حالت لاستیکی و کائوچوئی تغییر می کند. در این ناحیه ماده ویسکو الاستیک با نرخ سریعی با کاهش سختی مواجه می شود ولی در موقعیت بالاترین سطح از نظر استهلاک قرار می گیرد. در این حالت زنجیره پلیمری در حالت نیمه صلب و نیمه مایع قرار دارد. در ناحیه لاستیکی ماده کمترین سختی را دارد و استهلاک هم در سطح

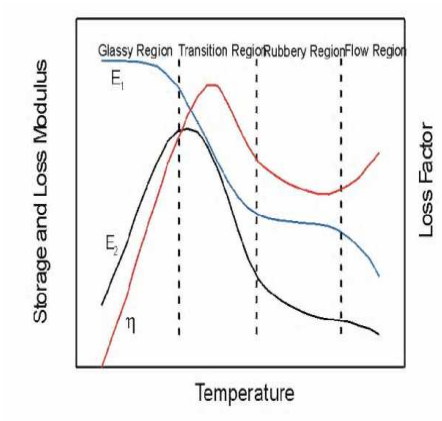
Archive of SID

www.SID.ir

پایین تری است. ماده این ناحیه کاملا برای وسایل جداساز یا میراگر جرمی تنظیم شده مناسب می باشد. علت آن اینست که مدول این ماده بسیار کم با درجه حرارت و فرکانس تغییر می کند.



شکل ۸ رفتار سه نوع ماده الاستیک، ویسکوز و ویسکو الاستیک



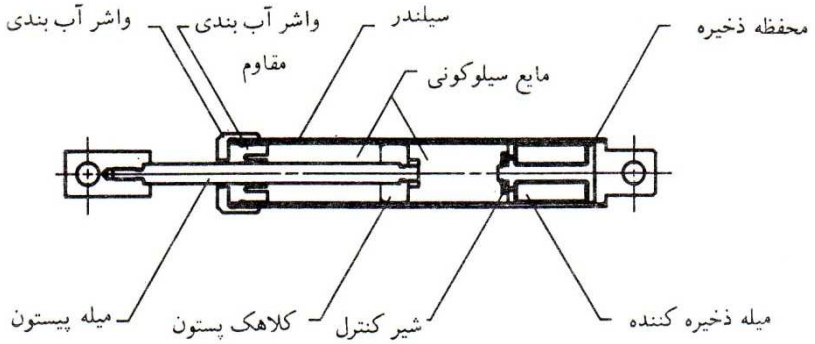
شکل ۹ تغییرات مدول با درجه حرارت برای یک ماده ویسکو الاستیک

۳-۴ میراگرهای سیال لزج

در گذشته کاربرد های فراوانی از میراگرهای سیال لزج به منظور کنترل ارتعاشات ناشی از ضربه در سیستم های فضایی و دفاعی مشاهده شده است. تجربه نشان داده است که این سیستم می تواند دارای اثر قابل ملاحظه ای در کنترل ارتعاشات باشد. اولین استفاده از این نوع میراگر در ابعاد بزرگ، به منظور کاهش پس زدگی توپخانه های بزرگ در کارهای نظامی بوده است. قسمت های یک میراگر سیال لزج در شکل ۱۰ نشان داده شده است . این میراگر شامل یک پیستون فولادی با یک سوراخ برنزی در سر آن می باشد. سیلندرتوسط یک ماده سیال لزج نظیر ژل سیلیکون پر می گردد. حرکت پیستون در این مایع با مقاومت آن روبرو می شود. میراگرهای سیال لزج را می توان طوری طراحی کرد که به عنوان یک میراگر انرژی خالص یا به عنوان یک فنر یا بصورت ترکیبی از هر دو عمل نماید. همچنان که در شکل ملاحظه می شود میراگر سیال لزج شبیه کمک فنر خودرو می باشد. حرکت پیستون داخل سیلندر دارای مایع سیلیکونی، باعث جذب انرژی جنبشی و تبدیل آن به انرژی

Archive of SID
www.SID.ir

گرمایی می گردد. چون در این نوع میراگرها نیروی میراگر کاملا خارج از فاز تنش های وارده بوده و نیروی میرایی با سرعت تغییر می نماید ، میراگر تنش و تغییر شکل های ایجاد شده در سازه را با هم کاهش می دهد.



شکل ۱۰- ساختمان یک میراگر سیال لزج

سایر انواع میراگر مانند جاری شونده (فلزی) و اصطکاکی چنین خاصیتی نداشته و با سرعت تغییر نمی کنند. بنابراین آنها معمولا باعث افزایش تنش در ستونها در ضمن کاهش حرکت و جا به جایی می شوند. این موضوع به این شکل است که وقتی در اثر نیروی دینامیکی وارده به سازه، ستون به حداکثر جا به جایی خود و در نتیجه حداکثر تنش رسید، در این حالت نیروی میرایی صفر می شود و وقتی ستون در حالت بازگشت می باشد و در محل حداکثر سرعت است نیروی میراگر ماکزیمم می شود و این جایی است که نیروی ستون هم به کمترین مقدار خود رسیده است. شکل ۱۱ یک نمونه کاربرد این نوع میراگر را نشان می دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱۱- کاربرد میراگر سیال لزج در یک ساختمان بلند

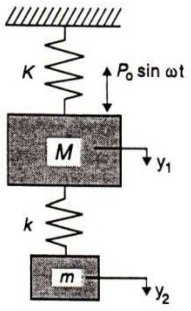
۳-۵ میراگر های جرمی تنظیم شده (TMD)

میراگر جرمی تنظیم شده یکی از ابزارهای غیر فعال استهلاک انرژی است. این وسیله با جذب کردن مقداری از انرژی وارد شده از بار دینامیکی به سازه، میزان تقاضا برای استهلاک انرژی در سازه اصلی را کاهش می دهد . ایده اولیه استفاده از این نوع میراگر به کارهای انجام شده توسط Frahm در سال ۱۹۰۹ برای کاهش حرکت گهواره ای و ارتعاشات ناشی از آن در کشتی ها باز می گردد. در آن زمان کاربرد میراگرهای جرمی تنظیم شده محدود به جذب کننده های دینامیکی سیستم های مکانیکی می شد. ولی بعدها کاربرد آنها در سازه ها مورد توجه قرار گرفت. نظریه های اولیه به سیستم های یک درجه آزادی بدون میرایی که با بارگذاری سینوسی ارتعاش می کردند محدود می شد. اما بعد ها کاربرد آن برای سیستم های چند درجه آزادی هم معمول گردید. در این گونه سازه ها که دارای چندین درجه آزادی بوده و عموما میرایی نیز قابل صرفنظر کردن نیست، چندین مولفه فرکانسی در برابر نیروی جانبی وجود دارد که کار را پیچیده تر می کند.دراین سازه ها TMD را باید با یکی از فرکانس های سازه ای تنظیم کرد. بنابراین بیشترین کارایی سیستم میراگر وقتی است که آن را با فرض نوسان سازه n درجه آزادی در حوالی مد غالب (هارمونیک اول) طراحی و بهینه کرد. میراگر Frahm در شکل۱۲ نشان داده شده است . در این میراگر، ضربه گیر که شامل یک جرم کوچک m و یک فنر با سختی k می باشد به جسم اصلی M با سختی K متصل گردیده است. تحت یک بارگذاری هارمونیک ساده، در صورتیکه فرکانس طبیعی ضربه گیر ($\sqrt{\frac{K}{m}}$) طوری انتخاب شود که مساوی با فرکانس تحریک گردد (به عبارت دیگر تنظیم گردد) ،جرم اصلی M می تواند کاملا ماندگار باقی نماند. MCNAMARA در سال ۱۹۷۷ نشان داد که میراگر جرمی تنظیم شده برای بهبود پاسخ سازه ها تحت بارگذاری باد موثر می باشد. بنابراین عموما این نوع میراگر برای کنترل ارتعاشات ناشی از باد در سازه های بلند به کار رفته اند و دلیل آن هم محدودیت هایی

Archive of SID

www.SID.ir

همچون پهنای فرکانس وسیع تر دیگر بار گذاری های دینامیکی نظیر موج و زلزله نسبت به بار گذاری باد و امکان تنظیم نوع ساده این میراگر فقط با یک فرکانس می باشد.



شکل۱۲ - ضربه گیر نامیرا و جرم اصلی تحت اثر تحریک هارمونیکی (ضربه گیر Frahm)

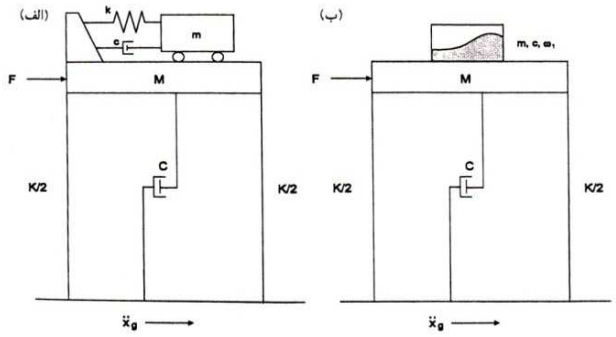
البته استفاده از میراگرهای جرمی تنظیم شده غیر خطی، جذب کننده های ارتعاشات ضربه ای ، میراگرهای جرمی تنظیم شده نیمه فعال و میراگر های جرمی تر کیبی از جمله راه حل هایی بوده اند که برای حل این مشکل ارائه شده اند. در هر حال می توان گفت میراگر های جرمی تنظیم شده در برابر ارتعاشات هارمونیک وارد بر سازه پایداری می کنند. وجود این میراگر این امکان را برای اینرسی جرم سازه طوری فراهم می کند که بتواند به وسیله عضو سازه ای نسبتا سبک (مانندیک بلوک بتنی) به طوری که این جسم در خلاف جهت حرکت جرم اصلی سازه حرکت کند کمترین ارتعاش را داشته باشد. این جرم ثانویه ممکن است با میراگرهای هیدرولیکی و فنر های حجیم به جرم اصلی تلفیق گردد. این گونه میراگر ها طوری طراحی و تنظیم می شوند که بتوانند دامنه ارتعاش سازه را پایین بیاورند. از آنجایی که این سیستم به صورت غیر فعال عمل می کند، نسبت به تغییر مشخصات سازه بسیار حساس می باشد. به علت تغییر مکانهای نسبتا زیاد جرم اضافی در سازه های سنگین که این جرم ها به آنها متصل می گردند، باید فضای زیادی جهت آزادی تغییر مکان آنها در نظر گرفته شود.

۳-۶ میراگر های مایع تنظیم شده (TLD)

نوع دیگر از جذب کننده های ارتعاشات دینامیکی میراگرهای مایع تنظیم شده می باشند که در آن از مایعات برای فراهم آوردن مشخصات مورد نیاز سیستم ثانویه استفاده می شود. در میراگر های جرمی تنظیم شده

Archive of SID
www.SID.ir

عموما یک بلوک تو پر بتنی یا فولادی و در بعضی موارد یک مخزن پر شده از آب به عنوان جرم ثانویه استفاده می گردد. فنر ها و میراگرهای اضافی نیز جهت اتصال این جرم ثانویه به سازه اصلی مورد استفاده قرار گرفته که این فنرها ومیراگرها مکانیزم هایی را برای اتلاف انرژی مورد نیاز، برای تنظیم سیستم به پاسخ تقریبا بهینه آن تحت انواع مختلف تحریکات دینامیکی فراهم می آورند. شکل ۱۳ نمایی از یک TMD متصل به یک سازه یک درجه آزادی و سیستم TLD را نشان می دهد. در این شکل، مایع نه تنها جرم ثانویه مورد نیاز را تامین می کند بلکه میرایی را با حرکت لزجی یا ویسکوز، عمدتا در لایه های مرزی ایجاد می نماید. میراگر مایع تنظیم شده به واسطه تلاطم مایع کم عمق درون تعدادی مخزن که معمولا در قسمت بالای سازه نصب می شوند، انرژی ارتعاشی وارد به سازه را مستهلک میکند. مشخصات میراگر به گونه ای تنظیم می شود که فرکانس تلاطم مایع درون این مخازن با فرکانس ارتعاش سازه هماهنگ شود.

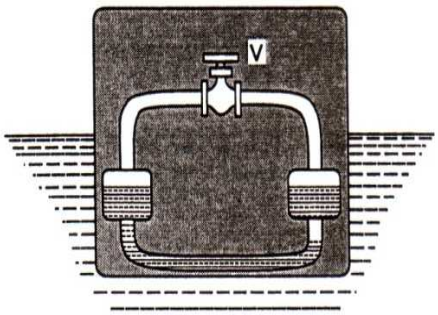


شکل۱۳- جذب کننده های ارتعا شات دینامیکی الف) میراگر TMD ب) میراگر TLD

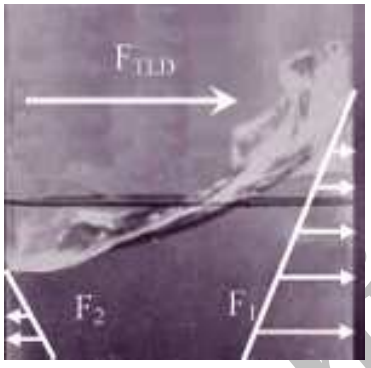
مدل اولیه جذب کننده ارتعاشات دینامیکی مطابق شکل ۱۴ توسط Frahm در اوایل قرن بیستم میلادی پیشنهاد شده است. او فرکانس حرکت آب را در دو مخزن به هم متصل با فرکانس اصلی حرکت Roll کشتی جهت کاهش این مولفه حرکت تنظیم نمود . این مخزن های ضد حرکت Roll بر روی چندین کشتی آلمانی نصب گردید. ایده استفاده از این نوع میراگر در کاهش ارتعاشات سازه ها به اواسط دهه ۱۹۸۰ باز می گردد. استفاده از ظروف مستطیلی کاملا پرشده با دو مایع حل ناپذیر جهت جدا نمودن پاسخ با حرکت فصل

www.SID.ir

مشترکشان توسط Bauer (1984) پیشنهاد شد. این مفهوم برای کاهش حرکات ناشی از باد بکار برده شد. Welt & Modi (1984) اولین کسانی بودند که استفاده از یک TLD در ساختمان را جهت کاهش پاسخ آن طی بادهای قوی یا زمین لرزه هاپیشنهاد نمودند. کارکرد این تجهیزات بر اساس لمبر زدن مایع می باشد. نیروی کنترلی که برای کاهش ارتعاشات سازه مورد استفاده قرار میگیرد ناشی از فشار دینامیکی درون مخزن، روی سطح جداره های انتهایی ظرف می باشد. تلاطم مایع موجب ایجاد تفاوت در رقوم سطح آزاد مایع در جداره های انتهایی مخزن می گردد اختلاف فشار ناشی از تفاوت رقوم سطح آزاد مایع در جداره های انتهایی به صورت یک نیروی برشی در کف مخزن ظاهر میگردد[5]. به عبارت دیگراساس نیروی کنترل ایجاد شده در سیستم TLD اندازه حرکت سیال داخل مخزن میباشد (شکل ۱۵).



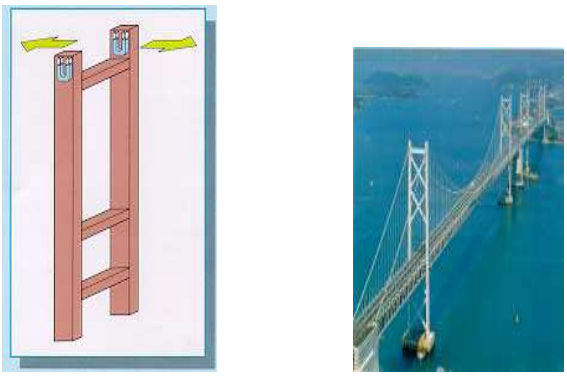
شکل ۱۴ مخزنهای Frahm برای استفاده در کشتی



شکل ۱۵ حرکت سیال در سیستم TLD

میراگرهای مایع نیز معمولا نسبت به فرکانس مد اول سازه تنظیم می گردند. برای سازه های با فرکانسهای اصلی متفاوت در دو جهت اصلی ،می توان با تعیین ابعاد مخزن در دو جهت ، مخزن مستطیلی مناسبی انتخاب کرد. برای سازه های با فرکانس اصلی یکسان در دو جهت اصلی از مخازن دایروی میتوان استفاده نمود. گر چه تئوری ریاضی مرتبط با توصیف مناسب حرکت سیال در یک ظرف برای این نوع میراگرها ممکن است بسیار پیچیده باشد ولی تامین نیازهای سخت افزاری آن ساده بوده و نصب آن به سادگی انجام میپذیرد، به طوری که هر میراگر از یک مخزن دایره ای یا مستطیلی با چند لایه آب کم عمق تشکیل شده است. در شکل ۱۶ کاربرد نوع خاصی از TLD در پایه پل نشان داده شده است.

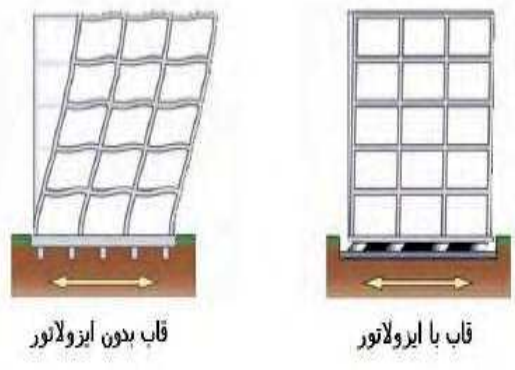
Archive of SID
www.SID.ir



شکل۱۶ کاربرد TLD در پایه پلهای دریایی

۴ جداسازهای لرزه ای[۷۱]

یکی دیگر از روشهای اتلاف انرژی وارد بر سازه قرار دادن لایه ای با شکل پذیری زیاد در پایه سازه می باشد تا نیروی وارده صرف تغییر شکل لایه شود، به این لایه ها جداسازیا ایزولاتور گفته می شود. در شکل ۱۷ تفاوت رفتار سازه دارای جداساز با سازه بدون جداساز به طور شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱۷- رفتار سازه با جدا ساز و بدون جدا ساز

در واقع سیستم جداساز ، با سختی افقی کم که بین سازه و پی ایجاد می کند، سازه را از مولفه های افقی حرکت زمین جدا می سازد. در نخستین مود دینامیکی سازه جداسازی شده، تغییر

[71] Base Isolators

www.SID.ir

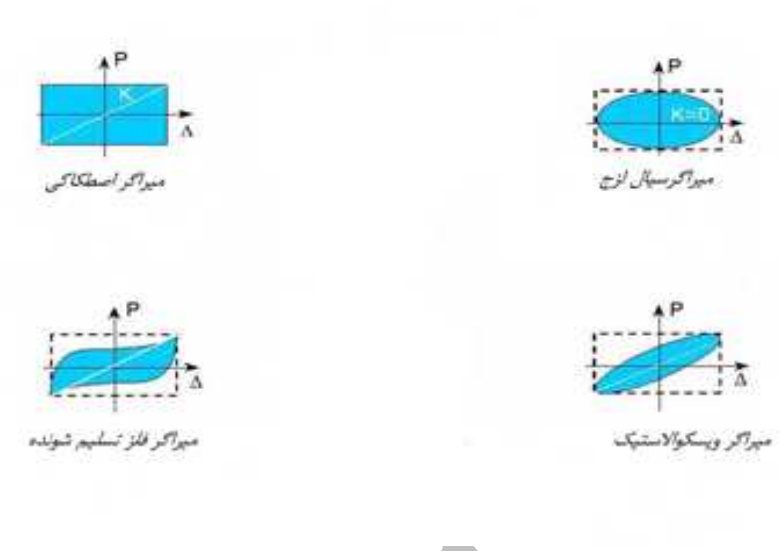
شکل فقط در سیستم جداساز به وجود می آید و رو سازه ازهر نظر صلب می باشد. مود های بالاتر که باعث تغییر شکل در سازه می شوند با مود اول متعامدند. این مودهای بالا در حرکت تأثیر ندارند و به این ترتیب انرژی زیاد نیروی دینامیکی در این مود های بالا به سازه منتقل نمی گردد. پس در واقع این سیستم ها انرژی را جذب نمی کنند بلکه آن را منحرف می سازند[6]. اثر نهایی در هر حال افزایش پریود سازه و در نتیجه کاهش تقاضای اتلاف انرژی بر روی سیستم سازه ای است.

۵ مقایسه منحنی های پسماند انواع میراگر ها

در این قسمت انواع رفتار پسماند میراگرهای مختلف به منظور مقایسه ارائه گردیده است. چنانکه در شکل ۱۸ ملاحظه می گردد تفاوتهایی در رفتار هر یک از میراگر ها وجود دارد. تفاوت عمده در وابستگی این میراگرها به سرعت وجابجایی است. درمیراگر اصطکاکی حلقه پسماند به شکل مستطیل می باشد وچون مستقل از سرعت است در نتیجه در اثر تمام زلزله ها در یک نیروی ثابت عمل می کند. در میراگر سیال لزج حلقه های پسماند به صورت بیضی می باشد که در اثر یک نیروی بیشینه مشخص، سطح زیر منحنی میراگر سیال لزج در حدود ۷۰٪ میراگر اصطکاکی می باشد. این بدین معنی است که در یک ظرفیت یکسان کارایی میراگر اصطکاکی بیشتر از سیال لزج میباشد. اما در میراگر سیال لزج، در بیشینه جابجایی، نیرو صفر می شود. بنابر این میراگر نیروی اضافه ای در بیشینه جابجایی بر اعضا وارد نمی کند. در حالی که دردیگر میراگرها این پدیده مشاهده نمی گردد[2]. در میراگر ویسکو الاستیک به علت وجود سختی ،حالت منحنی پسماند نسبت به میراگر سیال لزج متفاوت شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

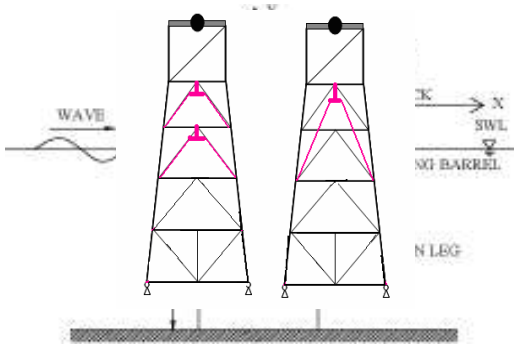


شکل ۱۸ انواع منحنی های پسماند میراگر های مختلف

۶ امکان کاربرد میراگرها در سازه های دریایی

تاکنون کاربردی از انواع میراگرها در سازه های دریایی بخصوص سکوهای فراساحلی کمتر گزارش گردیده است. شاید دلیل این امر نوپا بودن صنعت فراساحل در دنیا نسبت به سازه های خشکی که از عمر آنها چندین قرن می گذرد باشد. سکوهای آب عمیق فراساحلی عمری بیش از دو تا سه دهه ندارند. با توجه به آنچه در قسمتهای قبل عنوان گردید انواع میراگرها کاربرد وسیعی در اسهلاک انرژی در برابر بار های دینامیکی بخصوص بارهای جانبی باد و زلزله برای سازه های خشکی دارند. در دریا علاوه بر باد وزلزله نیروهای دینامیکی دیگری مانند موج و جریانهای دریایی وجود دارند. این وضعیت ممکن است مطالعات بیشتری را برای بررسی عملکرد انواع میراگرهای موجود یا ابداع میراگرهای خاص برای محیط دریا طلب نماید. شکل۱۹-الف کاربردی از میراگر فلزی را در یک سکوی ثابت نوع جکت نشان می دهد. شکل ۱۹-ب کاربرد میراگر TLD در سکوی شناور را نشان می دهد.

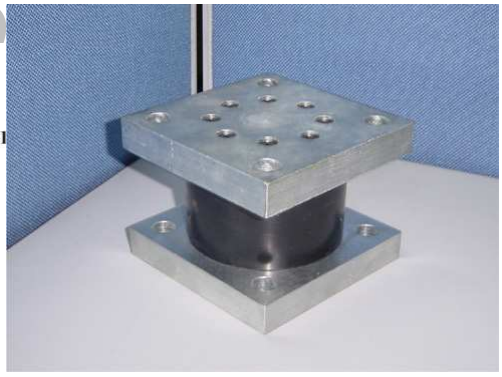
Archive of SID
www.SID.ir

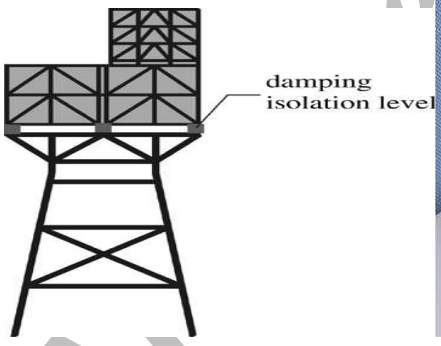


الف) کاربرد میراگر فلزی در سکوی جکت ب) کاربرد میراگر نوع TLD در سکوی شناور از نوع پایه کششی

شکل ۱۹ کاربرد انواع میراگرهای غیر فعال در سکوهای ثابت و شناور دریایی

در حال حاضر تحقیقاتی در مورد کاربرد انواع جداسازها بر روی سکوهایی ثابت دریایی به منظور کاهش اثر ارتعاش ناشی از امواج و سایر نیروی دینامیکی بر سازه بالایی[۷۲] سکو در حال انجام است (شکل ۲۰).





الف) نمای یک جداساز در حال مطالعه برای سکوهای دریایی ب) کاربرد جداساز در سکوی ثابت نوع جکت

شکل ۲۰ کاربرد جداسازها در سکوهای دریایی

۷ مراجع

[1] Patil,K.C. and Jongid,R.S.,"Passive control of offshore platform",ocean Engineering,32, pp. 1933-1949, 2005.

[72]Super Structure

Archive of SID
www.SID.ir

[2] Soong,T.T. and Dargush,G.F.,"Passive Energy Dissipation System in Structural Engineering".John Wiley and sons,new York,1997.
[3] Pall,Avtar. And Pall,R.Tina,"Performance –based design using pall friction dampers on economical design solution ",3th word conference on earthquake engineering, vancover ,Canada, 2004.
[4]-Sehat Tabatabaei.A.,MSc ,Civil Engineering University Of East London," Energy Dissipation Systems For Seismic Resistance", Irancivilcenter.com, 2003.
[5] Lee,H.H,Wong,S.H.,Lee,R.S.,"Response mitigation on offshore floating platform system with tuned liquid column damper",Ocean Engineering,3pp,2,1118-1142, 2006.
[6] Jin Ping Ou,Xu Long,Q.S Li,Y.Q.Xiao,"Vibration control of steel jacket platform structure with damping isolation system",Engineering structure ,2006.

Archive of SID

www.SID.ir