

کاربرد و آنالیز مستهلک کننده های غیر فعال ویسکوالاستیک در سازه های فلزی

امیر مهدی حلبیان^۱، محسن ایزدی نیا^۲، میثم امینی^۳

^۱استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان

^۲استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

^۳مریی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

چکیده

در سالهای اخیر طرح قاب خمشی مقاوم شکل پذیر (Ductile Moment Resisting Frame) قابهای با مهاربندی همگرا (Concentric Braced Frames) و قابهای با مهاربندی واگرا (Eccentric Braced Frames) در برابر زلزله پیشنهاد شده است. به علت تمرکز اتلاف انرژی در محل تیر ها و ستونها و اعضای باربر در این قابها امکان وارد شدن آسیبهای جدی سازه ای و گاه تخریب کلی آنها وجود دارد. بنابر این مناسب تر است که اتلاف انرژی به نحو دیگری اعمال گردد. وسایل استهلاک انرژی می توانند قسمتی از نیروی زلزله که به سازه وارد می شود را جذب نمایند و استهلاک انرژی به وسیله اعضای اصلی سازه را حداقل نمایند. یکی از این سیستمهای استهلاک انرژی، مستهلک کننده های غیر فعال ویسکوالاستیک می باشد. این میراگر ها وابسته به حرارت، فرکانس و ابعاد هندسی میراگر بوده که در این تحقیق خصوصیات این میراگر ها در حرارتهای ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد و فرکانسهای ۱/۰، ۵/۰، ۱، ۵ و ۱۰ هرتز در دوشکل دو لایه و سه لایه مورد ارزیابی قرار گرفته است و سپس هر یک از این حالات در چهار قاب فولادی خمشی یک، پنج، یازده و بیست طبقه در نظر گرفته شده و عملکرد آنها در هر یک از حالات ذکر شده تحت سه شتابنگاشت زلزله السنترو، نورتریج و کوبه به وسیله تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی به روش انتگرال مستقیم مورد بررسی قرار گرفته است. نرم افزار مورد استفاده در این تحقیق نرم افزار المان محدود -Sap2000- Nonlinear می باشد که قابلیت انجام اهداف اشاره شده را دارد.

کلمات کلیدی: مستهلک کننده، ویسکوالاستیک، قاب، انرژی، زلزله، تحلیل دینامیکی

۱- مقدمه

مستهلك کننده های ويسكوالاستيك شامل انواع مايعی و جامدی می باشند كه ميراجر های جامدی به طور عمدۀ از پليمراهای ويسكوالاستيك مابين صفحات فلزی تشكيل گردیده است. يك ماده ويسكوالاستيك آنچنان كه از نام آن مشخص می باشد دارای دو رفتار ويسكوز و الاستيك به صورت همزمان می باشد. در اين مواد مقداری از انرژی ذخيره شده در سيستم در طول بار برداری بازيافت می شود و باقيمانده به صورت حرارت از بين می رود. در طراحی اين مستهلك کننده ها چندین فاکتور شامل رفتار ديناميکی مستهلك کننده تحت بار سيكلی، افزایش حرارت و سختی مستهلك کننده می بايستی در نظر گرفته شود. تا کنون دانشمندان بسياری در زمينه مواد و مستهلك کننده های ويسكوالاستيك تحقيق نموده اند و هر کدام به نحوی عملکرد آنها را در سازه بررسی نموده اند. در سال ۱۹۹۳، تی سای به همراه لی عملکرد يك سازه ۱۰ طبقه همراه با مستهلك کننده های ويسكو الاستيك را بررسی نمودند [۱]. در سال ۱۹۹۵، لای به همراه چنگ يك سازه فلزی با مقیاس واقعی ۵ طبقه را كه به صورت ويسكوالاستيك مستهلك شده بود را بررسی نمودند [۲]. در سال ۱۹۹۶، چنگ به همراه چن و لای رفتار غير الاستيك قابهای فلزی همراه با مستهلك کننده های ويسكوالاستيك را مورد بررسی قرار دادند. آنها آزمایشات را با استفاده از دو مدل دو پنجم مقیاسی یکی با مستهلك کننده های ويسكوالاستيك و دیگری بدون آنها انجام دادند [۳]. در سال ۱۹۹۸، کنگ چو به همراه جک سرماک يك سازه يك دوازدهم مقیاسی را كه با ميراجر های ويسكوالاستيك مجهز شده بود مدل نمودند و آن را در يك تونل باد مورد ارزیابی قرار دادند [۴]. در سال ۲۰۰۱، کاستنالو به منظور بهسازی لرزه ای سازه يك مدرسه از مستهلك کننده های ويسكوالاستيك استفاده نمود [۵]. در سال ۲۰۰۲، جینکو کیم به همراه بنگ روشی را به منظور پخش مناسب مستهلك کننده های ويسكوالاستيك به منظور حداقل کردن پاسخ پيچشی سازه با يك محور تقارن ارائه نمودند [۶]. وون مین به همراه جینکو کیم و لی در سال ۲۰۰۴ قاب فلزی ۵ طبقه همراه با مستهلك کننده های ويسكوالاستيك را مورد بررسی قرار دادند و در اين تحقيق يك پروسه طراحی برای مستهلك کننده های ويسكوالاستيك و نتایج آزمایش تجربی سازه فلزی ۵ طبقه يك دهانه را ارائه نمودند [۷]. همچنين در سال ۲۰۰۵، جینکو کیم به همراه جینگوک عملکرد لرزه ای سازه های متصل شده به يکديگر به وسيله مستهلك کننده های ويسكو الاستيك را بررسی کردند [۸]

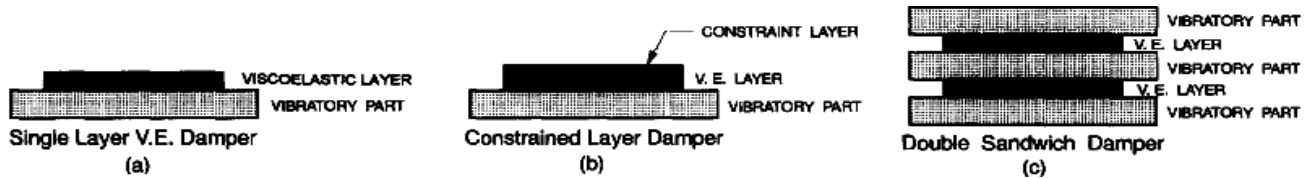
۲- میراگر ویسکوالاستیک و مکانیزم عملکرد آن

جامدهای ویسکوالاستیک به منظور کنترل ارتعاش و صدا در هواپیماها، ماشینها و جذب انرژی باد و زلزله در ساختمانها کاربرد دارند. نظریه استفاده از این نوع میراگرها در ابتدا توسط کروین و راس در سال ۱۹۵۹ ارائه گردید و بعد در سال ۱۹۸۰ توسط توروپیک و دیگران بسط داده شد [۹]. به طور کلی سه روش به منظور به کارگیری مواد جامد ویسکوالاستیک آنچنان که در شکل ۱ نشان داده شده به عنوان واسطه ارتعاشی وجود دارد:

(۱) به کارگیری مستقیم لایه ویسکوالاستیک در قسمت ارتعاشی مانند صفحات و تیرها (a)

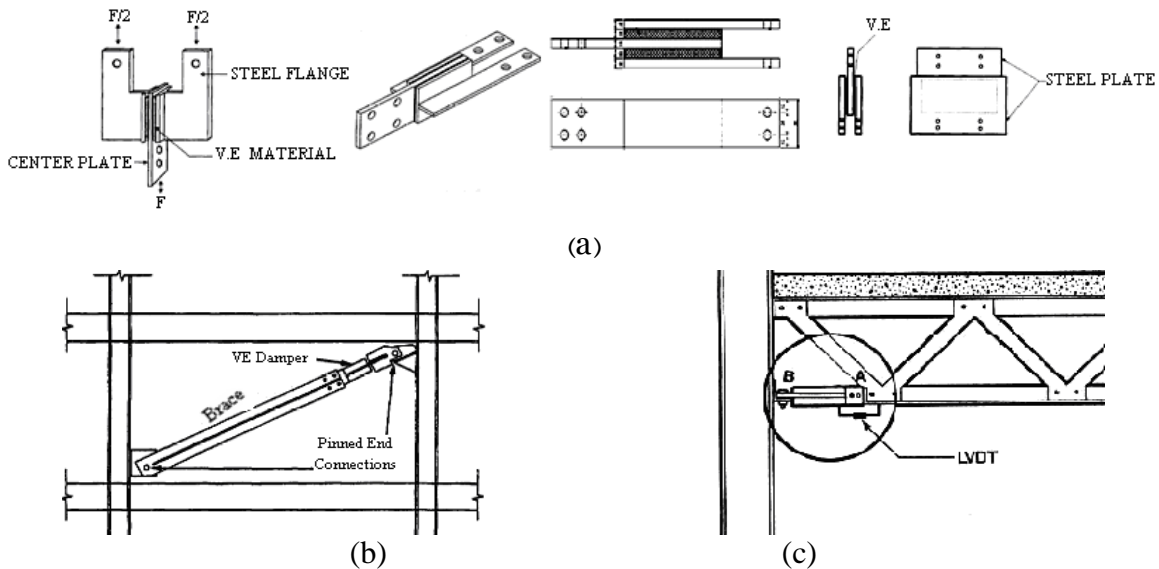
(۲) این روش بسط روش اول می باشد با این تفاوت که یک صفحه صلب دیگر بر روی آن قرار داده می شود که هر دو حالت کششی و برشی را تجربه می کند (b)

(۳) حالت سوم حالتی است که تقریباً همه تغییر شکل به صورت برشی است و به طور کلی برای یک مقدار مشخص از مواد ویسکوالاستیک و برای حالتی که مقدار انرژی زیادی را می خواهیم مستهلک کنیم موثرتر و مناسب تر است (c)



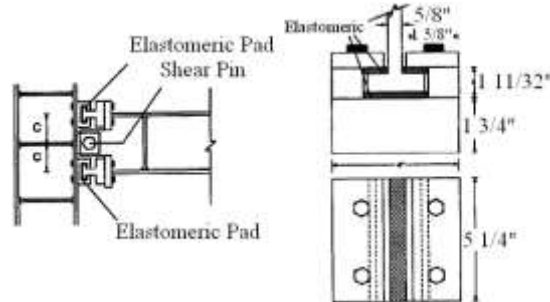
شکل ۱- شکلهای مختلف میراگر ویسکوالاستیک.

در شکل ۲ حالت‌های مختلف روش سوم و طریقه نصب آنها نشان داده شده است [۱۰].



شکل ۲- (a) شکلهای میراگرهای ویسکوالاستیک (b) طریقه نصب (c) نصب در مرکز تجارت جهانی.

همچنین مستهلک کننده های ویسکو الاستیک در محل تقاطع تیر با ستون در قابهای مهاربندی شده به کار می روند که در آن نیروی برشی از یک پین برشی انتقال می یابد. این وسیله باعث کاهش ۳۰ تا ۶۰ درصد در تغییر مکان جانبی می گردد (شکل ۳).



شکل ۳- مستهلک کننده ویسکو الاستیک در محل تقاطع تیر با ستون

نیروی ایجاد شده توسط هر میراگر به عنوان تابعی از تغییر مکان x و سرعت \dot{x} میراگر ارائه می شود:

$$F = \bar{K}(\omega)x + \bar{C}(\omega)\dot{x}^\alpha \quad (1)$$

که سختی \bar{K} و استهلاک \bar{C} با مدول ذخیره و مدول از دست رفتگی به صورت زیر در ارتباط است:

$$\bar{K} = bG'(\omega) \quad (2)$$

$$\bar{C}(\omega) = \frac{bG''(\omega)}{\omega} \quad (3)$$

در معادله ۲ $G'(\omega)$ که مدول الاستیک را ارائه می دهد مدول ذخیره شده ماده بوده و انرژی قابل بازگشت در طول تغییر شکل را اندازه می گیرد. $\frac{G''(\omega)}{\omega}$ ضریب استهلاک میراگر و $G''(\omega)$ مدول از دست رفتگی می باشد که انرژی از بین رفته در هر سیکل حرکت را اندازه می گیرد و b یک ضریب ابعاد میراگر می باشد که به صورت نسبت مساحت به ضخامت برای لایه ویسکوالاستیک تعریف شده و معادلات ۲ و ۳ به شکل زیر حاصل می شود:

$$\bar{K}(\omega) = \frac{AG'(\omega)}{h} \quad (4)$$

$$\bar{C}(\omega) = \frac{AG''(\omega)}{\omega h} \quad (5)$$

$$\bar{K}(\omega) = \frac{G'(\omega)}{G''(\omega)} \omega \bar{C}(\omega) = \frac{\omega}{\eta(\omega)} \bar{C}(\omega) \quad (6)$$

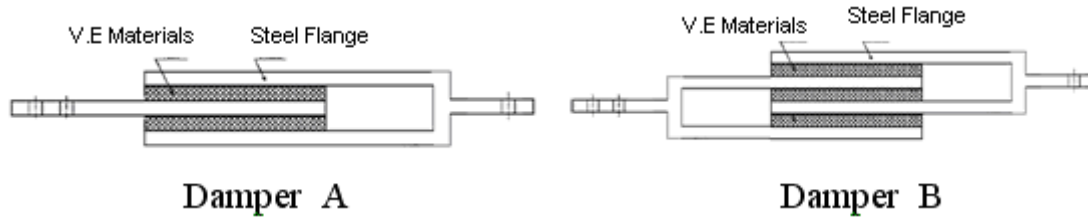
چنانچه رفتار استهلاکی خالص مورد نظر باشد تاثیر فنر با سخت کردن کافی آن قابل چشم پوشی می باشد. چنانچه توان سرعت را برابر یک قرار دهیم حالت خطی میراگر و چنانچه عددی بین ۲/۰ تا ۹/۰ قرار داده شود حالت غیر خطی در میراگر در نظر گرفته می شود

اساساً سیستم ارتعاشی با افزایش سختی و استهلاک تامین شده به وسیله میراگرهای ویسکوالاستیک به صورت خطی باقی می ماند. معادله حرکت برای کل سیستم می تواند به صورت کلی زیر ارائه گردد [۱۱]:

$$M\ddot{x}(t) + (C + \bar{C})\dot{x}(t) + (K + \bar{K})x(t) = f(t) \quad (7)$$

که M ، C و K به ترتیب جرم، استهلاک و سختی سازه اصلی، f تحریک و ماتریسهای ثابت \bar{C} و \bar{K} استهلاک و سختی ایجاد شده در سازه توسط میراگر ارائه می دهد.

دو نوع وسیله استهلاک ویسکوالاستیک ارائه شده در این تحقیق به صورت شکل‌های A و B می باشد (شکل ۴).

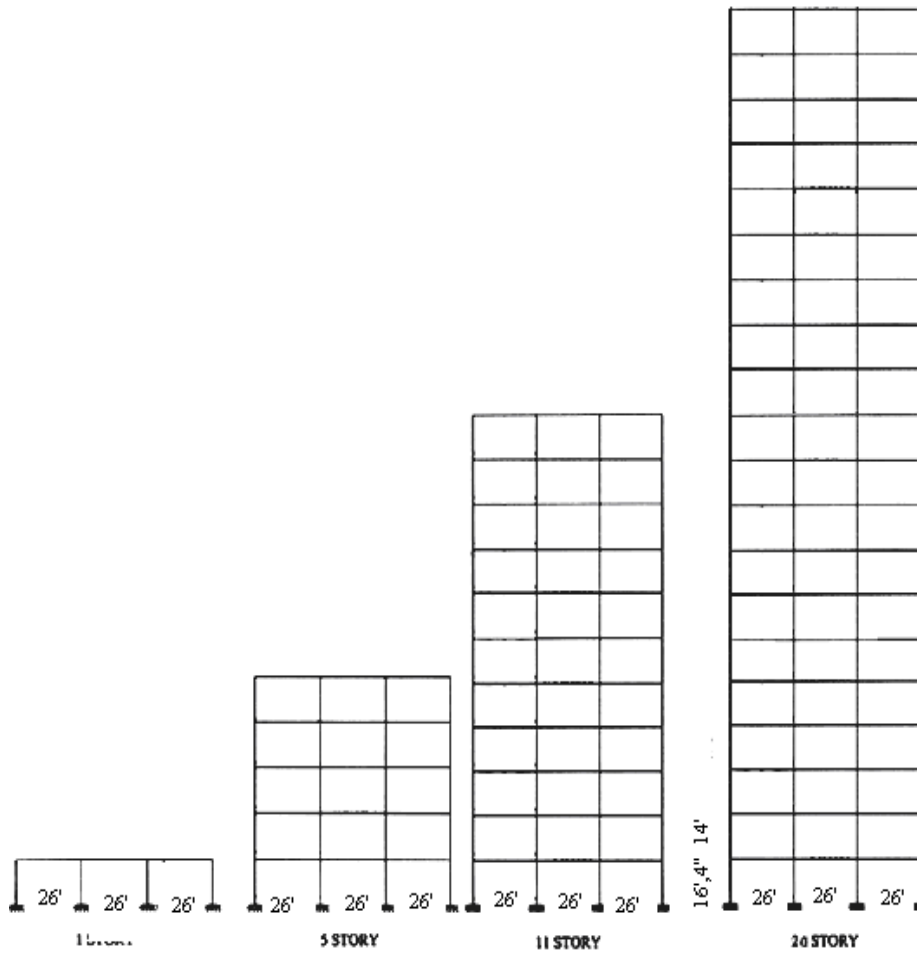


شکل ۴- میراگر ارائه شده در این تحقیق.

با توجه به نمودارهای منتشر شده در مورد خصوصیات مواد ویسکوالاستیک تولید شده توسط شرکت 3M آمریکا مقادیر G' و η برای سه پلیمر ۱۱۰ و ۱۱۲ و ۱۳۰ در فرکانسهای ۰/۱، ۰/۵، ۱، ۵ و ۱۰ هرتز برای حرارت‌های ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد به دست آمده و به وسیله آنها سختی K_d و استهلاک C_d برای دو نوع وسیله استهلاک ویسکوالاستیک ارائه شده در این تحقیق محاسبه گردیده است. میراگر ۱۱۰ در این تحقیق استفاده گردیده است.

۳- سازه‌های بررسی شده در این تحقیق

در این تحقیق از چهار قاب خمشی ۱، ۵، ۱۱ و ۲۰ طبقه در آنالیز استفاده گردیده است. ارتفاع عمومی طبقات قابها ۱۴ ft و ارتفاع قاب در طبقه اول ۴ in، ۱۶ ft می باشد. عرض دهانه‌ها در جهت X، ۲۶ ft و در جهت Y، ۳۵ ft می باشد. قابهای دو بعدی زیر در جهت X می باشند [۱۲]



شکل ۵- قابهای مورد آنالیز در این تحقیق.

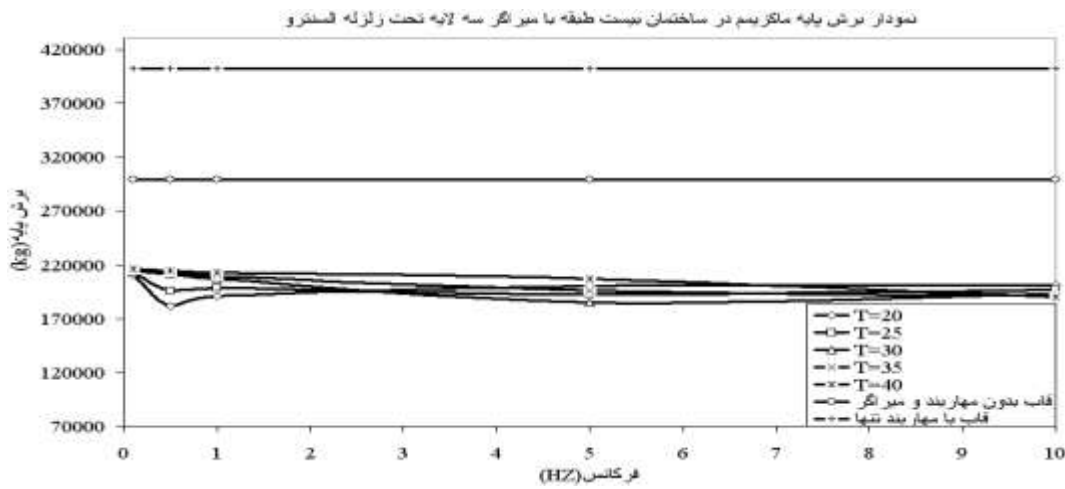
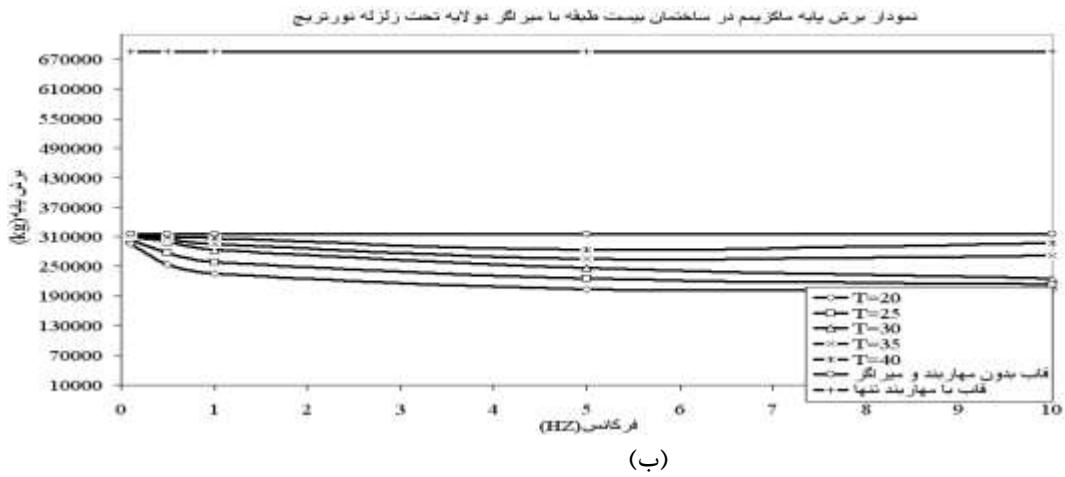
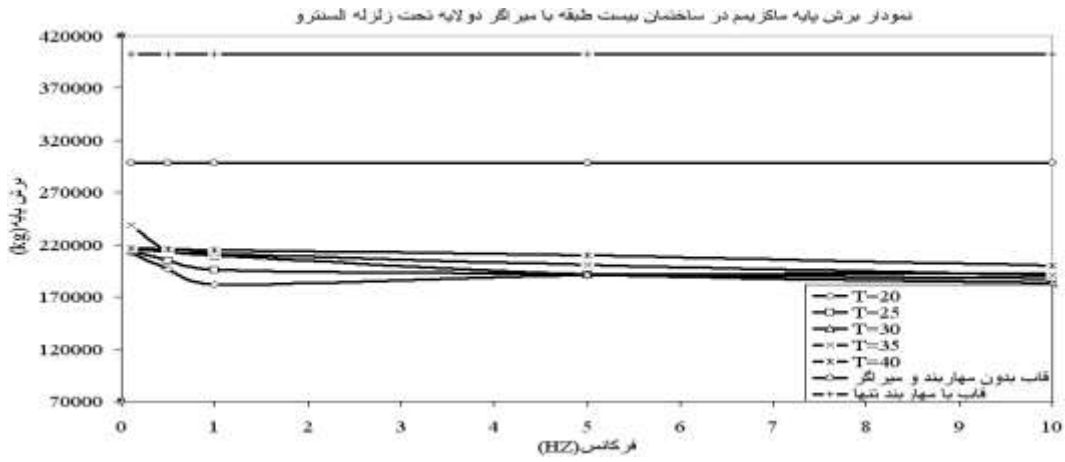
۴- شتابنگاشتهای مورد استفاده

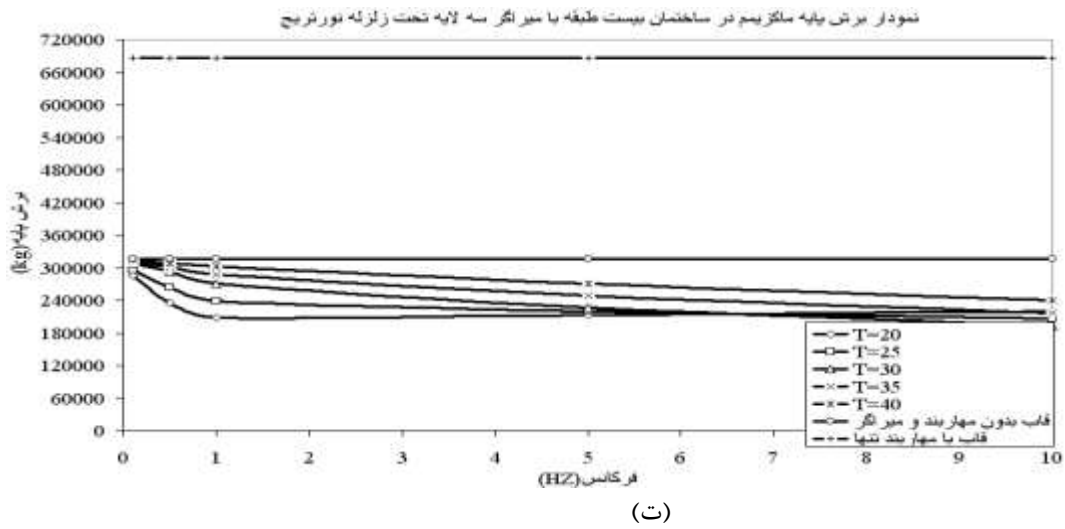
در این پروژه از شتابنگاشتهای سه زلزله السنترو، نورتریج و کوبه استفاده گردیده است.

۵- تاثیر میراگر ویسکوالاستیک در کاهش پاسخ سازه ها

پس از تحلیل دینامیکی سازه های مورد بررسی تحت شتابنگاشتهای زلزله، نتایج تحلیل برای نیروی برشی پایه ماکزیمم و تغییر مکان نسبی حداکثر بام به دست آمد. به عنوان نمونه این نتایج به صورت نمودار هایی (نمودار های (۲) برای قاب بیست طبقه ارائه شده است. در این نمودار ها منظور از فرکانس، فرکانس باری می باشد که به میراگر وارد می شود. در سازه های مورد بررسی میراگر در مهاربند قرار گرفته و به کمک المان لینک در برنامه Sap2000 مدل سازی و تحلیل گردید.

۱-۵ قاب بیست طبقه
۱-۱-۵ برش پایه حداکثر

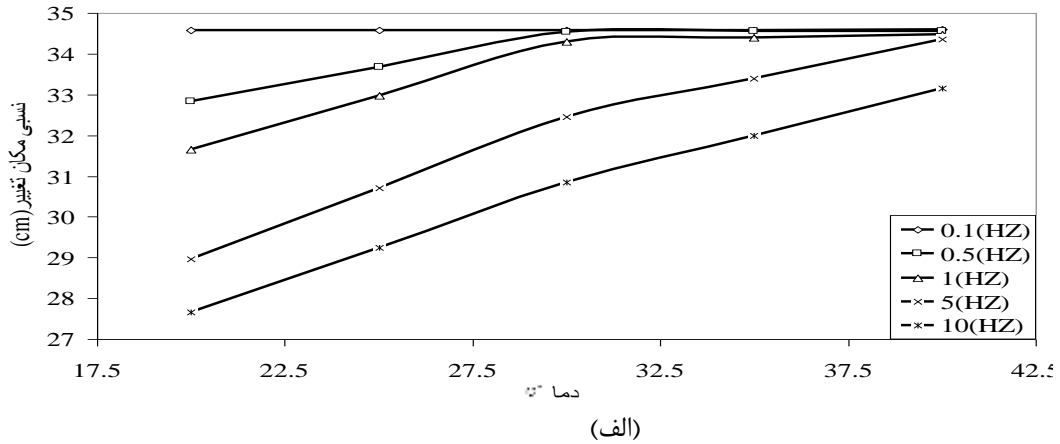




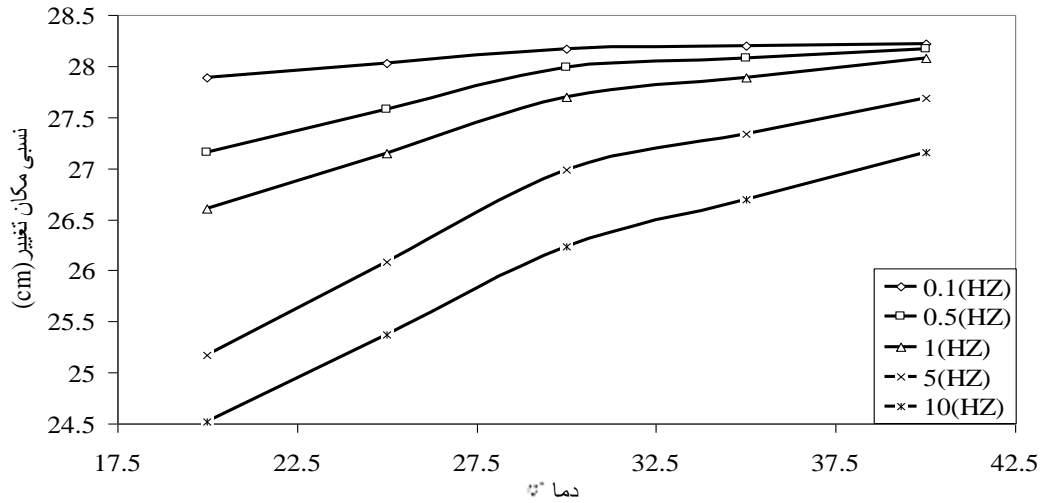
نمودار ۱- الف تا ت، برش پایه ماکزیمم قاب بیست طبقه دو بعدی. (دما = T)

۵-۱-۲ تغییر مکان حداکثر سازه

های فرکانس در حرارت اثر میراگر تحت با طبقه بیست قاب در بام ماکزیمم نسبی مکان تغییر السنترو زلزله در لایه سه حالت در مختلف

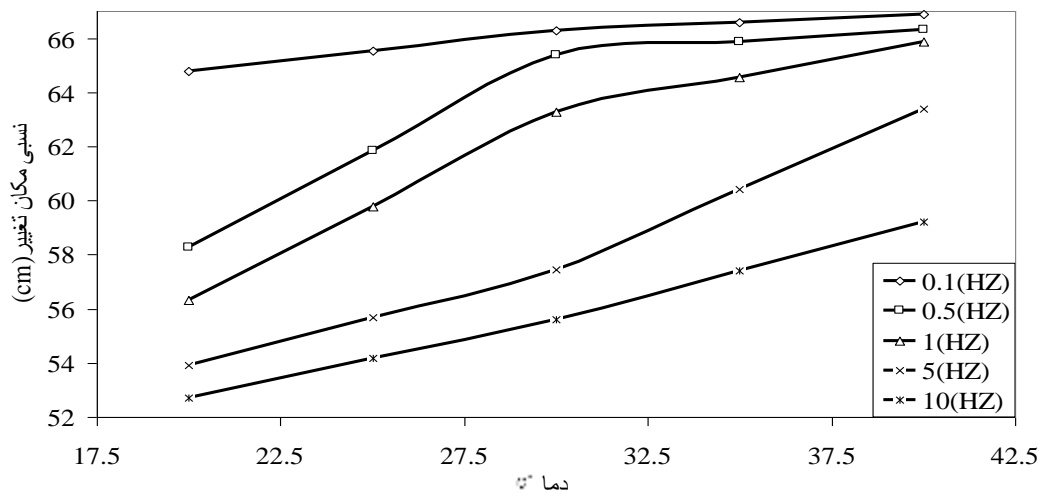


های فرکانس در حرارت اثر میراگر تحت با طبقه بیست قاب در بام ماکزیمم نسبی مکان تغییر نورتریج زلزله در لایه سه حالت در مختلف



(ب)

های فرکانس در حرارت اثر میراگر تحت با طبقه بیست قاب در بام ماکزیمم نسبی مکان تغییر کوبه زلزله در لایه سه حالت در مختلف



(پ) نمودار ۲- الف تا پ، نمودار های تغییر مکان حداکثر سازه

۶- نتیجه گیری نهایی و پیشنهادها

(۱) با نصب مستهلک کننده ویسکوالاستیک، مقدار زیادی از انرژی توسط آن جذب شده و منجر به کاهش خسارات وارد به سایر اعضای سازه ای و بهبود رفتار لرزه ای سازه می گردد.

(۲) آنچه که در بررسی نمودار های مختلف نتیجه می شود این است که با افزایش فرکانس بار عملکرد میراگر به صورت چشمگیری بهتر می شود ولی با افزایش دمای محیط رفتار عکس شده و عملکرد بدتر می شود .

(۳) با توجه به نمودار های مربوط به حداکثر شتاب و تغییر مکان نسبت به زمین می توان فهمید که تغییر دما در فرکانسهای پایین تاثیر کمتری نسبت به فرکانسهای بالاتر دارد

(۴) افزایش تعداد لایه ها در فرکانس های پایین و همچنین دماهای بالا آنچنان تاثیر گذار نخواهد بود.
 (۵) عملکرد این مستهلک کننده ها در کاهش تغییر مکان ماکزیمم بام نسبت به زمین در سازه های مختلف به صورت جدول ۱ می باشد.

جدول ۱- درصد کاهش تغییر مکان ماکزیمم در سازه های مختلف تحت زلزله های مختلف

درصد کاهش تغییر مکان ماکزیمم در سازه های مختلف			
زلزله	السنتر	نورتریج	کوبه
یک طبقه	۸ - ۴۲	۱۵ - ۳۳	۱۴ - ۲۴
پنج طبقه	۹ - ۴۱	۱۳ - ۲۴	۱۲ - ۱۸
یازده طبقه	۶ - ۳۶	۴ - ۲۴	۴ - ۲۶
بیست طبقه	۴ - ۲۴	۸ - ۱۹	۴ - ۲۳

(۶) تغییر شکل های غیر الاستیک در اعضای سازه ای ناشی از زلزله های متوسط تا قوی موجب به وجود آمدن تخریب های موضعی در این اعضا و تشکیل مفاصل پلاستیک در آنها می شود. تشکیل مفصل پلاستیک به نوبه خود موجب مستهلک شدن انرژی می شود ولی این اتلاف انرژی در حقیقت بعد از تخریب اجزای اصلی سازه حاصل می شود. در صورتیکه هدف ما حفظ این اعضای اصلی باشد نمیتوان انتظار اتلاف انرژی زیادی از سازه داشت. بنابر این باید به ترتیبی هم اتلاف انرژی را بالا برد و هم اعضای سازه ای را از تخریب حفظ نمود. همانطوریکه دیده می شود هم در سازه های کوتاه مرتبه و هم بلند مرتبه با نصب میراگر ها می توان به این هدف رسید.

(۷) عملکرد این مستهلک کننده ها در کاهش برش پایه ماکزیمم در سازه های مختلف به صورت جدول ۲ می باشد که با افزایش طبقات تاثیر این میراگرها در کاهش برش پایه ماکزیمم افزایش می یابد.

جدول ۲- درصد کاهش برش پایه ماکزیمم در سازه های مختلف تحت زلزله های مختلف.

درصد کاهش برش پایه ماکزیمم در سازه های مختلف			
زلزله	السنتر	نورتریج	کوبه
یک طبقه	۲۰ - ۴۸	۲۴ - ۳۸	۴ - ۱۳
پنج طبقه	۳۵ - ۴۹	۴۵ - ۵۴	۳۳ - ۴۲
یازده طبقه	۲۹ - ۴۷	۲۰ - ۳۳	۴۸ - ۵۵
بیست طبقه	۴۶ - ۵۰	۵۴ - ۶۸	۴۳ - ۵۱

پیشنهادهایی که در ادامه می توان ارائه نمود به شرح زیر می باشد :

- (۱) با توجه به اینکه در این تحقیق عملکرد این میراگر ها در قابهای با مهاربندی ضربدری بررسی شده است می توان عملکرد این مستهلک کننده ها را در قابهای با مهاربندی شورون (chevron) بررسی نمود و نتایج را با یکدیگر مقایسه کرد.
- (۲) می توان دیگر انواع میراگر های ویسکوالاستیک که توسط شرکت 3M آمریکا تولید می گردد را مورد بررسی قرار داد و نتایج را با نتایج این تحقیق مقایسه نمود.
- (۳) عملکرد این مستهلک کننده ها در سازه های بلندتر از بیست طبقه قابل بررسی می باشد.

(۴) با توجه به اینکه در سازه‌ها سیستم‌های دو گانه (همزمان سیستم‌های فعال و غیر فعال) مورد استفاده قرار می‌گیرند بنابراین می‌توان عملکرد میراگرهای ویسکوالاستیک را همزمان با دیگر انواع سیستم‌های استهلاکی مورد بررسی قرار داد.

منابع

- [1] Tsai, C. S. , Lee, H. H. "Applications of viscoelastic dampers to high-rise buildings", Journal of Structural Engineering, (1993), Vol. 119 No. 4, pp. 1222-31222-3.
- [2] Lai, M. L. , Chang, K. C. , Soong, T. T. , Hao, D. S. , Yeh, Y. C. "Full-scale viscoelastically damped steel frame", Journal of Structural Engineering, ASCE, (1995), Vol. 121 No. 10, pp. 1443-7.
- [3] Chang, K. C. , Soong, T. T. , Oh, S-T. , Lai, M. L. "Seismic behavior of steel frame with added viscoelastic dampers", Journal of Structural Engineering, ASCE, (1995), Vol. 121 No. 10, pp. 1418-26.
- [4] Kang-Pyo Cho, Jack E. Cermak "Viscoelastic damping for wind excited motion of a building frame" Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, October 1998.
- [5] Maria Gabriella Castellano "Viscoelastic Dampers for Seismic Protection of Buildings" Earthquake Engineering Research Institute, October 2001.
- [6] Jinkoo Kim, Sunghyuk Bang "Optimum distribution of added viscoelastic dampers for mitigation of torsional responses of plan-wise asymmetric structures" Engineering Structures, December 2002.
- [7] Kyung Won Min a, Jinkoo Kim "Vibration tests of 5-storey steel frame with viscoelastic dampers" Engineering Structures, July 2004.
- [8] Jinkoo Kima, Jingoek Ryu "Seismic performance of structures connected by viscoelastic dampers" Engineering Structures, December 2000.
- [9] Samali, B. , Kwok, K. C. S. "Use of viscoelastic dampers in reducing wind- and earthquake-induced motion of building structures", Engineering Structures, (1995), Vol. 17 No. 9, pp. 639-54.
- [10] Miyazaki, Mitsumasa Midorikawa "new design technologies" Earthquake Engineering Research Institute, October 1999.
- [11] Chang, Tsu-sheng "Seismic Response of Structures with Added Viscoelastic Dampers" Engineering Science and Mechanics, July 2002.
- [12] H. Kit Miyamoto, M. EERI, and J. P. Singh, M. EERI "Performance of Structures with Passive Energy Dissipators" Earthquake Spectra, February 2002.