

www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسين عمران

ارائه كتابها و جزوات رايجان مهندسي عمران

بهترين و برترين مقالات روز عمران

انجمن هاي تفصلي مهندسي عمران

خوشگاه تفصلي مهندسي عمران

کاهش ارتعاشات لرزه ای سازه ها با استفاده از میراگر ویسکوز مایع غیر فعال

طاهره موسی نژاد^۱

کارشناس ارشد سازه، دانشگاه گیلان

سعید پور زینلی^۲

دانشیار گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

ملک محمد رنجبر^۳

استادیار گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

چکیده:

امروزه استفاده از سیستمهای کنترل به منظور جلوگیری از ارتعاشات سازه ها در مقابل زلزله بسیار مرسوم گردیده است. سه گروه عمده از این سیستمها، سیستمهای کنترل غیرفعال، فعال و نیمه فعال می باشند. در این مقاله، تأثیر میراگر ویسکوز غیرفعال بر کاهش ارتعاش ساختمانها مورد بررسی قرار می گیرد. برای این منظور، سازه مورد نظر به صورت سه بعدی مدل شده و با در نظر گرفتن سه درجه آزادی برای هر طبقه، معادله حرکت سازه بدست می آید. سپس، به منظور بررسی عملکرد میراگر ویسکوز غیرفعال، معادله سازه به همراه میراگر مورد نظر تحت اثر شتابهای افقی زلزله نیز نوشته شده و در فضای حالت حل می گردد.

نتایج حاصل بیانگر این امر می باشد که میراگر ویسکوز مایع غیرفعال می تواند پاسخ دینامیکی سازه را در مقابل زلزله تا حد زیادی کاهش دهد. از اینرو، چنین سیستمهایی می توانند برای مقاوم سازی سازه ها و بهبود رفتار آنها تحت اثر زلزله مورد استفاده قرار گیرند.

واژه های کلیدی: کنترل غیرفعال، میراگر ویسکوز مایع، ارتعاش لرزه ای، شتاب اغقی زلزله

۱- مقدمه

طراحی سازه های مقاوم در برابر حوادث طبیعی مانند زلزله و باد یکی از وظایف عمده مهندسان عمران می باشد. اساساً یکی از نیروهایی که نقش بسزایی در تخریب سازه ها دارد، نیروی زلزله است. در هنگام وقوع یک زلزله، میزان زیادی انرژی به سازه منتقل می شود. لذا فلسفه طراحی های مرسوم نیز بر این اساس بوده که در هنگام اعمال نیروهای دینامیکی قوی نظیر زلزله، ساختمان از محدوده الاستیک خارج شده و تغییر مکانهای چرخه ای غیرالاستیک در اعضاها سبب جذب و اتلاف انرژی منتقل شده به سازه و جلوگیری از انهدام سازه گردد. در این روش، بوجود آمدن مفاصل پلاستیک در برخی از نقاط خاص، موجب وارد شدن خساراتی به سازه شده که در برخی موارد شدت خسارات به اندازه ای است که قابل تعمیر نمی باشد.

در طول چند دهه گذشته کوششهای زیادی در به کارگیری تکنولوژیهای نوین به منظور بالا بردن ایمنی و مقاومت عناصر سازه ای انجام شده است. این سیستمها که از طریق جذب انرژی و یا تغییر در فرکانس سازه، انرژی زلزله را مهار کرده و از صدمات وارده به اجزای اصلی سازه جلوگیری می کنند بر اساس استفاده از منابع انرژی به سه گروه عمده تقسیم می شوند: سیستمهای کنترل غیرفعال، فعال و نیمه فعال. در میان این سیستم ها، سیستمهای کنترل غیرفعال بیشترین کاربرد را دارند. زیرا این سیستمها برای عملکرد نیاز به هیچگونه منبع خارجی ندارند و از حرکت خود سازه برای تولید نیروی کنترل استفاده می کنند [1].

¹ E-mail: t_mousanejad@yahoo.com , Tel: 09113366351

² E-mail: pourzeynali@guilan.ac.ir , Tel:09113310919

³ E-mail: Ranjbar@gu.ac.ir, Tel: 01316690270

یکی از انواع سیستمهای کنترل غیرفعال مورد استفاده در جذب و استهلاک انرژی، میراگر ویسکوز مایع می باشد. در این مقاله سعی شده است تأثیر این سیستم در کاهش ارتعاشات لرزه ای سازه ها مورد بررسی قرار گیرد.

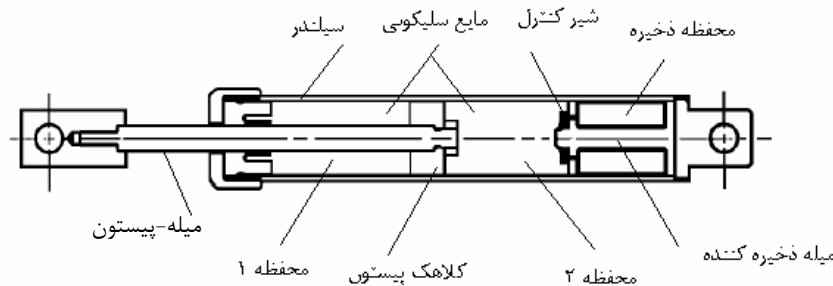
۲- میراگر ویسکوز مایع

میراگر ویسکوز مایع یکی از سیستمهای جذب انرژی می باشد که در مقایسه با اندازه فیزیکی خود از توانایی جذب انرژی بالایی برخوردار است. بنابراین، این نوع میراگرها می توانند برای استهلاک انرژی ناشی از زلزله در سازه ها مورد استفاده قرار گیرند. این میراگر شامل یک سیلندر و یک پیستون از جنس فولاد ضد زنگ به همراه یک کلاهک برنزی سوراخدار می باشد. مایع داخل سیلندر از روغن سلیکونی می باشد که غیر سمی و غیر اشتعالزا بوده و برای مدت زمان طولانی پایدار است (شکل ۱). اساس کار این میراگر، استهلاک انرژی توسط عبور مایع با فشار از درون روزنه تعبیه شده در کلاهک پیستون می باشد. وقتی میراگر در فشار است، مایع از محفظه ۲ به محفظه ۱ جاری می شود و برعکس، وقتی میراگر در کشش است، مایع از محفظه ۱ به محفظه ۲ جاری می شود. عبور مایع با فشار زیاد از درون روزنه پیستون، سبب ایجاد اختلاف فشار در دو طرف کلاهک پیستون و در نتیجه تولید نیروی میراگر می گردد.

رابطه نیرو-سرعت برای این نوع میراگر به صورت زیر نوشته می شود:

$$F = CV^n \quad (1)$$

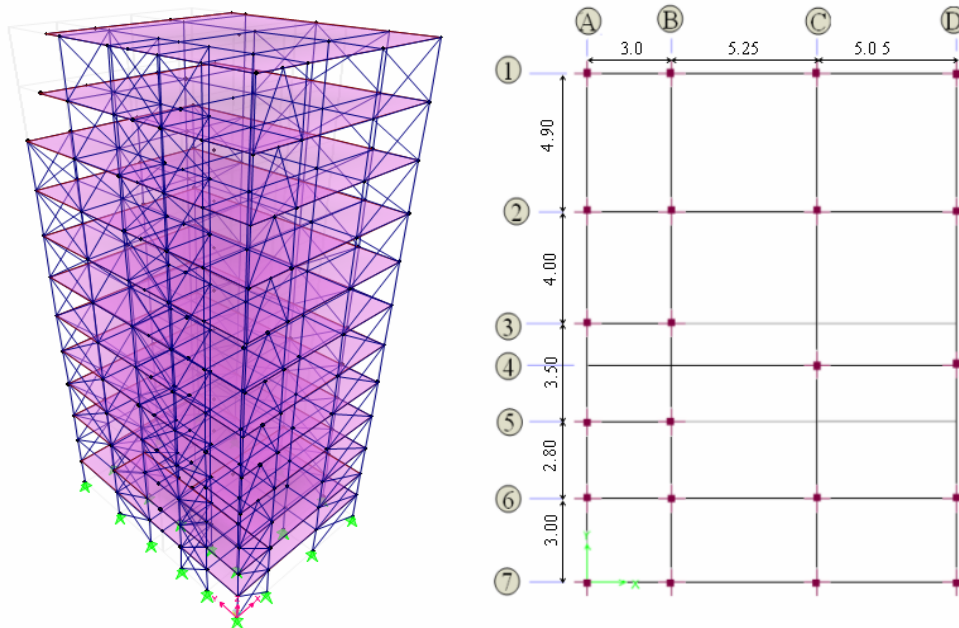
که در آن F نیروی میراگر، V سرعت نسبی پیستون و C ضریب میرایی می باشد. ضریب میرایی عدد ثابتی است که بر اساس قطر میراگر و سطح روزنه پیستون تعیین می شود. n نیز مقدار ثابتی است که می تواند مقداری در حد ۰,۳ تا ۱,۹۵ داشته باشد. مقدار n برای کاربردهای سازه ای در حد ۰,۳ تا ۱,۰ پیشنهاد شده است [۲]. در این تحقیق نیز مقدار n برابر ۱ در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- جزئیات میراگر ویسکوز مایع [۲]

۳- مدل تحلیلی استفاده شده

در این تحقیق، مطالعات عددی بر روی یک ساختمان ۱۲ طبقه تجاری واقع در شهر رشت انجام می گیرد. اسکلت سازه ای این ساختمان، فلزی بوده و سیستم مقاوم آن در برابر نیروهای جانبی قاب خمشی به همراه مهاربندهای هم محور فولادی و در بعضی قابها مهاربند برون محور می باشد. ارتفاع این ساختمان ۳۳ متر و زمین آن دارای ابعادی در حدود ۱۳,۳×۱۸,۲ m می باشد (شکل ۲).



شکل ۲- نمای سه بعدی و پلان ساختمان مورد مطالعه

ساختمان مورد نظر به صورت سه بعدی در نرم افزار SAP 2000 مدل شده است و هر کف مانند یک دیافراگم صلب فرض شده که برای خمش خارج از صفحه دارای انعطاف پذیری است. با این فرض، درجات آزادی تمام گره های واقع در تراز کف به سه درجه آزادی حرکت کف صلب ربط داده می شوند. برای آزمون کف، این درجات آزادی که در مرکز جرم تعریف می شوند عبارتند از: u_{jx} و u_{jy} در امتدادهای X و Y صفحه افقی و درجه آزادی $u_{j\theta}$ در حول محور قائم. در این قابها می توان تمامی جرمها را در مرکز جرم متمرکز نمود.

با فرض رفتار خطی اجزاء سازه، ماتریسهای جرم $[M]$ و سختی $[K]$ با توجه به تعاریف این دو ماتریس و در فضای خطی الاستیک بدست می آیند که در اینجا به دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله از آوردن آنها صرفنظر می گردد.

با محاسبه ماتریس جرم و سختی، ماتریس میرایی سازه با یک ترکیب خطی از ماتریسهای جرم و سختی بدست می آید [۳]:

$$[C] = a_0[M] + a_1[K] \quad (2)$$

در رابطه فوق ضرایب a_0 و a_1 ضرایب تناسب نامیده می شوند که در این تحقیق با فرض نسبت میرایی ۵٪ برای دو مود اول و

هیجدهم مقادیر a_0 و a_1 به صورت زیر بدست می آید:

$$a_0 = 0.4273 \quad , \quad a_1 = 0.0009 \quad (3)$$

بدین ترتیب با محاسبه ماتریس جرم، سختی و میرایی، معادله دینامیکی حرکت سازه، بدون هیچگونه سیستم کنترل، به صورت

زیر نوشته می شود [۴]:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{r\}\ddot{u}_g(t) \quad (4)$$

که در این رابطه $\{r\}$ برداری با ابعاد $(n \times 1)$ می باشد که در آن درایه های نظیر درجات آزادی انتقالی در جهت شتاب زلزله

برابر با یک و سایر درایه ها برابر صفر خواهد بود؛ n تعداد کل درجات آزادی سازه؛ $\{u\}$ ، $\{\dot{u}\}$ و $\{\ddot{u}\}$ به ترتیب بردار تغییر مکان،

سرعت و شتاب سازه؛ و $\ddot{u}_g(t)$ نیز شتاب افقی زلزله می باشد که برای زلزله های مختلف قابل دسترسی می باشد.

۴- شتابهای افقی زلزله های مورد استفاده

به منظور بررسی پاسخ کنترل نشده و کنترل شده ساختمان توسط میراگرهای ویسکوز، از پنج شتابنگاشت زلزله های Northridge کالیفرنیا (۱۹۹۴)، Chi-Chi تایوان (۱۹۹۹)، Imperial Valley کالیفرنیا (۱۹۷۹)، Kocaeli ترکیه (۱۹۹۹) و منجیل - رودبار (۱۹۹۹) استفاده شده است. از آنجاییکه این شتابنگاشتها برای تحلیل تاریخچه زمانی سازه مورد نظر استفاده قرار می گیرند لذا، مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران مقیاس سازی می شوند.

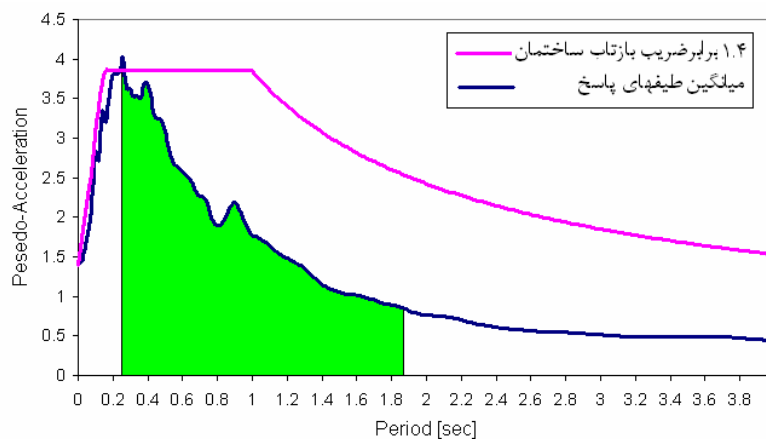
برای مقیاس سازی این شتابنگاشتها مطابق آیین نامه فوق، مراحل زیر انجام شده است [۶]:

۱. کلیه مقادیر شتابنگاشت بر حداکثر شتاب موجود در آن تقسیم می شوند تا اینکه شتاب حداکثر در کلیه شتابنگاشتها برابر با $1g$ گردد. عملیات فوق بر روی کلیه شتابنگاشتهای انتخابی توسط نرم افزار SeismoSignal انجام می شود.
۲. طیف پاسخ شتاب هر زوج شتابنگاشت با نسبت میرائی ۵٪ با استفاده از نرم افزار SeismoSignal رسم می گردد.
۳. طیف پاسخ هر زوج شتابنگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با هم ترکیب شده و در هر مورد یک طیف ترکیبی واحد ساخته می شود.

۴. از طیف های ترکیبی پاسخ پنج زوج شتابنگاشت، متوسط گیری کرده و با $1/4$ برابر طیف طرح استاندارد (منظور ضریب بازتاب B در آیین نامه ۲۸۰۰، بدون در نظر گرفتن ضرایب A ، I و R می باشد) مقایسه می گردد. ضریب مقیاس باید آنچنان تعیین شود که در محدوده زمانهای تناوب $0.2T$ و $1/5T$ مقادیر متوسط ها در هیچ حالت کمتر از $1/4$ برابر مقدار نظیر آن در طیف استاندارد نباشد که T زمان تناوب اصلی ساختمان می باشد. با توجه به اینکه زمان تناوب اصلی سازه مورد مطالعه $1.2S$ می باشد، این فاصله زمانی بین 0.24 تا $1/86$ ثانیه می باشد. از مقایسه نمودار شکل (۳)، ضریب مقیاس برابر $2/98$ بدست می آید. این ضریب در نسبت شتاب مبنای طرح $A = 0.3$ و همچنین در ضریب اهمیت ساختمان $I = 1.0$ ضرب شده، و چون تحلیل خطی می باشد، در ضریب $1/R = 1/7$ نیز ضرب شده و سپس در کلیه شتابنگاشتهای همپایه شده در بند ۱ ضرب می شود. شتابنگاشتهایی که با این روش بدست می آیند در تحلیل تاریخچه زمانی مورد استفاده قرار می گیرند. لذا، در نهایت ضریب به صورت زیر بدست می آید:

$$\text{ضریب مقیاس} = 0.3 \times 2.98 \times 1 \times \frac{1}{7} = 0.1277 \quad (5)$$

بنابراین، مقدار شتاب حداکثر در پنج زوج شتابنگاشت انتخابی برابر با $0.1277g$ خواهد بود.



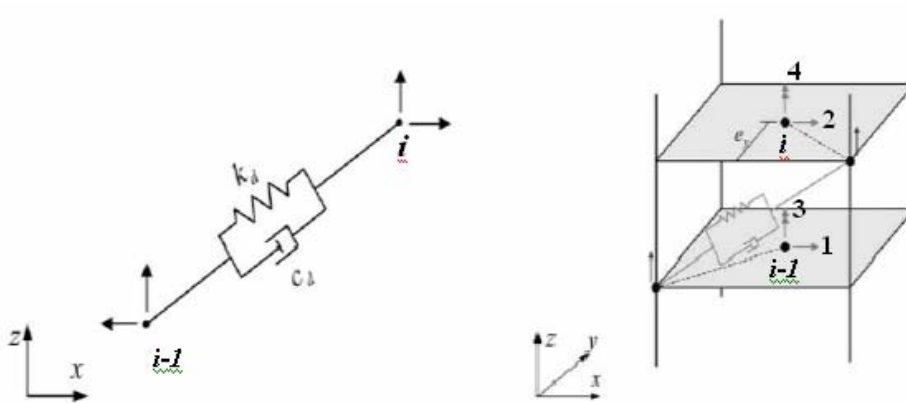
شکل ۳- مقایسه نمودار میانگین طیف های پاسخ ترکیبی و ۱،۴ برابر طیف طرح استاندارد ($B = 1/4$ ، $B =$ ضریب بازتاب ساختمان)

۵- معادله حرکت سازه با وجود میراگر ویسکوز مایع

برای بررسی تأثیر میراگر ویسکوز غیرفعال بر پاسخ سازه، ابتدا باید تأثیر وجود این نوع میراگر در قسمتهای مختلف سازه بر روی معادله حرکت سازه لحاظ شود. یکی از روشهای مؤثر برای اصلاح معادلات دینامیکی سازه با وجود میراگر این است که معادله حرکت میراگر به صورت جداگانه نوشته شده و سپس با یک روش مناسب به معادله حرکت سازه اضافه گردد.

۱-۵ معادله حرکت میراگر

برای نوشتن معادله حرکت میراگر ویسکوز، مدل میراگر به صورت یک فنر و یک میراگر که به صورت موازی با یکدیگر قرار گرفته اند، در نظر گرفته می شود (شکل ۴-الف). در مختصات کلی سیستم، برای هر میراگر دو درجه آزادی در نظر گرفته می شود. در اینجا نیز با فرض صلب بودن طبقات، درجه آزادی افقی به مرکز جرم طبقه انتقال یافته و تبدیل به یک درجه آزادی انتقالی و یک درجه آزادی پیچشی خواهد شد (شکل ۴-ب).



الف: مدل فنر- میراگر موازی برای میراگر ویسکوز

ب: انتقال درجه آزادی افقی به مرکز جرم طبقه با فرض دیافراگم صلب برای طبقات

شکل ۴- مدل میراگر و فرض دیافراگم صلب طبقات [۵]

برای یک میراگر Z در صفحه $X-Z$ که بین طبقات $i-1$ و i و در فاصله $(e_{yj})_i$ از مرکز جرم طبقه i قرار گرفته، حرکت جانبی میراگر در طبقه i ام بر حسب حرکت انتقالی مرکز جرم طبقه در جهت X و یا $(u_x)_i$ و حرکت پیچشی آن $(u_\theta)_i$ به صورت زیر نوشته خواهد شد:

$$(u_{jx})_i = (e_{yj})_i (u_\theta)_i + (u_x)_i \quad (۶)$$

رابطه بالا برای یک میراگر Z در جهت $Y-Z$ که بین طبقات $i-1$ و i و در فاصله $(e_{jx})_i$ از مرکز جرم طبقه i قرار گرفته بر حسب حرکت انتقالی در جهت Y و یا $(u_y)_i$ و حرکت پیچشی $(u_\theta)_i$ به صورت رابطه (۷) خواهد بود:

$$(u_{jy})_i = (e_{jx})_i (u_\theta)_i + (u_y)_i \quad (۷)$$

بدین ترتیب، با توجه به تعاریف بالا ماتریس سختی و میرایی میراگر ویسکوز از روابط زیر بدست می آید [۵]:

$$[K_{Dj}] = k_{dj} \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & -\cos^2 \alpha & (e_{yj})_{i-1} \cos^2 \alpha & -(e_{yj})_i \cos^2 \alpha \\ -\cos^2 \alpha & \cos^2 \alpha & -(e_{yj})_{i-1} \cos^2 \alpha & (e_{yj})_i \cos^2 \alpha \\ (e_{yj})_{i-1} \cos^2 \alpha & -(e_{yj})_{i-1} \cos^2 \alpha & (e_{yj})_{i-1}^2 \cos^2 \alpha & -(e_{yj})(e_{yj})_{i-1} \cos^2 \alpha \\ -(e_{yj})_i \cos^2 \alpha & (e_{yj})_i \cos^2 \alpha & -(e_{yj})_{i-1} (e_{yj})_i \cos^2 \alpha & (e_{yj})_i^2 \cos^2 \alpha \end{bmatrix} \quad (۸)$$

$$[C_{Dj}] = c_{dj} \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha & -\cos^2 \alpha & (e_{yj})_{i-1} \cos^2 \alpha & -(e_{yj})_i \cos^2 \alpha \\ -\cos^2 \alpha & \cos^2 \alpha & -(e_{yj})_{i-1} \cos^2 \alpha & (e_{yj})_i \cos^2 \alpha \\ (e_{yj})_{i-1} \cos^2 \alpha & -(e_{yj})_{i-1} \cos^2 \alpha & (e_{yj})_{i-1}^2 \cos^2 \alpha & -(e_{yj})_{i-1} (e_{yj})_i \cos^2 \alpha \\ -(e_{yj})_i \cos^2 \alpha & (e_{yj})_i \cos^2 \alpha & -(e_{yj})_{i-1} (e_{yj})_i \cos^2 \alpha & (e_{yj})_i^2 \cos^2 \alpha \end{bmatrix} \quad (9)$$

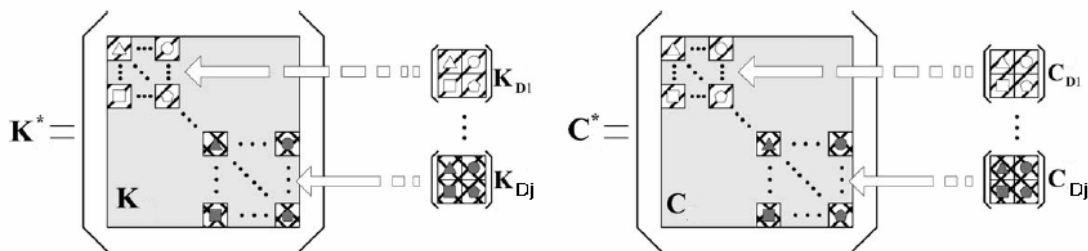
با داشتن ماتریس سختی و ماتریس میرایی یک میراگر، معادله حرکت آن از رابطه زیر بدست می آید [۵]:

$$[M_D]\{\ddot{u}_D\} + [C_D]\{\dot{u}\} + [K_D]\{u\} = \{F_D\} \quad (10)$$

در این رابطه می توان به دلیل کوچک بودن جرم میراگر، از ماتریس جرم میراگر صرف نظر نمود.

۲-۵- اضافه کردن معادله حرکت میراگر به معادله حرکت سازه

با صرف نظر کردن از ماتریس جرم میراگر که در مقابل ماتریس جرم سازه بسیار ناچیز است، ماتریس های سختی و میرایی آن به ترتیب به ماتریس سختی و میرایی سازه اضافه می شوند. برای این کار، درایه های ماتریس سختی و میرایی میراگر به ترتیب بر اساس شماره درجه آزادی، به درایه های متناظر ماتریس سختی و میرایی سازه اضافه می گردند (شکل ۵).



شکل ۵- اضافه کردن ماتریس میرایی و سختی میراگر به ماتریس میرایی و سختی سازه [۵]

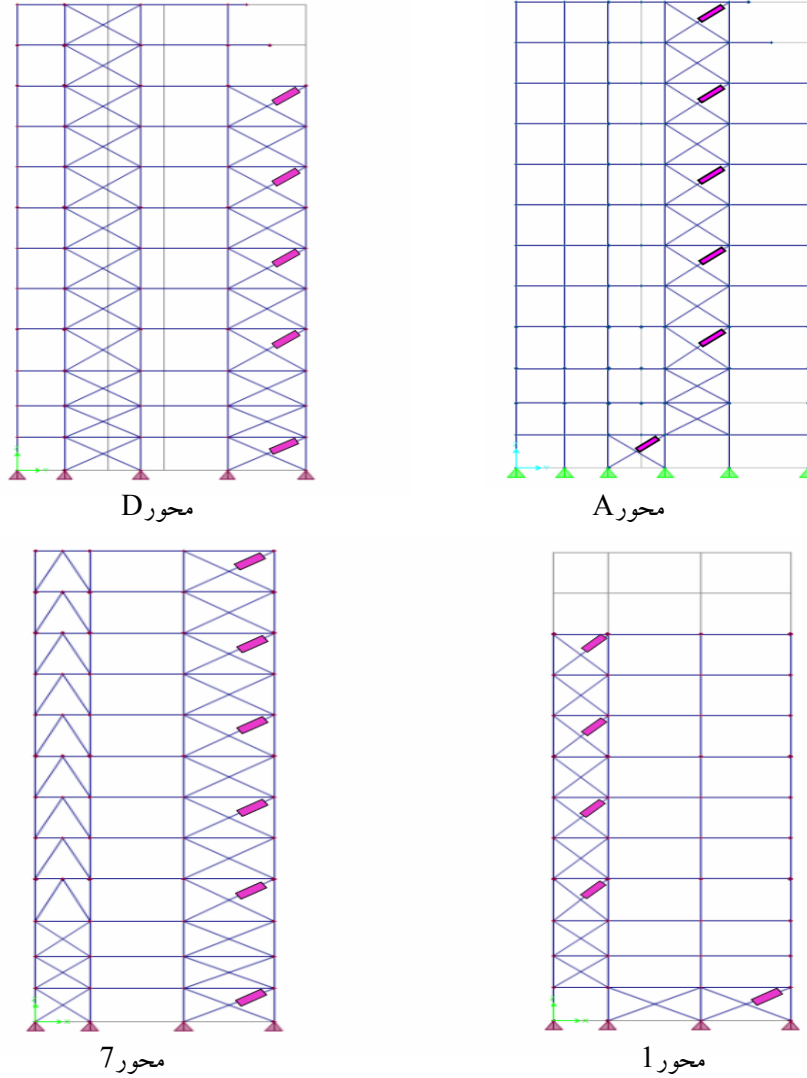
بدین ترتیب ماتریس سختی و میرایی سازه با وجود میراگر ویسکوز غیرفعال که به ترتیب $[K^*]$ و $[C^*]$ نامیده می شوند بدست می آیند. با داشتن ماتریسهای فوق، معادله حرکت سازه با وجود میراگر به صورت زیر خواهد بود:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C^*]\{\dot{u}\} + [K^*]\{u\} = -[M]\{r\}\ddot{u}_g(t) \quad (11)$$

۶- بررسی پاسخ ارتعاشی سازه با میراگر ویسکوز غیرفعال

در این قسمت، ۲۲ عدد میراگر ویسکوز مایع غیرفعال هر کدام با ضریب میرایی برابر ۶۰۰۰ کیلونیوتن-ثانیه بر متر بر روی سازه مورد مطالعه قرار داده شده و پاسخ سازه با وجود این میراگرها مورد بررسی قرار می گیرد. این میراگرها در قابهای 1، 7، A و D مطابق شکل (۶) قرار می گیرند.

لازم به ذکر است که در این تحقیق، به دلیل اینکه میراگرها در بادبند قرار گرفته اند و به صورت سری با آن عمل می کنند و با توجه به سختی زیاد میراگرها نسبت به بادبند، سختی معادل بادبند و میراگر تقریباً برابر سختی اولیه بادبند بدون میراگر خواهد بود. بنابراین، فقط ماتریس میرایی میراگر به ماتریس میرایی سازه اضافه می شود و معادله حرکت سازه با وجود میراگر بدست می آید.



شکل ۶- محل قرار گیری میراگرها در قابهای سازه

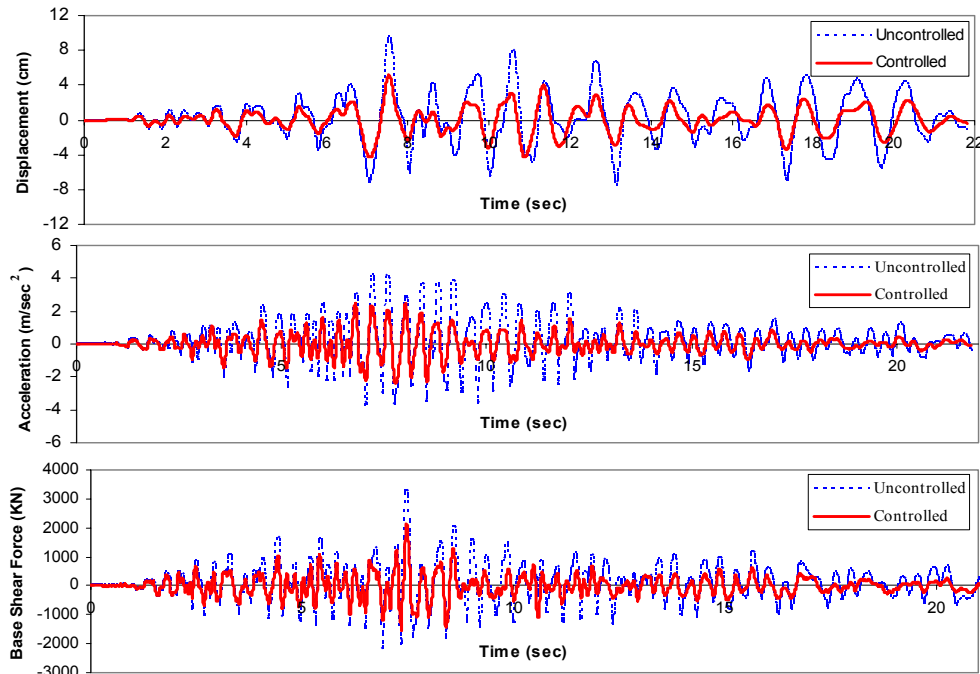
جهت یافتن مقادیر پاسخ سازه مانند تغییر مکان، سرعت، و شتاب طبقات معادله دیفرانسیل سازه در فضای حالت و با استفاده از نرم افزار MATLAB حل می شود. نمایش فضای حالت معادله دیفرانسیل ساختمان مورد نظر تحت اثر نیروی زلزله به صورت زیر می باشد:

$$\{\dot{z}\} = [A]\{z\} + [B]\{w\} \quad (12)$$

در رابطه (۱۲) $[A]$ ، $[B]$ ، $\{w\}$ و $\{z\}$ به صورت زیر تعریف می شوند:

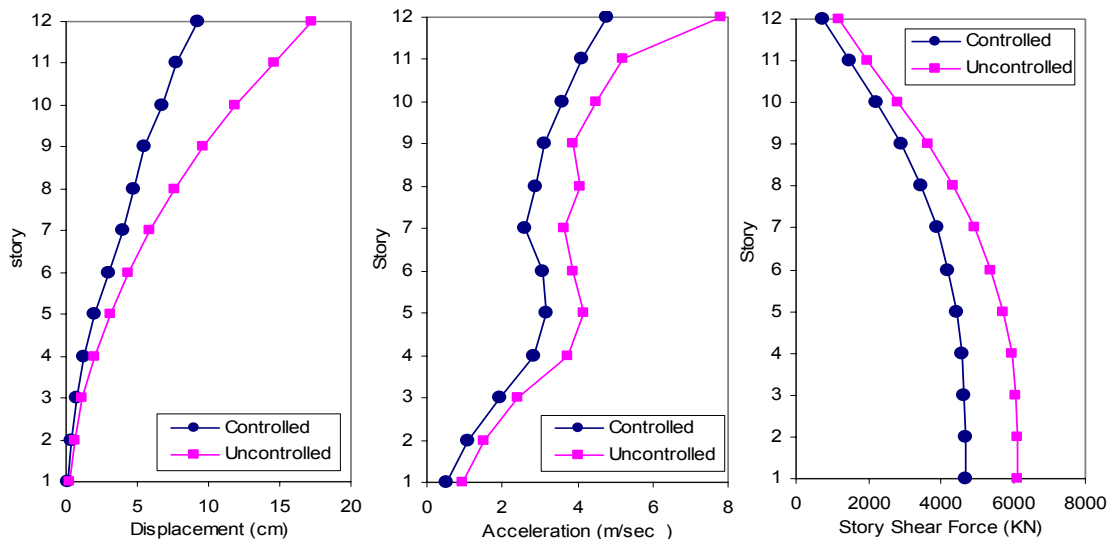
$$[A] = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -[M]^{-1}[K] & -[M]^{-1}[C] \end{bmatrix}, \quad [B] = \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix}, \quad \{w\} = -\{r\}\ddot{u}_g(t), \quad \{z\} = \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{\dot{u}\} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

در فضای حالت، تغییر مکان، شتاب، و نیروی برشی طبقات تحت تأثیر پنج زلزله مقیاس شده در دو حالت کنترل نشده و کنترل شده با میراگر ویسکوز غیرفعال بدست می آیند. در شکل (۷) مقادیر شتاب و تغییر مکان طبقه بام و همچنین برش پایه در جهت X در دو حالت کنترل شده و کنترل نشده برای زلزله Northridge مقایسه شده اند که بیانگر این است که میراگر ویسکوز غیرفعال می تواند پاسخهای سازه در مقابل زلزله کاهش دهد.



شکل ۷- پاسخ سازه در دو حالت کنترل نشده و کنترل شده با میراگر ویسکوز غیرفعال در زلزله Northridge

همچنین در تحلیل تاریخیچه زمانی مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران اگر تعداد شتابنگاشتهای مقیاس شده کمتر از ۷ عدد باشد بازتاب نهایی سازه برابر با حداکثر بازتابهای بدست آمده از تحلیل با هر زوج شتابنگاشت خواهد بود. بنابراین، در شکل (۸) حداکثر شتاب و تغییر مکان طبقات و همچنین نیروی برشی طبقات تحت پنج زلزله مقیاس شده، با یکدیگر مقایسه شده اند. همانطور که در این شکل دیده می شود سیستم کنترلی فوق قادر است حداکثر تغییر مکان، شتاب طبقه بام و برش پایه ساختمان مزبور را به ترتیب به میزان ۴۶٪، ۴۰٪ و ۲۴٪ کاهش دهد، که بیانگر تأثیر خوب و قابل قبول این سیستم کنترلی در کاهش پاسخهای این ساختمان می باشد.



شکل ۸- مقایسه حداکثر پاسخ کنترل نشده و کنترل شده با میراگر ویسکوز غیر فعال طبقات ساختمان تحت ۵ زلزله مقیاس شده

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق، تأثیر میراگر ویسکوز غیرفعال بر کاهش ارتعاش ساختمانها مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور، یک ساختمان ۱۲ طبقه تجاری واقع در شهر رشت به صورت سه بعدی در نرم افزار SAP2000 مدل شده و ماتریسهای سختی و جرم آن بدست آمدند. ماتریس میرائی با استفاده از روش رایله محاسبه شده است. سپس به منظور بررسی عملکرد میراگر ویسکوز غیرفعال، معادله سازه به همراه میراگر مورد نظر تحت اثر شتابهای افقی زلزله نوشته شده و معادلات حاصل در فضای حالت و با استفاده از نرم افزار MATLAB حل شد. از مطالعات عددی ساختمان مزبور، ملاحظه گردید که با استفاده از این سیستم کنترلی می توان مقادیر حداکثر تغییر مکان، شتاب و برش پایه ساختمان را به ترتیب تا ۴۶٪، ۴۰٪، ۲۴٪ کاهش داد که مقادیر قابل ملاحظه ای می باشند. لذا این سیستم ها می توانند در مقاوم سازی ساختمانهای موجود بسیار مؤثر واقع شوند.

مراجع

1. Symans, M.D., Constantinou, M.C., 1999, Semi-active control systems for seismic protection of structures: a state-of-the review, *Engineering Structures*, 21, PP. 469-487.
2. Haskell, G., Lee, D., 2006, Fluid viscous damping as an alternative to base isolation, the world leader in innovative shock control, Taylor device Inc.
3. Chopra, A.K., 1995 "Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering," Prentice-Hall.
4. Clough, R.W., Penzien, J., 1993, Dynamics of structures, Second Edition, Mc Graw-Hill, Inc.
5. Lee, D., Hong, S., Kim, J., 2002, Effect seismic analysis of building structures with added viscoelastic dampers, *Engineering Structures*, 24, 1217-1227.

۶. آیین نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله: استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ۱۳۸۴، ویرایش سوم.

Abstract

Recently, application of control systems in mitigation of structural vibration due to earthquake becomes very popular. Three main groups of these systems are passive, active and semi-active control systems. In this paper, the effect of passive fluid viscous damper on reduction of buildings vibrational response due to earthquake excitations is studied.

For this purpose, a twelve-story building located in Rasht is chosen for numerical study. In order to calculate the stiffness matrix of the building, it is modeled as a three dimensional structure in SAP2000 software by considering three degrees of freedom in each floor level. To investigate the performance of the fluid viscous damper, the equation of motion of the building is written by considering the horizontal acceleration of the earthquake as an input. The equation has been solved in state-space using the MATLAB software.

From the numerical result of the study, it is found that the proposed control system can significantly reduce the example building dynamic responses due to earthquake excitations. Thus by adding these systems to the buildings, their dynamic behaviors against earthquake can be highly improved.