کنترل لرزه‌ای ساختمان‌های چندین طبقه با استفاده از سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی غیرفعال وارون ساز لوله

محمد مهدی اسلامی‌زاده
کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه
حبیب سعید منیر
استادیار گروه عمران، دانشگاه ارومیه
پست الکترونیکی: eslamizadeh@gmail.com

چکیده

یکی از روش‌های مؤثر در کاهش پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌ها در برابر بارگذاری دینامیکی ناشی از زلزله استفاده از سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی می‌باشد. در این مقاله کنترل لرزه‌ای ساختمان‌های چندین طبقه بوسیله سیستم مستهلک‌کننده انرژی وارون ساز لوله مورد بررسی قرار می‌گیرد. این سیستم مستهلک‌کننده نوین، انرژی ورودی را از طریق وارون نمودن یک لوله که از مصالح شکل پذیر ساخته شده است، جذب می‌نماید. این سیستم دارای ظرفیت جذب انرژی بالایی بوده و مهمتر از آن مقدار بار تسلیم و سختی آن تا پایان ظرفیتش ثابت باقی می‌ماند. سیستم مذکور با مقیاسی کوچک در یک سازه یک درجه آزادی نصب و بر روی میز لرزه مورد آزمایش قرار گرفته است [۱]. نتایج مطالعات تجربی انجام گرفته نشان دهنده کارایی خوب این سیستم در کنترل لرزه‌ای سازه یک درجه آزادی مذکور می‌باشد.

به منظور تعیین کارایی سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله در کنترل لرزه‌ای ساختمان‌های چندین طبقه، یک نرم‌افزار کامپیوتری تحت عنوان EarthQuake © 2004 Mohammad Mehdi Eslamizadeh طراحی و نوشته شد. این نرم‌افزار قادر به شبیه‌سازی رفتار مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله و محاسبه پاسخ دینامیکی ساختمان‌های برشی مجهز شده به این سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی تحت اثر هر شتاب‌نگاشت زمین‌لرزهٔ دلخواهی، می‌باشد. نتایج مطالعات تئوریک انجام گرفته به‌کمک این نرم‌افزار کامپیوتری، نشانگر عملکرد خوب سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله و کارایی این سیستم در جذب انرژی ورودی از طرف زلزله و کنترل لرزه‌ای ساختمان‌های چندین طبقه می‌باشد. این مطالعات نشان می‌دهد که بکارگیری سیستم‌های مذکور در یک ساختمان چندین طبقه، بیش از شصت درصد جابجایی‌های نسبی طبقات و بالطبع بیشینه تنش‌های ایجاد شده در ستون‌های ساختمان تحت اثر زمین‌لرزه‌های مختلف را کاهش می‌بخشد. از طرف دیگر، مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهند که یک ساختمان مجهز شده به این سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی، قادر به تحمل چهار زمین‌لرزه نسبتاً شدید و پی‌درپی بدون اتمام ظرفیت جاذب‌های انرژی، می‌باشد.

کلید واژه‌ها: کنترل لرزه‌ای، مستهلک‌کننده وارون ساز لوله، اتلاف انرژی، سیستم‌های دینامیکی

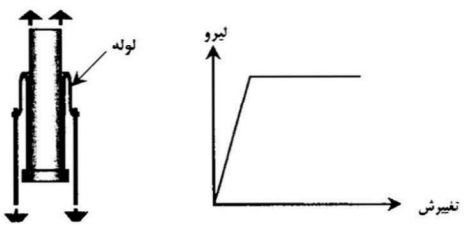
۱- مقدمه

در سالهای اخیر سیستم‌های جاذب انرژی غیرفعال در صنعت ساخت و سازهای ساختمانی مورد توجه بسیار زیادی قرار گرفته‌اند. از میان سیستم‌های بسیاری که در زمینه استهلاک انرژی بکار برده می‌شوند، سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ فلزی در سازه‌های ساختمانی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، زیرا

مصالح بکار رفته در این نوع سیستم‌ها با مصالح مورد استفاده در سیستم‌های ساختمانی معمول، دارای تطابق و سازگاری بیشتری می‌باشد. یکی از مؤثرترین مکانیزم‌های موجود به‌منظور اتلاف انرژی ورودی به سازه‌های ساختمانی در هنگام وقوع زمین‌لرزه، استفاده از مکانیزم ایجاد تغییرفرم‌های غیرالاستیک در مصالح فلزی می‌باشد [۲]. سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله[1] نیز یکی از این نوع سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی فلزی می‌باشد. در این مقاله ابتدا سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله معرفی و سپس به بررسی عملکرد وکارایی این سیستم در کنترل لرزه‌ای ساختمان‌های چندین طبقه خواهیم پرداخت.

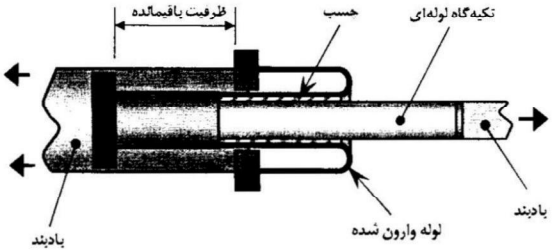
۲- معرفی سیستم مستهلک‌کننده وارون ساز لوله

لوله‌هایی که از مصالح شکل پذیر ساخته شده‌اند را می‌توان بوسیله قالب‌های مناسب وارون نمود و از آنها برای جذب انرژی ضربه استفاده کرد. خصوصیت بارز این سیستم، منحنی نیرو- تغییرشکل آن می‌باشد. این وسیله تحت نیروی کششی، نسبت به دیگر وسایل دارای حد تسلیم پایین‌تری بوده و محدوده پلاستیک آن نیز بصورت یک خط افقی می‌باشد. در شکل ۱ منحنی نیرو- تغییرشکل سیستم وارون ساز لوله تحت اثر نیروی کششی نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، هنگامی که وسیله تحت اثر نیروی کششی قرار می‌گیرد بطور خطی افزایش طول می‌دهد تا به حد تسلیم خود برسد و سپس بدون افزایش نیرو، شروع به تسلیم شدن نموده و وارد ناحیه پلاستیک خود می‌شود. در ناحیه پلاستیک، لوله در حال برگشتن بر روی خود می‌باشد. در محلی که لوله در حال خم شدن است، مصالح لوله به حد تسلیم خود رسیده‌اند، بنابراین در این مرحله بدون افزایش نیروی کششی و با نیروی ثابت، سیستم دچار تغییرشکل و افزایش طول می‌گردد.



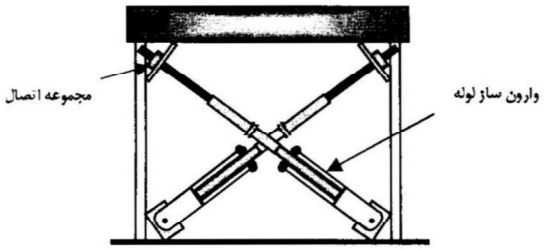
شکل ۱ : منحنی نیرو- تغییرشکل سیستم وارون ساز لوله تحت اثر نیروی کششی

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود پس از بارگذاری سیستم، قسمتی از لوله تحت اثر نیروی فشاری قرار می‌گیرد. برای جلوگیری از کمانش در این قسمت، یک تکیه‌گاه لوله‌ای توسط چسب به داخل لوله چسبانیده می‌شود. در شکل ۲ یک برش طولی از دستگاه وارون ساز لوله نشان داده شده است. در این شکل قسمت‌های مختلف دستگاه و همچنین تکیه‌گاه لوله‌ای بخوبی مشاهده می‌گردند.



شکل ۲ : برش طولی از دستگاه وارون ساز لوله

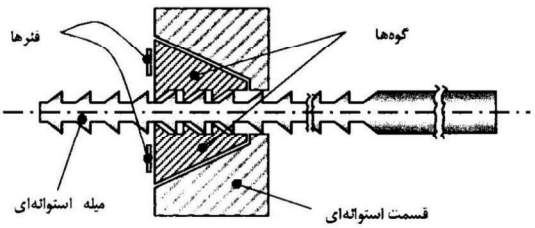
یک سازه تک درجه آزادی که به یک جفت سیستم مستهلک‌کنندهٔ وارون ساز لوله مجهز شده است، در شکل ۳ مشاهده می‌گردد. در این سازه دستگاه‌های وارون ساز لوله در میان بادبندهای قاب سازه‌ای قرار گرفته‌اند. هنگامی که دستگاه وارون ساز لوله تحت اثر نیروی کششی قرار می‌گیرد، در صورتیکه نیرو از حد الاستیک دستگاه تجاوز نماید، لوله شروع به برگشتن بر روی خود نموده و در نتیجه طول کل سیستم افزایش می‌یابد. برای جبران افزایش طول ماندگار بوجود آمده در سیستم، یک مجموعه اتصال طراحی شده است که بادبندها توسط این وسیلهٔ ویژه به قاب سازه‌ای متصل می‌شوند. در شکل ۳ مجموعه اتصال نیز مشاهده می‌گردد.



شکل ۳ : سازه مجهز شده به دو سیستم مستهلک کننده وارون ساز لوله

[1] - Tube Inversion System

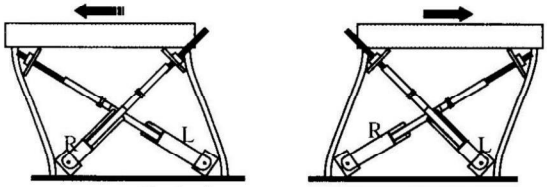
مجموعه اتصال علاوه بر آنکه افزایش طول ماندگار بوجود آمده در سیستم را جبران می‌نماید، دارای خاصیت مهم دیگری نیز می‌باشد. در صورتیکه در سیستم نیروی فشاری ایجاد شود، این وسیله به میله استوانه‌ای اجازه حرکت روان درون گوه‌ها را می‌دهد و از بوجود آمدن نیروی فشاری درون قسمت‌های مختلف سیستم مستهلک‌کننده و بادبند جلوگیری می‌نماید. یک برش طولی از این وسیله در شکل ۴ مشاهده می‌گردد.



شکل ٤ : یک برش طولی از مجموعه اتصال

۳- بررسی رفتار سیستم مستهلک‌کنندهٔ وارون ساز لوله

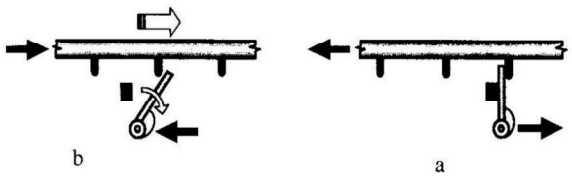
در ابتدا حالتی را در نظر بگیرید که قاب تحت اثر تحریک پایه، همانطور که در شکل ۵- الف مشاهده می‌گردد، بسمت راست حرکت کند. در این حالت در صورتیکه مقدار جابجایی جانبی قاب از مقدار از پیش تعیین شده در مجموعه اتصال تجاوز نماید، با درگیر شدن دندانه‌های میله استوانه‌ای و دندانه‌های گوه‌ها در یکدیگر، بین مجموعه اتصال و میله استوانه‌ای اتصال محکمی بوجود خواهد آمد و قاب در جهت مورد نظر بادبندی خواهد شد. در این حالت سیستم مستهلک‌کنندهٔ اول که در شکل ۵ با علامت "R" مشخص شده است تحت کشش قرار می‌گیرد. در صورتیکه میزان نیروی کششی بوجود آمده در سیستم مستهلک‌کننده بیشتر از حد الاستیک سیستم باشد، سیستم وارد مرحله پلاستیک خود می‌گردد و با برگاندن لوله بر روی خود، انرژی ناشی از ضربه وارد شده را جذب خواهد نمود. تغییرشکل پلاستیک ناشی از برگرداندن لوله بر روی خود، موجب افزایش طول سیستم "R" خواهد شد. در این حالت سیستم مستهلک کنندهٔ انرژی "L" هیچگونه نیروی فشاری را تحمل نخواهد کرد، زیرا در این سیستم مجموعه اتصال، حرکت میله استوانه‌ای بطرف بیرون را آزاد و مانع ایجاد نیروی فشاری در این سیستم خواهد شد. بنابراین با حرکت میله استوانه‌ای بطرف بیرون طول سیستم مستهلک‌کننده "L" کوتاه خواهد شد. به همین ترتیب هنگامی که قاب بسمت چپ حرکت می‌کند (شکل ۵-ب) در صورتیکه میزان جابجایی‌ها از میزان تعیین شده در مجموعه اتصال تجاوز نماید، انرژی ضربه در سیستم مستهلک کنندهٔ انرژی "L" جذب خواهد شد .



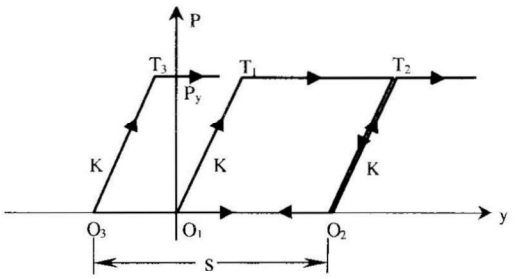
شکل ۵ : رفتار سیستم تحت اثر تحریک پایه

٤- مدل تئوریک سیستم مستهلک کنندهٔ وارون ساز لوله

برای مدل‌سازی مجموعه اتصال از یک سیستم Cog-Bolt استفاده شده است. در شکل ۶ یک تصویر شماتیک از این سیستم مشاهده می‌گردد. این سیستم باعث می‌شود که سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی تحت فشار قرار نگیرد، همچنین امکان جبران افزایش طول‌های پلاستیک بوجود آمده در سیستم را نیز فراهم می‌آورد. بنابراین به‌منظور شبیه‌سازی رفتار کل سیستم مستهلک‌کنندهٔ وارون ساز لوله که شامل مجموعه اتصال و قسمت وارون ساز لوله می‌باشد، یک مدل نیرو-تغییرشکل به‌گونه‌ای که در شکل ۷ بصورت شماتیک نشان داده شده است، در نظر گرفته شد. در این منحنی k_d سختی الاستیک سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله و "s" فاصله از پیش تعیین شده در مجموعه اتصال می‌باشد.



شکل ٦ : تصویر شماتیک از سیستم Cog-Bolt در کشش



شکل ۷ : منحنی نیرو- تغییرشکل کلی برای سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله

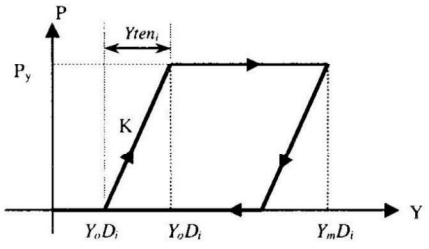
به‌منظور استفاده از مدل تئوریک ساخته شده برای سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی در محاسبات عددی می‌بایست بتوان این مدل را بصورت عددی توصیف نمود. با توجه به اینکه رفتار سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله در حالتهای مختلف ممکنه، کاملاً مشخص گردیده است و مدل نیرو- تغییرشکل کلی سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی نیز در قسمت قبل فراهم شد، بنابراین می‌توان توسط یک الگوریتم ساده عملکرد این سیستم را توصیف نمود. در الگوریتمی که در شکل (۴-۱۴) ارائه شده است رفتار کلی سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی مذکور بگونه‌ای ساده شبیه سازی گردیده است تا بتوان از آن در محاسبات عددی مورد نیاز استفاده نمود.

i شماره طبقه‌ای که سیستم مستهلک‌کنندهٔ مورد نظر در آن نصب گردیده است؛ t زمان در لحظه مورد نظر؛ $Y_i(t)$ و $V_i(t)$ جابجایی و سرعت نسبی طبقه i ام در لحظه t؛ K_{Damper} سختی سیستم مستهلک کننده مورد نظر؛ K_{di} سختی الاستیک سیستم مستهلک کننده نصب شده در طبقه i ام؛ S فاصله در نظر گرفته شده در مجموعه اتصال. پارامترهای دیگر استفاده شده در این الگوریتم را می‌توان در شکل ۹ مشاهده نمود.

این الگوریتم قادر به تعیین سختی سیستم مستهلک کنندهٔ انرژی در مراحل مختلف حرکت سازه براساس جابجایی و سرعت نسبی طبقه‌ای از ساختمان که این سیستم در آن نصب گردیده، می‌باشد.

```
If Yi (t) >= YoDi And Yi (t) <= YoDi + Ytenᵢ
    K_Damper (t) = Kdi
Else If Yi (t) > YoDi + Ytenᵢ
    If Vi (t) > 0
        K_Damper (t) = 0
        YmDi = Yi(t)
    Else If Vi (t) < 0
        If Yi (t) >= YmDi - Ytenᵢ
            K_Damper (t) = Kdi
            YoDi = YmDi - Ytenᵢ
        Else If Yi (t) < YmDi - Ytenᵢ
            K_Damper (t) = 0
            YoDi = YmDi - Ytenᵢ
        End If
    End If
Else If Yi (t) < YoDi
    If (YoDi - Yi(t)) >= S
        YoDi = Yi (t)
    End If
    If Vi (t) <= 0
        K_Damper (t) = 0
    Else If Vi (t) >0
        If Yi (t) < YoDi i
            K_Damper (t) = 0
        Else If Yi (t) > YoDi
            K_Damper (t) = Kdi
        End If
    End If
End If
```

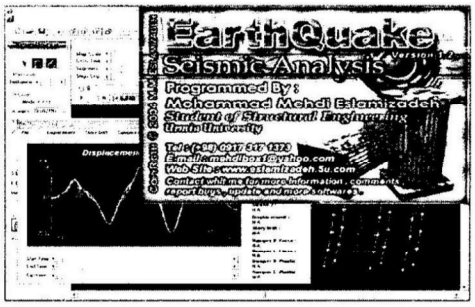
شکل ۸ :الگوریتم در نظر گرفته شده برای شبیه سازی رفتار سیستم مستهلک‌کنندهٔ وارون ساز لوله



شکل ۹ : معرفی برخی از پارامترهای بکار رفته در الگوریتم شکل ۸

۵- نرم‌افزار EarthQuake

به‌منظور تعیین میزان کارآیی سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله، این ضرورت وجود داشت که یک نرم افزار کامپیوتری جدید با هدف تعیین پاسخ دینامیکی ساختمان‌هایی که به این نوع سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی نوین مجهز شده‌اند، تهیه شود. در راستای این هدف یک نرم‌افزار کامپیوتری تحت عنوان EarthQuake با محیطی گرافیکی و سه بعدی، طراحی و نوشته شد.



شکل ۱۰ : نرم افزار EarthQuake

سپس از طریق مقایسه نتایج محاسباتی حاصله از نرم‌افزار EarthQuake و با نرم افزارهای معتبر دیگر در کرانه‌های عملکرد سیستم مستهلک‌کننده که حالت‌های بدون بادبندی و بادبندی الاستیک و پلاستیک می‌باشد، صحت نتایج محاسباتی این نرم‌افزار مورد تأیید قرار گرفت.

یکی از خصوصیت‌های بارز این نرم افزار، امکان مدل‌سازی سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ وارون ساز لوله بصورت المان‌های سازه‌ای در ساختمان می‌باشد. توسط این نرم افزار می‌توان ساختمان را بگونه‌ای بسیار ساده و تنها با کلیک ماوس، مدل و یا ویرایش نمود و سپس تحت اثر هر شتاب نگاشت زمین لرزه دلخواهی مورد تحلیل قرار داد. این نرم افزار نتایج تحلیل را بصورت نمودارهای تاریخچه زمانی از جابجایی‌های جانبی طبقات نسبت به پی ساختمان، دریفت طبقات، نیروهای داخلی و تغییرشکل پلاستیک المان‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی و نیز تنش ستون‌های ساختمان ارائه می‌نماید. همچنین نرم‌افزار تهیه شده این قابلیت را دارد که پاسخ دینامیکی سازه نسبت به زلزله را در یک فضای سه بعدی و بصورت متحرک به نمایش بگذارد تا عملکرد و چگونگی توزیع جذب انرژی در سیستم‌های مستهلک‌کننده انرژی نصب شده در طبقات مختلف ساختمان براحتی قابل مشاهده باشد.

۶- اصول اولیه برنامه نویسی های انجام شده

به منظور بدست آوردن پاسخ ساختمانی که به سیستم های مستهلک کننده وارون ساز لوله مجهز گردیده است می بایست یک معادله دیفرانسیلی در فرم ماتریسی بصورتی که در رابطه زیر آورده شده است حل گردد.

$$[M]\{\ddot{y}\}_i + [C]\{\dot{y}\}_i + [K_{Modified}]_i\{y\}_i = \{F_{eff}\}_i \qquad (۱)$$

در این رابطه $[K_{Modified}]_i$ ماتریس سختی تصحیح شده ساختمان می‌باشد که توسط مقادیر سختی هر طبقه در گام زمانی iام محاسبه می‌گردد. سختی هر طبقه در گام iام نیز توسط رابطه زیر بدست می‌آید.

$$k_i = \sum k_{col} + \sum k_{DL} + \sum k_{DR} \qquad (۲)$$

برای محاسبه ماتریس میرایی ساختمان از روش Raylcigh استفاده شده است. در این روش فرض می‌شود که ماتریس میرایی متناسب با ماتریس‌های جرم و سختی می‌باشد و یا بعبارت دیگر :

$$[C] = A_0[M] + A_1[K] \qquad (۳)$$

که در این رابطه A0 و A1 ظرایب تناسب دلخواهی می‌باشند.

ماتریس جرم ساختمان نیز پس از بدست آوردن سهم جرم هر طبقه که مجموع جرم کف آن طبقه و جرم قسمتی از قطعات منتهی به آن کف می‌باشد، محاسبه خواهد گردید.

بردار نیروهای وارد به ساختمان نیز نیروی مؤثری می‌باشد که ناشی از تحریک پایه ساختمان توسط زمین لرزه می باشد. این نیروی مؤثر توسط رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\{F_{eff}(t)\} = -[M]\{I\}\ddot{y}_g(t) \qquad (۴)$$

که در این رابطه $\ddot{y}_g(t)$ شتاب زمین در هنگام زمین‌لرزه می‌باشد. بنابراین با مشخص بودن شتاب نگاشت‌های زلزله می‌توان بردار نیروی مؤثر زلزله را بدست آورد و در حل معادله حرکت دینامیکی ساختمان از آن استفاده نمود.

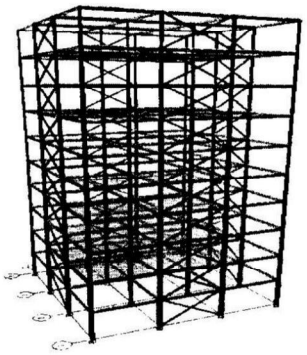
به منظور محاسبه مقادیر و بردارهای ویژه ساختمان از روش ژاکوبی۲ استفاده شده است. برای حل مسائل مقادیر ویژه روش‌های عددی مختلفی وجود دارد. یکی از این روشهای عددی که برای سیستم‌های با تعداد درجات آزادی زیاد مناسب‌تر می‌باشد، روش ژاکوبی است. ایده اصلی این روش تبدیل مرحله به مرحله جفت ماتریس‌های جرم و سختی به دو جفت ماتریس قطری دیگر می‌باشد، بگونه‌ای که مسائل مقدار ویژه‌ای که از جفت ماتریس‌های قطری شده و از جفت ماتریس‌های جرم و سختی اصلی تعریف می‌شوند، دارای مقادیر ویژه یکسانی باشند.
و در نهایت برای حل معادله دیفرانسیلی حرکت دینامیکی ساختمان توسط نرم‌افزار از روش عددی انتگرال گیری مستقیم استفاده می‌گردد.

۷- مثالی از کاربرد مستهلک‌کننده وارون ساز لوله

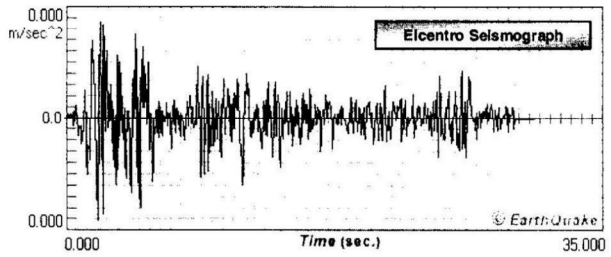
بعنوان مثال از یک ساختمان ده طبقه (شکل ۱۱) به‌منظور بررسی کارایی سیستم مستهلک‌کنندهٔ وارون ساز لوله استفاده گردید. سیستم سازه‌ای این ساختمان بصورت قاب خمشی می‌باشد. سیستم سازه‌ای ساختمان تحلیل و سپس طراحی گردید.

پس از مدل سازی ساختمان در نرم‌افزار EarthQuake، پارامترهای مختلف سیستم‌های مستهلک کننده نصب شده در طبقات مختلف ساختمان که شامل سختی و نیروی تسلیم المان-های مستهلک‌کنندهٔ انرژی و فاصله از پیش تعیین شده در مجموعه اتصال می‌باشد، توسط این نرم‌افزار تحت اثر شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه‌های مختلف بهینه سازی شدند. این قابلیت در نرم‌افزار EarthQuake وجود دارد که طیف‌های بیشینه دریفت طبقات و بیشینه تنش‌های ایجاد شده در ستون‌های ساختمان را بر حسب پارامترهای مختلف سیستم مستهلک کنندهٔ انرژی ترسیم نمود و از آنها برای بهینه نمودن سیستم‌های مذکور استفاده نمود. سختی و نیروی تسلیم مجموع سیستم‌های مستهلک‌کننده نصب شده در هر یک از طبقات این ساختمان بطور متوسط بترتیب برابر با 350MN/m و 1400kN می‌باشد.

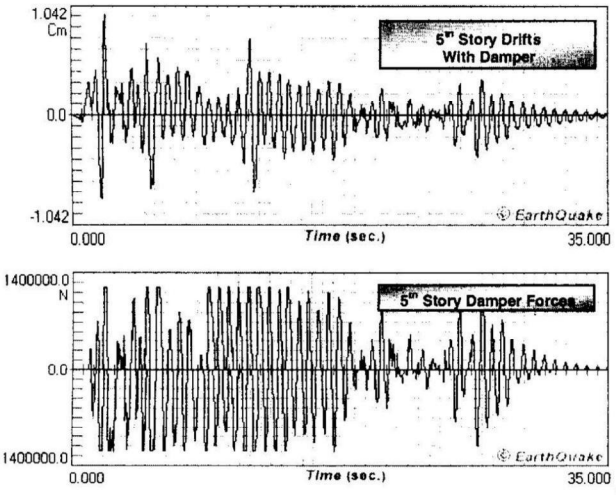
سپس این ساختمان تحت اثر شتاب نگاشت زمین‌لرزه Elcentro (شکل ۱۲) مورد تحلیل قرار گرفت و تاریخچه زمانی پاسخ دینامیکی این ساختمان توسط نرم‌افزار EarthQuake در حالتی که از سیستم‌های مستهلک کننده انرژی وارون ساز لوله در طبقات آن استفاده شود، محاسبه گردید. در شکل ۱۳ تاریخچه زمانی دریفت طبقات پنجم و نهم، تاریخچه زمانی نیروی‌های داخلی سیستم‌های مستهلک کننده انرژی نصب شده در طبقه پنجم و نیز تاریخچه زمانی تغییرشکل پلاستیک سیستم‌های مستهلک کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله نصب شده در طبقات مختلف ساختمان، نمایش داده شده است.



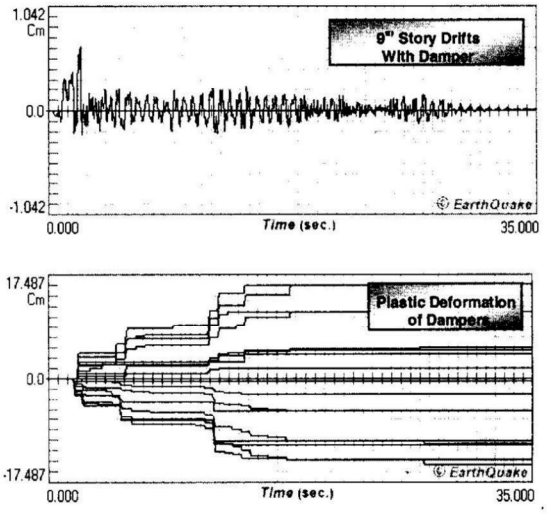
شکل ۱۱ : ساختمان مدل شده در نرم‌افزار EarthQuake



شکل ۱۲: شتاب نگاشت زمین لرزه Elcentro



[2]- JACOBI Method



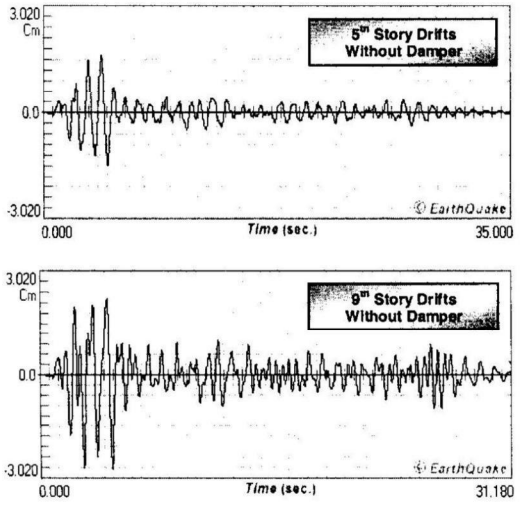
شکل ۱۳ : پاسخ ساختمان در حالت کنترل شده

به منظور مقایسه پاسخ ساختمان با حالتی که از این سیستم‌ها در ساختمان استفاده نشود، سیستم‌های مذکور از مدل سازه‌ای حذف گردیدند و سپس در این حالت نیز پاسخ ساختمان محاسبه گردید. در شکل ۱۴ تاریخچه زمانی دریافت طبقات پنجم و نهم ساختمان به‌منظور مقایسه ارائه گردیده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد با بکارگیری این سیستم‌های مستهلک‌کننده انرژی، بیشینه دریافت طبقات ساختمان از میزان 3.020 cm به 1.042 cm کاهش یافته است که این اعداد کاهشی در حدود ۶۵ درصد در دریافت طبقات را نشان می‌دهند. از طرف دیگر همان‌گونه که در شکل ۱۳ مشاهده می‌گردد، بیشینه افزایش طول پلاستیک و یا به‌عبارت دیگر بیشینه ظرفیت استفاده شده سیستم‌های مستهلک کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله نصب شده در طبقات این ساختمان تنها در حدود 17.5 cm می‌باشد.

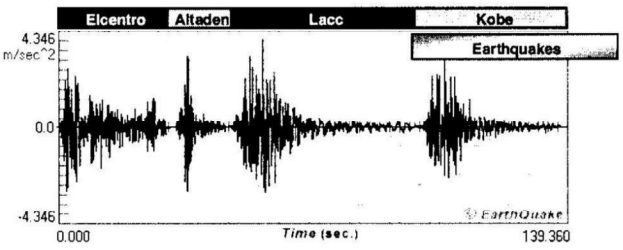
۸- تخمین ظرفیت لازم برای سیستم‌های مستهلک کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله

در این قسمت سعی بر آن است که مقدار ظرفیت لازم برای سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارن ساز لوله را تخمین بزنیم. همان‌گونه که مشاهده شد، میزان مصرف ظرفیت این سیستم‌ها یعنی مقدار لوله لازم که باید برای وارون نمودن در نظر گرفته شود به بزرگی بارگذاری انجام شده، تنظیمات انجام گرفته برای سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی و تداوم زمین‌لرزه وابسته می‌باشد. به این منظور ساختمان مورد بحث در قسمت قبل را تحت اثر مجموعه‌ای از شتاب‌نگاشت‌های زمین‌لرزه‌های مختلف قرار داده و سپس میزان ظرفیت لازم برای این سیستم‌ها را تعیین می‌نماییم. شتاب‌نگاشت این زمین‌لرزه‌ها را می‌توان در شکل ۱۵ مشاهده نمود. فرض می‌گردد که ساختمان در طی عمر مفید خود و در زمان‌های مختلف تحت اثر این زمین‌لرزه‌ها قرار بگیرد. در شکل ۱۶ تاریخچه زمانی تغییرشکل پلاستیک المان‌های مستهلک کنندهٔ انرژی نصب شده در طبقات ساختمان ده طبقه تحت اثر مجموعه شتاب‌نگاشت‌های معرفی شده، ارائه گردیده است.

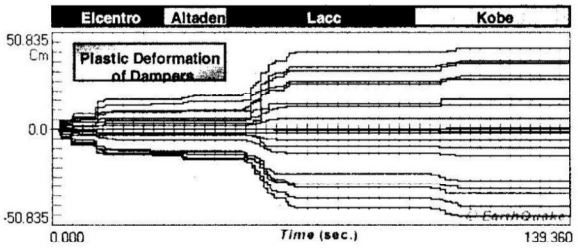
همان‌گونه که مشاهده می‌گردد بیشینه ظرفیت استفاده شده از مستهلک‌کننده‌های انرژی وارون ساز لوله نصب شده در طبقات مختلف ساختمان تحت اثر چهار زمین‌لرزه مختلف در هر دو مثال ارائه گردیده، تنها در حدود ۵۰ سانتیمتر می‌باشد. به عبارت دیگر با در نظر گرفتن بیشینه ظرفیتی برابر با ۵۰ سانتیمتر برای سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی، این ساختمان قادر به تحمل چهار زلزله نسبتاً شدید، بدون اتمام ظرفیت تمامی جاذب‌های انرژی، می‌باشد. نکته دیگری که شایان ذکر می‌باشد، این مطلب است که با توجه به نتایج بدست آمده در اینجا، می‌توان طراحی‌های کلاسیک انجام یافته برای این دو ساختمان را مورد تجدید نظر قرار داد و اعضای سازه‌ای آنها را بگونه‌ای طرح نمود که جذب انرژی بیشتری در سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی صورت پذیرد که در این صورت طراحی‌های انجام گرفته نیز از لحاظ هزینه‌ها مقرون به صرفه‌تر خواهد گردید.



شکل ۱۴ : پاسخ ساختمان در حالت کنترل نشده



شکل ۱۵: شتاب نگاشت زمین لرزه‌های Elcentro، Altadena، Lacc و Kobe

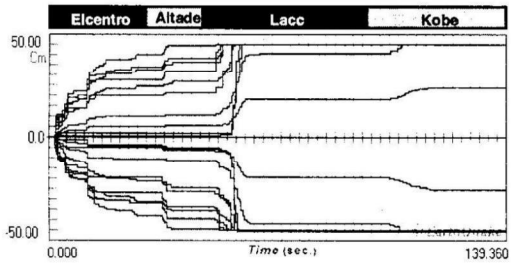


شکل ۱۶: تغییرشکل پلاستیک مستهلک کننده های انرژی تحت اثر شتاب‌نگاشت مجموعه‌ای از زمین‌لرزه‌ها

۹- بررسی رفتار ساختمان پس از خاتمه ظرفیت برخی از سیستم‌های مستهلک‌کننده

در این قسمت رفتار ساختمان پس از اتمام ظرفیت جذب انرژی یک یا چند عدد از سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله نصب شده در ساختمان، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پس از آنکه ظرفیت جذب انرژی سیستم مذکور پایان یابد، به یک بادبند معمولی با سختی بیشتر از سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی تبدیل خواهد شد. بنابراین پس از پایان یافتن ظرفیت سیستم‌های نصب شده در یک طبقه، سختی آن طبقه به‌علت بادبندی شدن طبقه، افزایش خواهد یافت و در نتیجه عوض شدن شکل مد ارتعاشی ساختمان، مسیر جذب انرژی به سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی نصب شده در طبقات دیگر ساختمان منتقل خواهد شد. به همین ترتیب روند جذب انرژی در طبقات دیگر تا پایان یافتن ظرفیت جذب انرژی تمامی سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی ادامه خواهد یافت.

به این منظور ساختمان مذکور در قسمت‌های قبلی مورد بررسی قرار گرفت و با افزایش بیشینه شتاب بارگذاری دینامیکی وارد شده به ساختمان، شرایطی فراهم گردید که ظرفیت جذب انرژی سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی، پایان یابد. به این منظور از همان شتاب‌نگاشت ارائه شده در شکل ۱۵ که مجموع شتاب‌نگاشت‌های چهار زمین‌لرزه مختلف می‌باشد و با مقیاس ۱/۶ برابر بزرگتر استفاده گردیده است. در این بررسی برای تمامی سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله نصب شده در طبقات مختلف ساختمان، ظرفیتی به میزان ۵۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. درشکل ۱۷ تاریخچه زمانی تغییر شکل پلاستیک سیستم‌های مستهلک کنندهٔ انرژی نصب شده در طبقات ساختمان ارائه گردیده است.



شکل ۱۷: تغییرشکل پلاستیک المان‌های مستهلک‌کننده نصب شده در طبقات ساختمان

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد ظرفیت یک جفت از سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله در طی زمین‌لرزه دوم خاتمه یافته است. با پایان یافتن ظرفیت این دو مستهلک‌کننده و تبدیل شدن آنها به بادبندهای معمولی، مسیر جذب انرژی به‌سمت دیگر سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی تغییر یافته است. سپس در طی زمین‌لرزه سوم ظرفیت بیشتر سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی خاتمه یافته است و در نهایت در طی آخرین زمین‌لرزه ظرفیت یکی از سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی نیز به انتها رسیده است. بنابراین ساختمان تا پایان یافتن ظرفیت جذب انرژی آخرین سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی دارای درجه از کنترل می‌باشد که این موضوع یکی از مزیت‌های ویژه استفاده از این نوع مستهلک‌کننده‌های انرژی در کنترل لرزه‌ای ساختمان‌ها می‌باشد.

۱۰- خلاصه و نتیجه گیری

همان‌گونه که مشاهده گردید، سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی وارون ساز لوله قابلیت خوبی در کنترل لرزه‌ای ساختمان‌های چندین طبقه از خود نشان می‌دهد. بعنوان نمونه بکارگیری این سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی در مثالی که در این مقاله ارائه گردیده است، مقدار بیشینه دریفت طبقات ساختمان را بیش از ۶۵ درصدکاهش بخشیده است. با استفاده از

این سیستم مستهلک‌کننده انرژی غیرفعال نه تنها جابجایی‌های جانبی طبقات به حد قابل قبولی کاهش می‌یابد بلکه مقدار قابل توجهی از انرژی وارد شده از طرف زلزله نیز توسط این سیستم‌ها جذب می‌گردد. نقیصه اصلی مستهلک‌کننده‌های انرژی غیردائمی[3] که همان کاهش سختی و مقاومت آنها پس از چند سیکل جذب انرژی می‌باشد، در این مستهلک‌کنندهٔ انرژی وجود ندارد و تا انتهای ظرفیت خود یک مقاومت و سختی ثابت را دارا می‌باشند، بنابراین با بکارگیری این مستهلک‌کننده‌های انرژی، ساختمان در هنگام وقوع پس‌لرزه‌ها و یا زمین‌لرزه‌های بعدی نیز ایمن خواهد بود. همان‌گونه که مشاهده گردید، ساختمانی که به این سیستم‌های مستهلک‌کننده با بیشینه ظرفیت ۵۰ سانتیمتر مجهز شده بود، چهار زمین‌لرزه نسبتاً شدید را بدون اتمام ظرفیت هیچ‌یک از سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی، تحمل نمود.هنگامی که تحت اثر تحریک پایه یک زمین‌لرزه، جابجایی‌های جانبی یک طبقه از یک مقدار از پیش تعیین شده تجاوز نماید، مجموعهٔ اتصال سیستم مستهلک‌کنندهٔ انرژی را فعال خواهد نمود و در نتیجه یک سختی اضافه به سیستم سازه‌ای اعمال خواهد شد که پیامد آن تغییر شکل مد ارتعاشی ساختمان خواهد بود. با تغییر شکل مد ارتعاشی ساختمان، بیشینه جابجایی‌ها به طبقات دیگر منتقل خواهد شد و در نتیجه سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی نصب شده در طبقات مذکور، فعال خواهند گردید. این روند تا پایان زمین‌لرزه ادامه خواهد یافت و انرژی زلزله در مستهلک‌کننده‌های انرژی نصب شده در طبقات مختلف ساختمان جذب خواهد شد. این موضوع یکی از مزیت‌های سیستم مذکور می‌باشد که از تمرکز یافتن جذب انرژی، تنها در یک یا چند طبقه از طبقات ساختمان جلوگیری به‌عمل می‌آورد. همچنین با توجه به این موضوع که سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی پس از اتمام ظرفیتشان به بادبندهای معمولی تبدیل می‌شوند که دارای ظرفیت جذب انرژی گسیختگی بالایی می‌باشند، بنابراین حتی پس از اتمام ظرفیت سیستم‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی نیز با یک ضریب اطمینان بالا، قادر به محافظت لرزه‌ای ساختمان خواهند بود.

۸- مراجع

1-Monir H.S., 2004, "The enhancement of earthquake resistance of a MRF by using tube inversion devices", Eighth conference on structure under shock and impact, Crete, Greece.

2- Soong, T.T. and Dargush, G.F., 1997, "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering", John Wiley & Sons, Chichester.

3- Bhatt, P., 2002, "Programming the Dynamic Analysis of Structures", Spon Press, London.

4- Paz, Mario, 1991, "Structural Dynamics Theory And Computation", Third Edition, Chapman & Hall,
New York.

[3] - Disposable

Vibration control of multistory buildings by using tupe inversion diviceis

M.M.Islami zadeh
Ms in construction Branch of civil Engineering

H.Saeid Monir
Assistant professor, Civil Engineering Faculty, Urmia university
eslamizadeh@gmail.com

The application of Energy absorbing systems in the structures are one of the main methods in attenuation of earthquake effects. In this paper, the vibration control of structures by using of tube inversion systems is considered. In this novel system, the energy is dissipated by the inversion of a metal tube. This energy dissipater has large energy absorbing capacity along with constant stiffness and yield limit, until the end of its absorption capacity. The tube inversion absorber has been already tested successfully in the earthquake engineering laboratory of Urmia University. The results were approving of a good performance for this system in the structures. For numerical analysis of this system in the structures, a special program has been developed. This program is able to simulate the behavior of the structures, equipped by this system, under any applied base excitation. The numerical studies by this program show that the vibration of structures could be mitigated considerably by using of the tube inversion system. The results of analysis for a multi story are indicating that there are more than sixty percents reductions in the drifts (and obviously stresses) of the structure, when the tube inversion systems are applied in. These studies show that such a equipped structure can tolerate almost four successive severe earthquake, before the absorption capacity of absorbers end.

Keywords : Vibration Control, Energy absorbing systems