



بررسی تأثیر میراگرهای ویسکوالاستیک بر پاسخ لرزه ای سازه های فولادی

مهران شریفی^۱، جعفر کیوانی^۲، پیمان همایی^۳

1- کارشناس ارشد عمران - زلزله، دانشگاه خوارزمی تهران

Mehran.civil83@gmail.com

2- استادیار گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران

jkeyvani@yahoo.com

3- استادیار گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران

homami@khu.ac.ir

چکیده

در این مقاله، نقش و اهمیت میراگرهای ویسکوالاستیک در کاهش پاسخ لرزه ای سازه های فولادی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، شش مدل 5، 10، 15، 20، 25 و 30 طبقه فلزی سه بعدی در دو حالت بدون میراگر و مجهز به میراگر، با استفاده از هفت رکورد زلزله توسط نرم افزار (SAP2000 (Ver.14.1) به روش تاریخچه زمانی غیر خطی تحلیل شده اند. پارامتر لرزه ای مورد بررسی تغییر مکان مطلق بام می باشد. نتایج حاصل از تحلیل ها نشان داد که میراگر ویسکوالاستیک در تمام موارد موجب کم شدن تغییر مکان مطلق بام در نتیجه اصلاح رفتار سازه می شود. اما مشاهده شد که میزان تأثیر میراگر بر این پارامتر با بالا رفتن ارتفاع مدل ها کمتر می شود.

واژه های کلیدی: کنترل غیر فعال، میراگر ویسکوالاستیک، مدل سه بعدی، میرایی الحاقی، تحلیل تاریخچه زمانی.

1. مقدمه

پدیده های طبیعی مانند زلزله و باد در طول تاریخ عامل تخریب سازه های ساختمانی و در نتیجه تلفات جانی و مالی بسیار بوده اند. این عوامل موجب گردیده که بشر برای به حداقل رساندن این تخریب ها و تلفات به مطالعه و تحقیق در این زمینه بپردازد. از جمله راه کارهایی که اخیراً مورد توجه بسیاری قرار گرفته است، سیستم های کنترل سازه ای است که در سه گروه فعال، نیمه فعال و غیر فعال تقسیم بندی می شوند. این سیستم ها با جذب و استهلاك انرژی ناشی از ارتعاش موجب کاهش پاسخ ها و اصلاح رفتار سازه می شوند.

¹ کارشناس ارشد عمران - زلزله

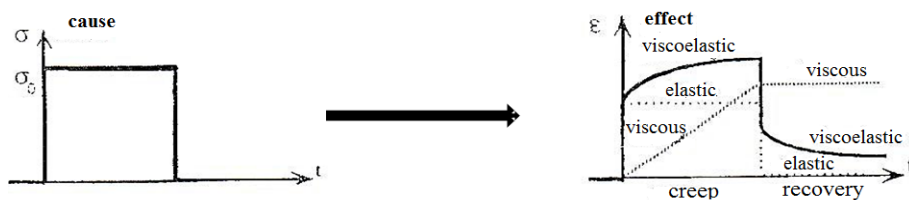
² استادیار گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی

³ استادیار گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی

سیستم های سازه ای که تاکنون برای مقابله با ارتعاشات و تحریکات ناشی از زلزله و باد مورد استفاده قرار گرفته اند، سیستم های قاب خمشی، بادبندی، دوگانه و انواع آن ها بوده اند. این سیستم ها اگرچه کارآمدی خود را در مقابله با نیروهای جانبی نشان داده ، اما مشکلاتی همچون استفاده از مقاطع بزرگ و سنگین، جزئیات اجرایی زیاد، محدودیت های معماری، محدودیت در کاهش پاسخ سازه ها و . . . ، باعث شده است که امروزه علاوه بر این سیستم ها، مهندسان به سراغ راه کارهای مفید تری بروند که استفاده از میراگر ها یکی از این راه کارهاست. اما به دلیل گران بودن میراگر استفاده از آن همیشه اقتصادی و مقرون به صرفه نیست، یا لازم است با توجه به یک توزیع بهینه در ارتفاع از آن ها استفاده کنیم. در این تحقیق چندین سازه با ارتفاع های مختلف از کوتاه تا بلند مدل می شوند و میراگر ویسکوالاستیک به صورت یکنواخت در ارتفاع در همه مدل ها توزیع می شود و نقش میراگر در کاهش پاسخ تک تک سازه ها مورد بررسی قرار می گیرد. هدف این است که تاثیر میراگر ویسکوالاستیک بر روی رفتار این مدل ها بررسی شود و میزان کارایی این میراگر در هر کدام از مدل ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

2. مواد ویسکوالاستیک

مواد ویسکوالاستیک موادی هستند که به صورت همزمان دارای خاصیت های ویسکوز و الاستیسیته هستند و مانند بسیاری از مواد به طور کامل از قانون هوک پیروی نمی کنند. در این مواد رابطه بین تنش و کرنش به زمان بستگی دارد و با ثابت نگه داشتن تنش، با گذشت زمان کرنش افزایش می یابد که به این پدیده خزش¹ می گویند، همچنین مواد ویسکوالاستیک بعد از تغییر شکل با گذشت زمان دوباره مقاومت اولیه خود را باز می یابند که به این خاصیت بازیافت² می گویند. شکل 1 پدیده خزش و بازیافت را در مواد الاستیک، ویسکوز و ویسکوالاستیک تحت تنش یکنواخت وابسته به زمان نشان می دهد [1].



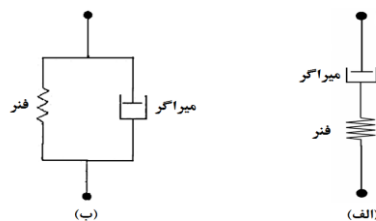
شکل (1): مقایسه بین منحنی های خزش و بازیافت بر حسب زمان در مواد مختلف

برای توصیف رفتار مواد ویسکوالاستیک در تحقیقات گذشته از دو مدل Maxwell و Kelvin-Voigt استفاده شده است. در مدل Maxwell رفتار ماده به صورت یک فنر و میراگر خطی که به صورت سری قرار

¹ Creep

² Recovery

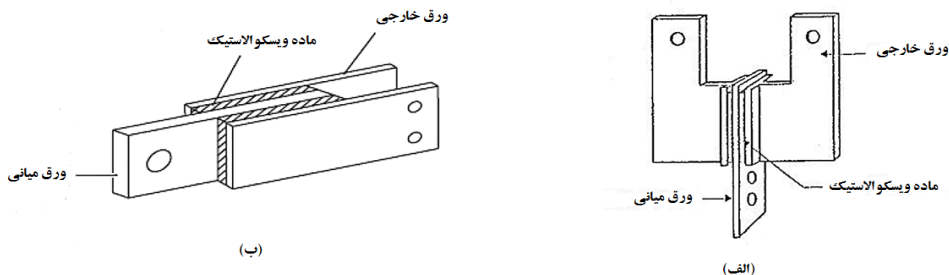
گرفته اند، در نظر گرفته می شود در صورتی که در مدل Kelvin-Voigt رفتار ماده به صورت یک فنر و میراگر خطی که به صورت موازی قرار گرفته اند در نظر گرفته می شود. آزمایش های به عمل آمده نشان داده است که مدل Maxwell با موادی که خواص آن ها وابستگی شدیدی به فرکانس تحریک های ورودی دارد تطابق بیشتری دارد. لذا از این مدل بیشتر برای میراگرهای ویسکوز مایع استفاده می شود. در نتیجه مدل Kelvin-Voigt برای میراگرهای ویسکوالاستیک جامد مناسب تر است. در این پژوهش نیز برای مدل سازی مواد ویسکوالاستیک از مدل Kelvin-Voigt استفاده شده است. شکل 2 نمای کلی مدل Maxwell و Kelvin-Voigt را نشان می دهد [1].



شکل (2) : (الف): مدل Maxwell و (ب): مدل Kelvin-Voigt

3. میراگر ویسکوالاستیک

این میراگرها معمولاً از لایه های پلیمری با خاصیت ویسکوالاستیک محصور بین ورق های فولادی تشکیل می شوند که تحت تاثیر حرکت، انرژی ورودی را به گرما تبدیل می کنند. زمانی که این میراگرها در سازه قرار می گیرند تحریک سازه ای سبب حرکت نسبی بین ورق های فولادی خارجی و میانی می گردد و تغییر شکل برشی باعث اتلاف انرژی به صورت گرما می شود. شکل 3 دو نمونه میراگر ویسکوالاستیک به همراه اجزای تشکیل دهنده آن ها را نشان می دهد [2].



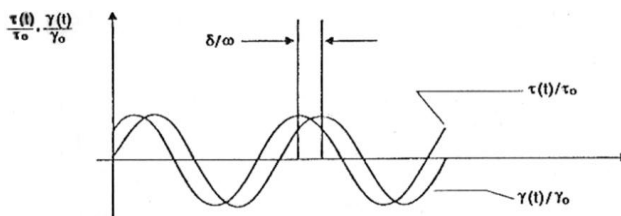
شکل (3) : دو نمونه میراگر ویسکوالاستیک

کاربرد این میراگرها در سازه های مهندسی عمران در سال 1969 آغاز شد. هنگامی که ده هزار میراگر ویسکوالاستیک در هر یک از برج های دو قلوی سازمان تجارت جهانی در شهر نیویورک جهت مقابله با ارتعاشات حاصل از باد نصب گردیدند [3].

تحت یک بارگذاری سینوسی با فرکانس ω و با در نظر گرفتن کرنش برشی $\gamma(t)$ و تنش برشی $\tau(t)$ ، یک ماده ویسکوالاستیک خطی در همان فرکانس ω نوسان می کند. اما در حالت کلی دارای یک اختلاف فاز می باشد. این مقادیر با رابطه زیر بیان می شوند [2]:

$$\gamma(t) = \gamma_0 \sin \omega t, \quad \tau(t) = \tau_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (1)$$

که در آن همان طوری که در شکل 4 نشان داده شده است τ_0 و γ_0 به ترتیب بیشینه کرنش برشی و بیشینه تنش برشی و δ زاویه تاخیر فاز است. برای یک γ_0 مشخص هر یک از مقادیر τ_0 و δ تابعی از ω هستند [2].



شکل (4): تنش و کرنش برشی تحت بارگذاری سینوسی.

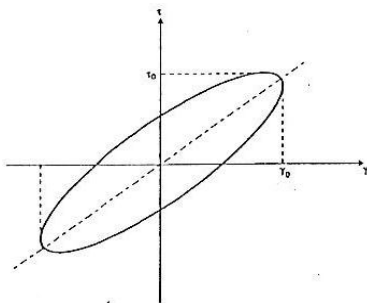
تنش برشی را نیز با توجه به مدل Kelvin-Voigt می توان چنین نوشت [2]:

$$\tau(t) = \gamma_0 [G'(\omega) \sin \omega t + G''(\omega) \cos \omega t] \quad (2)$$

$$G''(\omega) = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \sin \delta, \quad G'(\omega) = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cos \delta \quad (3)$$

$$\tau_0 = G'(\omega) \gamma_0 \pm G''(\omega) [\gamma_0' - \gamma_0'(t)]^{1/2} \quad (4)$$

که رابطه بالا یک بیضی مطابق شکل 5 را مشخص می کند که سطح داخلی آن انرژی تلف شده توسط ماده ویسکوالاستیک در واحد حجم و برای هر سیکل نوسانی را نشان می دهد [2].



شکل (5): نمودار تنش - کرنش یک ماده ویسکوالاستیک [4].

از معادله (4) این طور استنباط می شود که عبارت اول، تنش برشی هم فاز بخش $G'(\omega)$ که بیانگر مدول الاستیک است، می باشد و عبارت دوم یا بخش غیر هم فاز، مقدار اتلاف انرژی را نشان می دهد. با بازنویسی معادله (2) به شکل زیر این موضوع واضح تر می شود [2]:

$$\tau(t) = G'(\omega)\gamma(t) + \frac{G''(\omega)}{\omega}\dot{\gamma}(t) \quad (5)$$

بنابراین $G'(\omega)$ به عنوان مدول ذخیره برشی ماده ویسکوالاستیک تعریف می شود که اندازه ای از انرژی ذخیره شده و بازیافت شده برای هر سیکل است و $G''(\omega)$ به عنوان مدول برشی از دست رفته تعریف می شود که اندازه ای از انرژی تلف شده در هر سیکل را مشخص می کند. ضریب افت η چنین تعریف می شود [2]:

$$\eta = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} = \tan \delta \quad (6)$$

پس در نتیجه کمیت $\frac{G''(\omega)}{G'(\omega)}$ ضریب میرایی ماده میراگر و نسبت میرایی معادل چنین است [2]:

$$\xi = \frac{G''(\omega)}{\omega} \left[\frac{\omega}{2G'(\omega)} \right] = \frac{G''(\omega)}{2G'(\omega)} = \frac{\eta}{2} \quad (7)$$

این طور استنباط می شود که دو مدول $G'(\omega)$ و $G''(\omega)$ و رفتار دینامیکی ماده ویسکوالاستیک خطی را در برش تحت تحریک هارمونیک درحوزه زمان تعیین می کند. این مدول ها نه تنها تابعی از فرکانس تحریک ω هستند، بلکه تابعی از دمای محیط و در بعضی مواقع کرنش برشی هستند. عامل دیگری که می تواند در ارزیابی عملکرد میراگرهای ویسکوالاستیک مهم باشد تغییرات درجه حرارت داخلی مواد آن ها در هنگام عملکرد آن ها است. به این دلیل که انرژی در قالب حرارت تلف و باعث افزایش دمای ماده ویسکوالاستیک می شود [2].

در یک حرارت محیطی مفروض و تحت کرنش های میانی، تنش در ماده ویسکوالاستیک نسبت به کرنش و نرخ آن، تحت حرکت هارمونیک، به شکل خطی می باشد. برای یک میراگر ویسکوالاستیک با پیکر بندی شکل 3 با کل سطح برشی A و کل ضخامت h رابطه نیرو - جابجایی متناظر آن چنین است [2]:

$$F(t) = \bar{K}(\omega)x(t) + \bar{C}(\omega)\dot{x}(t) \quad (8)$$

جایی که:

$$\bar{K}(\omega) = \frac{AG'(\omega)}{h}, \quad \bar{C}(\omega) = \frac{AG''(\omega)}{\omega h}, \quad \bar{K}(\omega) = \frac{\bar{C}(\omega)\omega}{\eta} \quad (9)$$

اگر از تغییر شکل های مدی به علت اضافه کردن میراگرها بتوان صرف نظر نمود، میرایی و سختی مدی ناشی از اضافه کردن میراگرهای ویسکوالاستیک را می توان به وسیله روش انرژی کرنش مدی اصلاح نمود و نسبت میرایی مد i ام به علت اضافه نمودن میراگرهای ویسکوالاستیک را می توان توسط رابطه زیر محاسبه کرد [4]:

$$\xi_i = \frac{\eta[\omega_i]}{2} \left[1 - \frac{\omega_i^2}{\bar{\omega}_i^2} \right] \quad (10)$$

که ω_i فرکانس مد i ام متناظر با سازه اصلی است و $\bar{\omega}_i$ فرکانس مد i ام سازه مجهز شده به میراگر ویسکوالاستیک است.

4. مدل سازی و روش تحلیل

در این مقاله از شش مدل 5، 10، 15، 20، 25 و 30 طبقه فلزی سه بعدی استفاده شده است که همگی دارای پلان یکسان هستند. تمام مدل ها در هر یک از دو جهت دارای چهار دهانه و به اندازه 5 متر می باشند. برای جلوگیری از اثرات پیچشی خروج از مرکزیت مرکز جرم و مرکز سختی، در مدل ها خروج از مرکزیت منظور نشده است تا اثر میراگرهای ویسکوالاستیک بهتر مشخص شود و عوامل دیگری در آن دخیل نباشند. ارتفاع سازه ای طبقات در تمامی مدلها 3/2 متر در نظر گرفته شده است.

مقادیر بارهای مرده و زنده بر مبنای مقادیر معمول برای کف سازی ساختمان ها و بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران می باشد که مقادیر آن در جدول 1 درج شده است.

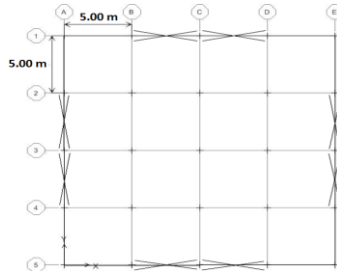
جدول (1) : مقادیر بارهای ثقلی

| نوع بار | بار مرده پشت بام | بار مرده طبقات | بار زنده پشت بام | بار زنده طبقات | بار دیوار های جانبی |
|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| مقدار فرض شده | 500 kg/m^2 | 600 kg/m^2 | 150 kg/m^2 | 200 kg/m^2 | 800 kg/m |

بارگذاری زلزله مدل ها با فرض منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد و خاک نوع دو و ساختمان با اهمیت متوسط و مطابق با ویرایش سوم استاندارد 2800 ایران انجام پذیرفته است [5]. جهت دستیابی به مقاطع منطقی، ابتدا تمام مدل ها بدون در نظر گرفتن میراگرها مورد تحلیل استاتیکی قرار گرفته و طراحی شده اند. آنالیز سازه در حالت استاتیکی با استفاده از نرم افزار SAP2000 (Ver.14.1) انجام شده است. طراحی سازه ها نیز بر مبنای آیین نامه AISC-ASD 89 صورت گرفته است. در تمامی مدل ها برای ستونها از مقاطع باکس استفاده شده است تا در دو جهت مقاومت یکسانی در برابر خمش داشته باشد، همچنین برای تیرها از مقاطع استاندارد IPE استفاده شده است.

در تمام مدل های سازه ای، میراگرها در قاب های کناری در دو جهت و در دو دهانه ی وسط قرار داده شده اند که در شکل 6 محل آن ها در پلان مشخص شده است. توزیع میراگرها در ارتفاع نیز به طور یکنواخت انجام شده است و مشخصات تمام میراگرها در یک مدل یکسان است. در جایگذاری میراگرها در سازه هدف این بوده است که تقارن برقرار گردد و از ایجاد نامنظمی و پیچش در سازه جلوگیری شود تا اثر میراگرها بر پاسخ سازه قابل مقایسه با سازه بدون میراگر بوده و تنها اثر میرایی آنها دیده شود. میراگرها در محل بادبند قطری قرار

داده شده اند و در هنگام زلزله در یک جهت یکی از آن ها در کشش و دیگری در فشار عمل می کند و اثر کششی و فشاری میراگرها همزمان دیده می شود.



شکل (6): پلان تیپ مدل های سازه ای و محل میراگرها در پلان

مشخصات میراگر ویسکوالاستیک با استفاده از روابط بند 3 برای هر مدل محاسبه می شود. با توجه به مطالعات گذشته، از جمله آزمایش های Chang و همکاران [2] بر روی سه نوع ماده ویسکوالاستیک، در این مقاله ماده ویسکوالاستیک با ضریب افت $\eta = 1/13$ در نظر گرفته شده است. هدف این است که در تمامی مدل ها بعد از اضافه کردن میراگر، میزان میرایی الحاقی کل سازه به 20 درصد برسد. روش کار این گونه است که ابتدا برای میراگر مربوط به هر کدام از مدل ها، یک مقدار ضریب میرایی C فرض می شود، سپس با استفاده از رابطه (9) و داشتن فرکانس مود اول و دوم سازه بدون میراگر و داشتن ضریب افت η ، مقدار ضریب سختی K میراگر مورد نظر محاسبه می شود.

جدول (2): مشخصات میراگرها و مدل های مجهز به میراگر

| شماره مدل | تعداد طبقات | ضریب افت η | فرکانس اولیه ω_1 (Rad/sec) | ضریب میرایی C (kNs/mm) | ضریب سختی K (kN/mm) | پریود ثانویه T_1 (sec) | فرکانس ثانویه $\bar{\omega}_1$ (Rad/sec) | درصد میرایی الحاقی ξ % |
|-----------|-------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--|----------------------------|
| 1 | 5 | 1/13 | 6/68 | 1/50 | 8/95 | 0/76 | 8/27 | 19/40 |
| 2 | 10 | 1/13 | 4/00 | 4/00 | 14/16 | 1/27 | 4/95 | 19/60 |
| 3 | 15 | 1/13 | 3/57 | 10/00 | 31/60 | 1/41 | 4/46 | 20/30 |
| 4 | 20 | 1/13 | 3/24 | 22/00 | 63/8 | 1/54 | 4/7 | 20/60 |
| 5 | 25 | 1/13 | 3/08 | 38/00 | 103/58 | 1/62 | 3/88 | 20/80 |
| 6 | 30 | 1/13 | 2/62 | 60/00 | 139/00 | 1/92 | 3/27 | 20/30 |

5. نرم افزار و المان های مورد استفاده

برای تحلیل مدل های سازه ای بدون میراگر و مجهز به میراگر جهت بررسی تأثیر میراگرها از نرم افزار SAP 2000(Ver.14.1) استفاده شده است. برای انجام تحلیل ها از آنالیز تاریخچه زمانی غیر خطی NonLinear Time History و با روش حل انتگرال گیری مستقیم Direct Integration استفاده شده

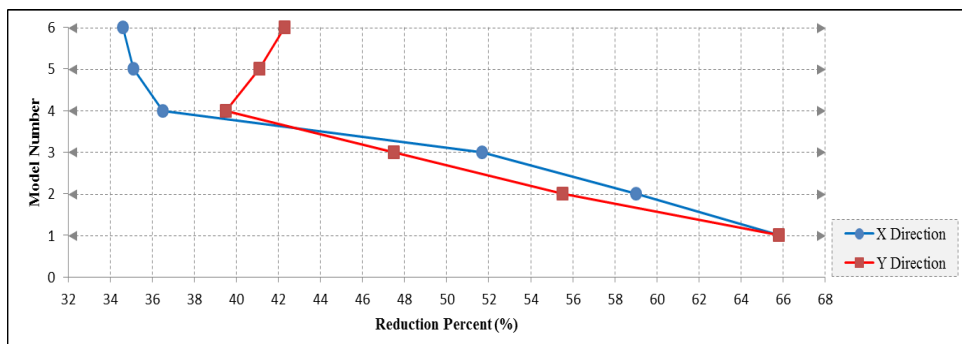
است. روش انتگرال گیری انتخاب شده در این آنالیز، Hiber Hughes-Taylor می باشد. میرایی سازه نیز به روش Specify Damping by period در تحلیل ها مد نظر قرار گرفته است.

برای مدل سازی میراگر ویسکوالاستیک در محیط نرم افزار SAP2000 از المان لینک دو گرهی Two-Joint Link استفاده شده است. المان لینک استفاده شده از نوع خطی Linear است. این المان می تواند در جهات مختلف دارای سختی و میرایی باشد و میراگر ویسکوالاستیک نیز توسط این المان لینک و توسط دو پارامتر ضریب سختی و ضریب میرایی مدل می شود. علت استفاده نکردن از المان دمپر Damper نرم افزار SAP2000، سری بودن فنر و میراگر در آن است. در حالی که در المان خطی Linear این دو ویژگی به صورت موازی با یکدیگر قرار داشته که مطابق با نحوه قرار گیری فنر و میراگر در مدل Kelvin-Voigt می باشد. در تمامی آنالیزها از مدل Kelvin-Voigt و شکل استقرار قطری استفاده شده است. درجات آزادی دو سر این المان به گونه ای محدود شده است که حرکت فقط در جهت محور المان پذیر باشد.

در این مقاله از هفت زلزله Northridge-01, San Fernando, Tabas, Loma Prieta, Landers و Kobe و Hector Mine که هر کدام شامل دو رکورد زلزله افقی می باشند، جهت انجام آنالیزهای سازه ای استفاده شده است. در انتخاب شتاب نگاشت ها سعی شده است تا حد امکان نمایان گر حرکت واقعی زمین باشند.

6. بررسی یافته ها

پارامتری که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است، تغییر مکان مطلق بام می باشد به صورتی که هر شش مدل برای در نظر گیری اثر همزمانی مولفه های افقی زلزله در دو جهت X و Y یکبار بدون حضور میراگر و بار دیگر در حالت معجزه به میراگر مورد تحلیل تاریخچه زمانی قرار گرفتند و نتایج مورد نظر حاصل شد. در شکل 7 کاهش تغییر مکان مطلق بام بر اثر میراگر به صورت درصد نمایش داده شده است، همچنین مقادیر این تغییر مکان ها و درصد کاهش در آن ها در جدول 3 در دو جهت X و Y ذکر شده است.



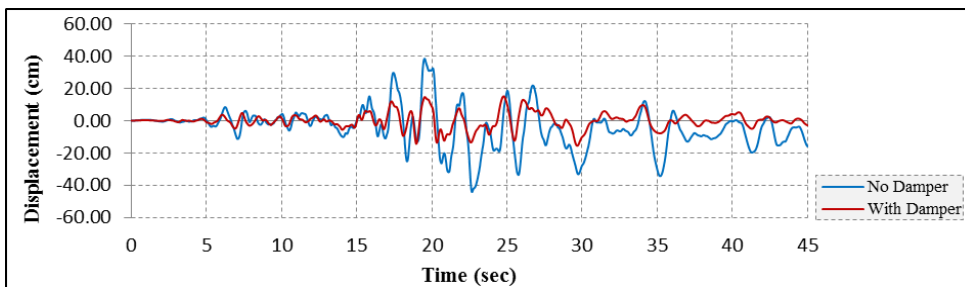
شکل (7): نمودار درصد کاهش در تغییر مکان مطلق بام برای شش مدل مورد بررسی، با میراگر و بدون میراگر در دو جهت

Y, X

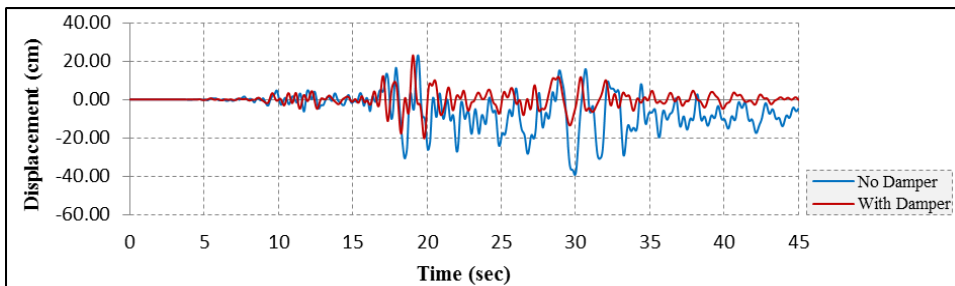
جدول (3): مقادیر تغییر مکان مطلق شش مدل مورد بررسی با میراگر و بدون میراگر و درصد کاهش آن ها در دو جهت X، Y

| شماره مدل | تعداد طبقات | جهت X | | | جهت Y | | |
|-----------|-------------|------------------|----------------|---------------|------------------|----------------|---------------|
| | | بدون میراگر (cm) | با میراگر (cm) | درصد کاهش (%) | بدون میراگر (cm) | با میراگر (cm) | درصد کاهش (%) |
| 1 | 5 | 17/2 | 5/9 | 65/8 | 21/9 | 7/5 | 65/8 |
| 2 | 10 | 28/1 | 11/5 | 59/0 | 32/6 | 14/5 | 55/5 |
| 3 | 15 | 40/3 | 19/5 | 51/7 | 46/9 | 24/7 | 47/5 |
| 4 | 20 | 45/8 | 29/1 | 36/5 | 59/4 | 35/9 | 39/5 |
| 5 | 25 | 52/0 | 33/8 | 35/1 | 67/1 | 39/5 | 41/1 |
| 6 | 30 | 61/3 | 40/1 | 34/6 | 84/7 | 48/9 | 42/3 |

برای نمایش تاثیر میراگر ویسکوالاستیک در طول مدت زمان زلزله در دو شکل 8 و 9 تاریخچه زمانی تغییر مکان مطلق بام در دو مدل 15 و 20 طبقه تحت رکورد های دو زلزله Hector Mine و Kobe به عنوان نمونه نشان داده شده است.



شکل (8): تاریخچه زمانی تغییر مکان مطلق بام مدل 15 طبقه با میراگر و بدون میراگر تحت رکورد زلزله Hector Mine در جهت X



شکل (9): تاریخچه زمانی تغییر مکان مطلق بام مدل 20 طبقه با میراگر و بدون میراگر تحت رکورد زلزله Kobe در جهت X

7. خلاصه و نتیجه گیری

- 1- با افزایش ارتفاع مدل های مورد بررسی، تغییر مکان مطلق بام با یک روند صعودی تقریباً خطی نسبت به ارتفاع، افزایش پیدا کرد و با افزودن میراگر ویسکوالاستیک به این مدل ها همین روند، البته با شیب کمتر مشاهده شد. به این دلیل که فاصله مقداری تغییر مکان ها کمتر شده بود.
- 2- با افزایش ارتفاع سازه، کاهش در تغییر مکان مطلق بام از مدل 5 طبقه تا مدل 20 طبقه از 66 درصد به حدود 38 درصد رسیده است که این امر نشان دهنده کاهش تاثیر گذاری میراگر ویسکوالاستیک بر تغییر مکان مطلق بام در این محدوده است، لیکن از مدل 20 طبقه تا 30 طبقه تاثیر این میراگر بر تغییر مکان مطلق بام تقریباً ثابت بوده است.
- 3- روند نزولی تاثیر میراگر ویسکوالاستیک بر تغییر مکان مطلق بام برای مدل های 5 تا 20 طبقه را می توان با تقریب خوبی، روند خطی فرض کرد. پس می توان برای مدل هایی با تعداد طبقات در این محدوده از این روند استفاده کرد.
- 4- با توجه به روند تاثیر میراگر ویسکوالاستیک بر تغییر مکان مطلق بام می توان نتیجه گرفت که برای سازه های با ارتفاع زیاد (بالای 20 طبقه) و با الگوی توزیع یکنواخت میراگر در ارتفاع، تاثیر میراگر ویسکوالاستیک ثابت می شود و نسبت به ارتفاع حساس نمی باشد.

8. مراجع

- [1] قنبری، یاسمین، " بررسی عملکرد میراگر های ویسکوالاستیک در کاهش پاسخ لرزه ای مدل های سه بعدی نامنظم سازه ها با در نظر گیری اندر کنش خاک - سازه " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، 1387
- [2] Soong, T.T., and Dargush, G.F. , *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering* , State Univercuty of New York at Buffalo,(1997),Chapter 5,pp.127-167.
- [3] Chang, K.C., Lai, M.L., Soong, T.T., Ilao, D.S. and Yeh, Y.C. (1993a), Seismic Behavior and Design Guidelines for Steel Frame Structures wich Added Viscoelastic Dampers, NCEER 93-0009, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- [4] Mahmoodi, P. , Robertson, L.E., Yontar, M., Moy, C. and Feld, I. (1987), Performance of Viscoelastic Dampers in World Trade Center Towers, Dynamic of Structures, Structures Congress '87, Orlando, FL.



[5] آیین نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله، استاندارد 2800 ایران، 1384، ویرایش سوم.