



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

# استفاده از میراگرهای جرمی تنظیم شده برای کنترل پاسخ سازه های

## پیچشی

چکیده- مقاله حاضر راهکاری را برای طراحی بهینه میراگرهای جرمی تنظیم شده که برای کنترل پاسخ سازه های پیچشی تحت نیروهای لرزه ای دو جهت استفاده می شوند، ارائه داده است. چهار میراگر با چهارده پارامتر طراحی مختلف که به صورت جفت در دو جهت متعامد نصب شده اند، بصورت بهینه طراحی شده اند. برای تعیین پارامترهای بهینه ی چهار میراگر از روش ژنتیک الگوریتم استفاده شده است. راهکار ارائه شده در این مقاله را میتوان با معیارهای طراحی مختلف و تعاریف متفاوتی از زلزله ورودی بکار برد. روش مذکور یک راه حل بهینه ی کلی را فراهم می کند. چندین معیار طراحی بهینه که بر حسب توابع عملکردی بیان شده اند و به پاسخ سازه بستگی دارند، استفاده شده است. مجموعه ای از نتایج عددی برای سازه ی پیچشی که تحت تحریک مدل های طیفی از زلزله ورودی قرار گرفته است برای نشان دادن اثربخشی طراحی بهینه در کاهش پاسخ سازه، ارائه شده است.

**کلمات کلیدی:** پاسخ لرزه ای، کنترل پاسخ، سازه های پیچشی، میراگر جرمی تنظیم شده، الگوریتم ژنتیک، طراحی بهینه

### مقدمه

برای کنترل پاسخ لرزه ای سازه های ساختمانی از سیستم های کنترل فعال و غیرفعال استفاده می شود. از میان سیستم های فعال و غیرفعال، سیستم های غیر فعال مقبولیت گسترده تری داشته و هم اکنون در عمل مورد استفاده قرار می گیرد. سیستم های کنترل غیر فعال به دو شاخه ی عمده تقسیم می شوند: (1) سیستم های جداساز پایه و (2) سیستم های استهلاک انرژی. در سیستم های استهلاک انرژی انواع مختلفی از میراگرها وجود دارند (1) میراگرهای اصطکاکی، (2) میراگرهای ویسکو الاستیک، (3) میراگرهای ویسکوز، (4) میراگرهای فلزی تسلیمی و (5) میراگرهای جرمی تنظیم شده. (اگر چه در اینجا میراگر جرمی تنظیم

شده جزو میراگرهای مستهلک کننده انرژی طبقه بندی شده است اما مفهوم ابتدایی این نوع سیستم بر اساس استهلاک انرژی نیست بلکه بر اساس انتقال انرژی از سیستمی که باید محافظت شود به یک جاذب انرژی تنظیم شده است.) تمامی این سیستمها خصوصیات و ویژگیهای منحصر به فرد خود را دارند که آنها را برای کنترل پاسخ در شرایط خاصی مناسب می کند. تمرکز این مقاله بر روی استفاده از میراگرهای جرمی تنظیم شده است.

از زمان اختراع آن در سال 1909 توسط Frahm، مفهوم میراگر جرمی تنظیم شده توجه خاص و مستمر محققان و پژوهشگران را برای استفاده از آن در کنترل ارتعاشات ناشی از نیروهای مختلف، جلب کرده است. از آنجا که پرداختن به تحقیقات وسیعی که در مورد این میراگرها انجام شده، امکان پذیر نیست، در اینجا تعداد کمی از تحقیقات مرتبط با این نوع سیستم بیان شده است. Den Hartgo اصول کاری این نوع میراگر را بوضوح در رساله‌ی خود تشریح کرده است [1] و فرمولهای ساده‌ای را برای تعیین پارامترهای بهینه‌ی میرایی و جرم در میراگر جرمی تنظیم شده که برای کنترل جابجایی یک سیستم یک درجه آزادی غیر میرا تحت نیروی هارمونیک استفاده می‌شود، ارائه کرده است. از آنجاییکه که کاربرد آن در ابتدا برای کنترل پاسخ جابجایی تحت نیروهای هارمونیک بوده است اخیرا انواع دیگری از تحریکات و شرایط کنترلی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. Warburton [2] مجموعه‌ای از راه حل‌ها را با پوشش دادن حالات دیگری از تحریکات و پاسخهایی که باید کنترل شوند، گسترش داده است. استفاده و محدودیت این فرملها برای سازه‌های چند درجه آزادی نیز بیان شده است. در میان دیگر محققین، Lin و Tsai [3] روشی کلاسیک را برای یک سیستم میرا توسعه داده‌اند و با استفاده از پردازش منحنی، فرمولی را برای تعیین پارامترهای بهینه تعیین کرده‌اند.

هرچند میراگرهای جرمی تنظیم شده بصورت کاملا موفق در سازه‌های مختلفی برای کنترل ارتعاشات ناشی از باد بکار گرفته شده‌اند ولی هنوز استفاده از آنها برای کنترل پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها قانع کننده نیست. تعدادی از محققان [4-6] نشان داده‌اند که می‌توان از میراگرهای جرمی تنظیم شده برای کنترل پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها استفاده کرد این در حالیست که محققان دیگری خلاف این امر را نشان داده-

اند [7-9]. بدون نقد و پرداختن به جزئیات دقیق این تحقیقات، تشخیص دلیل یا دلایل اصلی این نتایج متضاد، ساده نیست. با این حال، پیشنهاد Villaverde و همکاران [10-12]، شاید قانع کننده‌ترین استدلال برای این نتایج متفاوت باشد. آنها مشاهده کردند که دلیل اصلی عدم سودمندی میراگرها استفاده از راه‌حلهای کلاسیکی است که لزوماً در شرایط خاص مورد مطالعه، بهینه نیستند. آنها پیشنهاد دادند که پارامترهای میراگر بگونه‌ای تنظیم شوند که نسبتهای میرایی مودهای غالب، افزایش یابد. به این منظور، میراگر باید با سازه‌ای که روی آن نصب شده در حالت رزونانس باشد و نسبت میرایی آن مساوی نسبت میرایی سازه بعلاوه‌ی عبارتی که به نسبت جرم تعمیم داده شده بستگی دارد و جابجایی مودی در نقطه‌ای که میراگر در آن نصب شده است [11]. چندین نتیجه‌ی عددی که سودمندی این روش طراحی میراگرهای جرمی تنظیم شده را نشان می‌دهد، ارائه شده است.

Sadek و همکاران [13]، رویکرد پیشنهادی Villaverde و همکاران را با یک نمونه از نصب میراگر جرمی تنظیم شده بر روی یک سیستم یک درجه آزادی بیشتر مورد بررسی قرار دادند. آنها مشاهده کردند که، به استثنای نسبتهای جرمی خیلی کوچک، روش Villaverde و همکاران معمولاً به نسبتهای میرایی نامساوی در دو مود سیستم مرکب منجر می‌شود که این روش کارآمدی زمانی را که نسبتهای میرایی دو مود برابر است، ندارد. بر اساس تحقیقات جامعی که بر روی مقادیر ویژه‌ی ماتریس سیستم متشکل از سازه و میراگر و با کاربرد مقادیر مختلفی از پارامترهای سیستم صورت می‌گیرد، محققان قادرند مقادیر بهینه‌ی پارامترهای نسبت جرم و میرایی را که به دو مود با نسبتهای میرایی تقریباً مساوی منجر می‌شود، تشخیص دهند. آنها با پردازش منحنی‌ها فرمولی ساده را برای محاسبه‌ی پارامترهای بهینه بر حسب نسبت جرم و نسبت میرایی پیشنهاد می‌کنند. آنها همچنین چندین مجموعه از نتایج عددی را برای اثبات سودمندی روش طراحی پیشنهادی، ارائه می‌کنند.

استفاده موثر از فرمولهای میراگر جرمی تنظیم شده که برای سیستم یک درجه آزادی توسعه یافته‌اند با سیستمهای چند درجه آزادی نیز توسط تعدادی از محققان بخوبی اثبات شده است، در این زمینه میتوان به مراجع [10-13] اشاره کرد. در چنین روشی، سیستم چند درجه آزادی با یک سیستم یک درجه آزادی

معادل، نشان داده شده است. چنین نمایشی از ارائه سیستم معادل بویژه زمانی کاملاً موفق است که پاسخ سیستم چند درجه آزادی متأثر از یک مود واحد، عموماً مود اصلی باشد. با این حال، برای بهبود کیفیت و کاهش حساسیت طراحی ناشی از تنوع در مقادیر پارامترهای سیستم، و همچنین کنترل سازه‌هایی با فرکانسهای نزدیک، تعدادی از محققان [14-18] استفاده از میراگرهای جرمی تنظیم شده‌ی خوشه‌ای را پیشنهاد می‌کنند (که معمولاً میراگر جرمی تنظیم شده‌ی چندگانه نامیده می‌شوند). فرکانسهای خوشه‌ای در یک پهنای باند فرکانسی توزیع می‌شوند که معمولاً در اطراف فرکانس مود غالب قرار دارند. هدف استفاده از میراگرهای خوشه‌ای معمولاً کنترل چندین مود از سازه نیست بلکه بهبود ویژگیهای کنترلی سیستم است. Rana و Soong [19]، استفاده از میراگرهای جرمی مختلفی را برای کنترل مودهای متفاوتی از سیستم مورد آزمایش قرار دادند.

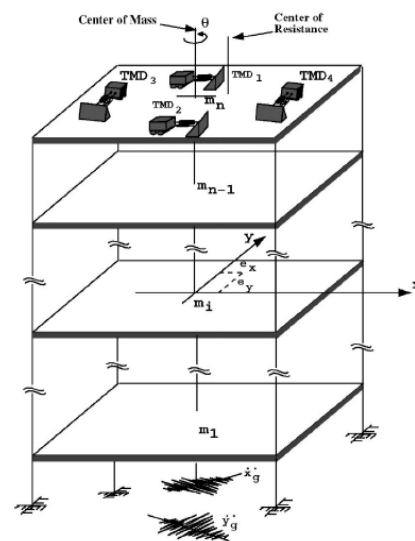
سیستمهای ساختمانی که دارای خروج از مرکزیت بین مراکز جرم و سختی خود هستند تحت زلزله بصورت پیچشی عمل می‌کنند. مطالعه کنترل پاسخ چنین سازه‌های با استفاده از چندین میراگر جرمی تنظیم شده موضوعی جالب است، و این مقاله دقیقاً بر روی این موضوع تمرکز کرده است. نویسندگان این مقاله کاملاً با تحقیقاتی که Jangid و Dutta [20]، Lin و همکاران [21] در زمینه کنترل پاسخ سیستمهای پیچشی با استفاده از میراگرهای جرمی تنظیم شده انجام داده‌اند، آشنایی دارند. Jangid و Dutta [20]، کنترل پاسخ سیستم پیچشی دو درجه آزادی را با استفاده از میراگرهای جرمی تنظیم شده چندگانه، مورد مطالعه قرار داده‌اند. مقدار پهنای باند فرکانسی بهینه - مقدار متناظر با کاهش ماکزیمم در ریشه مجذور پاسخ سیستم اصلی - با استفاده از یک تحلیل پارامتری محاسبه می‌شود. Lin و همکاران [21] یک سیستم ساختمانی پیچشی چند طبقه را با یک و دو میراگر جرمی تنظیم شده مورد مطالعه قرار دادند. آنها روشی را برای تشخیص مودهای غالب و تعیین جهت بحرانی قرارگیری میراگر پیشنهاد کردند. پارامترهای بهینه از مینیمم کردن ریشه مجذور پاسخ تغییرمکان در مود غالب محاسبه شد.

در این مقاله، چهار میراگر جرمی تنظیم شده که به صورت جفت در امتداد دو جهت متعامد قرار گرفته‌اند، برای کنترل پاسخ پیچشی سازه‌های ساختمانی چند طبقه تحت زلزله‌های دو جهته، مورد بررسی

قرار گرفته است. در اینجا هدف، مد نظر قرار دادن یک مود خاص در سیستم برای کنترل نیست، بلکه ماکزیمم کردن تابع عملکردی است که باعث کاهش در پاسخی خاص یا پاسخ سیستم کلی می‌شود. تابع عملکرد ممکن است بر حسب شتابهای طبقات، برش و تغییرمکانهای جانبی طبقات و دیگر کمیت‌های پاسخ باشد. برای جستجوی پارامترهای بهینه‌ی چهار میراگر از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. مجموعه‌ای از نتایج عددی برای نشان دادن سودمندی روش پیشنهاد شده برای طراحی بهینه‌ی میراگرهای جرمی تنظیم شده ارائه شده است.

### مدل تحلیلی

در این مقاله یک ساختمان برشی چند طبقه متشکل از طبقاتی صلب و ستون‌هایی تغییرشکل پذیر و با حرکت‌هایی پیچشی، شکل 1، برای بررسی کنترل آن از طریق نصب میراگرهای جرمی تنظیم شده در نظر گرفته شده است.



شکل 1: مدل قاب ساختمانی با میراگر جرمی تنظیم شده در بام

در اینجا فرض بر این است که مراکز جرم و سختی بر یکدیگر منطبق نیستند. با این حال، بدون صرف نظر از کلیت موضوع فرض می‌شود که مراکز جرم در تمام طبقات در راستای یک محور عمودی قرار می‌گیرند و مراکز سختی نیز به همین منوال در راستای دیگر محور عمودی قرار می‌گیرند. هر طبقه سه درجه

آزادی دارد: دو درجه آزادی جابجایی در جهات X و Y و درجه آزادی دورانی حول محور عمودی. معادله حرکت چنین سازه‌ای تحت تحریک زلزله دو جهته در صفحه‌ای افقی بصورت زیر است.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{D}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{D}} + \mathbf{K}\mathbf{D} = -\mathbf{r}_g\ddot{\mathbf{g}} \quad (1)$$

در این رابطه M، C و K بترتیب ماتریسهای جرم، میرایی و سختی سیستم هستند؛ D بردار تغییرمکان نسبی شامل جابجاییهای نسبی و دوران طبقات است  $D_i = \{x_i, y_i, \theta_i\}^T$ ؛  $r_g$  تاثیر تحریکات زمین است؛ و  $g^T = \{x_g, y_g\}$  مولفه های شتاب زمین در جهات X و Y هستند. اگر چه ماتریس میرایی را میتوان به هر شکل در نظر گرفت ولی در اینجا بر حسب مقادیر فرضی از نسبتهای میرایی تعریف شده است. در سازه مورد مطالعه دو جفت میراگر جرمی در طبقه بام نصب شده است. پارامترهای سختی، میرایی و جرم دو میراگر نصب شده در جهت X عبارتست از:  $(k_{x1}, k_{x2})$ ،  $(c_{x1}, c_{x2})$ ،  $(m_{x1}, m_{x2})$ . پارامترهای مشابه برای میراگرهای نصب شده در جهت Y نیز به طریق مشابه با حالت فوق تعریف میشوند. معادله کلی حرکت در سازه مجهز به TMD بصورت زیر نوشته می‌شود.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{D}} \\ \ddot{\mathbf{d}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C} + \mathbf{C}' & \mathbf{C}_{dp} \\ \mathbf{C}'' & \mathbf{C}_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{D}} \\ \dot{\mathbf{d}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K} + \mathbf{K}' & \mathbf{K}_{dp} \\ \mathbf{K}'' & \mathbf{K}_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{D} \\ \mathbf{d} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_g \\ \mathbf{r}_d \end{bmatrix}_{(3n+4) \times 2} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_g \\ \ddot{y}_g \end{Bmatrix} \quad (2)$$

که  $K_d = \text{diag}(k_{x1}, k_{x2}, k_{y1}, k_{y2})$  و  $C_d = \text{diag}(c_{x1}, c_{x2}, c_{y1}, mc_{y2})$  بترتیب ماتریسهای جرم، سختی و میرایی سیستم میراگر هستند. بردار  $d^T = \text{diag}(x_{d1}, x_{d2}, y_{d1}, y_{d2})$  متشکل از جابجاییهای نسبی میراگر است که نسبت به طبقه‌ای که در آن نصب هستند اندازه‌گیری می‌شوند. در کنار ضرایب سختی و میرایی میراگر، این ماتریسها همچنین به موقعیت نصب نسبی میراگرها در طبقه بام بستگی دارند. فرض می‌شود که فواصل عمودی مرکز جرم از مسیر میراگر در جهات X و Y بترتیب  $l_1$  و  $l_2$  است.

#### معيار عملكردي

هدف محاسبه مقادیر جرم، میرایی، سختی،  $l_1$  و  $l_2$  میراگرهای جرمی تنظیم شده است که تابع عملکردی را که موجب کاهش پاسخهای سازه می‌شود، ماکزیمم می‌کند. کمیت‌های پاسخی که در طراحی باید مد نظر

قرار بگیرند شامل برش پایه، شتاب طبقات و غیره است. در این مقاله، از چهار شکل تابع عملکردی که در زیر بیان شده استفاده شده است، زیرا استفاده از آنها در ارزیابی مدل‌های حرکات زمینی که در این مقاله استفاده شده‌اند، آسان است.

(1) معیار مبتنی بر دریافت (DBC)

$$f_1 = 1 - \frac{\text{Max}[(\sqrt{d_x^2 + d_y^2})_{i, \text{controlled}}]}{\text{Max}[(\sqrt{d_x^2 + d_y^2})_{j, \text{uncontrolled}}]} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

$d_x$  و  $d_y$  بترتیب دریافت طبقات در جهات X و Y است.

(2) معیار مبتنی بر شتاب (ABC)

$$f_2 = 1 - \frac{\text{Max}[(\sqrt{a_x^2 + a_y^2})_{i, \text{controlled}}]}{\text{Max}[(\sqrt{a_x^2 + a_y^2})_{j, \text{uncontrolled}}]} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

$a_x$  و  $a_y$  بترتیب شتاب طبقات در جهات X و Y است.

(3) معیار ثانوی مبتنی بر دریافت

$$f_3 = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (d_x^2 + d_y^2)_{i, \text{controlled}}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (d_x^2 + d_y^2)_{i, \text{uncontrolled}}}} \quad (5)$$

(4) معیار ثانوی مبتنی بر شتاب

$$f_4 = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_x^2 + a_y^2)_{i, \text{controlled}}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_x^2 + a_y^2)_{i, \text{uncontrolled}}}} \quad (6)$$

توابع عملکرد در معادلات 3 و 4 تمایل دارند که مقادیر ماکزیمم شتاب و دریافت طبقات را مینیمم کنند. دریافت عمدتاً در پایین‌ترین طبقه ماکزیمم است. شتاب معمولاً در طبقه‌ی فوقانی بیشترین مقدار را دارد، البته ممکن است همیشه این اتفاق نیفتد. بطور کلی مقادیر کنترل شده و کنترل نشده ماکزیمم در معادله 4 ممکن است که در طبقات مختلف رخ دهند. توابع عملکرد در معادلات 5 و 6، که شامل پاسخهایی



از تمام طبقات است بر روی کاهش تمام کمیت‌های پاسخ تمرکز دارد.

### راهکار جستجوی بهینه

جستجوی بهینه برای پارامترهای میراگر را براحتی میتوان با استفاده از روشهای (1) روش مبتنی بر شیب و یا (2) روش الگوریتم ژنتیک (GA) انجام داد. ما در اینجا بدلائیل زیر از روش GA استفاده می‌کنیم. این راهکار انعطاف پذیری بالایی دارد زیرا می‌توان آن را با هر شکلی از تابع عملکرد و هر ورودی لرزه‌ای تا زمانیکه بتوان سازه را تحلیل و توابع عملکردی را محاسبه کرد، بکار برد. راهکار پیشنهادی معمولاً به یک راه حل بهینه‌ی عمومی منجر می‌شود بگونه‌ای که با گزینه‌های محتمل بسیاری شروع شده و با توجه به قوانین انتشار ژنتیک تکامل می‌یابد. اخیراً Hadi و Arfiadi [22] از الگوریتم ژنتیک برای بدست آوردن پارامترهای بهینه‌ی میراگر جرمی تنظیم شده‌ای که بر روی یک سازه‌ی مسطح نصب شده است، استفاده کرده‌اند. توضیح مختصری از المانهای اساسی این راهکار موثر و قوی در زیر ارائه شده است.

از زمان توسعه این روش توسط Holland [23]، الگوریتمهای ژنتیک در جوامع بهینه‌سازی از علاقه رو به رشدی برخوردار بوده است و در کاربردهای مختلفی استفاده شده است. اخیراً Sing و Moreschi [24] و Moreschi [25] از روش GA با موفقیت برای تعیین اندازه و جانمایی بهینه‌ی دستگاه‌های استهلاک انرژی در سازه‌های چند طبقه‌ی تحت تحریک زلزله، استفاده کرده‌اند. الگوریتمهای ژنتیک تکنیکهای بهینه‌سازی و جستجوی قوی هستند که بر پایه‌ی اصول تکامل بیولوژیکی استوارند. بهترین روش طراحی روشی است که تابع عملکرد همراه با آن بیشترین مقدار راداشته باشد. در این مقاله هدف تشخیص بهترین روش طراحی است. عملگرهای ادغام و جهش دو مکانیسم اساسی در الگوریتم ژنتیک هستند. آنها طرحهای جدیدی را برای بررسی بیشتر در فضای تحقیقات خلق می‌کنند. زمانیکه یک جامعه آماری خلق می‌شود، تابع عملکرد برای هر طراحی جدید ارزیابی می‌شود تا مزیت آن نسبت به سایر روشهای طراحی موجود در جامعه‌ی آماری مشخص شود. این فرایند برای تعدادی از چرخه‌ها تکرار می‌شود تا زمانیکه هیچ پیشرفتی در تولیدات متوالی مشاهده نشود. الگوریتمهای ژنتیک از تکنیکهای بهینه‌سازی متعارفی که در زیر بیان شده‌اند متفاوت است: (1) آنها به طور همزمان بسیاری از نقاط طراحی در فضای تحقیق را در نظر

گرفته و در نتیجه یک شانس کاهش یافته در همگرایی دارند،(2) آنها به هیچ محاسباتی برای تعیین شیب توابع پیچیده برای هدایت تحقیق خود ندارند؛ تنها اطلاعات مورد نیاز، پاسخ سیستم برای محاسبه‌ی تابع سازگار است . (3) آنها از قوانین احتمالاتی بجای قوانین قطعی استفاده می‌کنند. امروزه چندین جزوه [26]- [29] درباره‌ی این موضوع وجود دارد؛ مقالاتی [30-32] نیز که به کاربرد آنها در مهندسی ساختمان می‌پردازد وجود دارد.

برای محاسبه پارامترهای میراگر به شرح زیر عمل می‌کنیم. برای چهار میرگر جرمی تنظیم شده، در کل باید چهارده پارامتر محاسبه شود: چهار پارامتر برای هر یک از کمیت‌های جرم، سختی، میرایی و دو پارامتر برای فواصل  $l_1$  و  $l_2$ . ابتدا یک طرف عملی‌قابل اجرا) برای هر مقدار پارامتر انتخاب می‌شود. این محدوده‌ها برای تشخیص مقادیر مختلفی که پارامترها می‌توانند داشته باشند، تفکیک می‌شوند. مقادیر مختلف که به صورت تصادفی انتخاب شده اند، مجموعه‌ای از چهار میراگر جرمی تنظیم شده را تعریف می‌کند که نشان دهنده‌ی طرح احتمالی سیستم کنترلی است. در روش الگوریتم ژنتیک، هر طرح نشان دهنده یک کروموزوم شناسایی برای یک عضو در جامعه آماری است. هر عضو در جامعه آماری از ژن‌هایی ساخت شده که متشکل از مقادیر پارامتر انتخابی است. فرایند بهینه سازی با مجموعه‌ای از این اعضا آغاز می‌شود. در مسئله حاضر، 30 عضو برای تشکیل جامعه آماری انتخاب شدند. هیچ قانون سریع و محکمی برای تعیین اندازه‌ی جامعه آماری وجود ندارد. جامعه آماری بزرگتر شاید مسیر تکاملی کمتری را نسبت به جامعه آماری کوچکتر برای همگرایی مقدار بهینه‌ی نهایی طی کند. اگر چه در هر نسلی از جامعه آماری بزرگتر، محاسبات بیشتری برای تابع عملکرد نسبت به جوامع آماری کوچکتر وجود دارد. سپس سیستم برای هر عضو جامعه آماری تجزیه تحلیل شده و طرح‌های مجزا با توجه به مقادیر تابع عملکردشان، به طور منظم رتبه بندی می‌شوند. طراحی با بالاترین شاخص عملکرد بهترین است، بقیه نیز به همین ترتیب. نه همه ولی درصد بالایی از اعضا در جامعه آماری جفت می‌شوند. انتخاب جفت برای جفت گیری بر اساس طرح چرخهای قمار انجام میشود که جزئیات آن را میتوان در مرجع [25] یافت. هر جفت از اعضا جفت جدیدی را از طریق تقاطع خلق می‌کنند. هر تقاطع مخلوطی از ژن پدر و مادر است. کسری از جامعه آماری جدید

میتواند به معرفی طرحهای جدیدی در جامعه آماری منجر شود. این شامل یک تبادل ساده است بین ژنهای موجود و ژنهایی که به صورت تصادفی انتخاب شدهاند. در این تحقیق از هر نسل در جامعه آماری 5 درصد در معرض جهش قرار گرفته است. علاوه بر این جهش طرحهای نخبه گرایانه‌ای نیز برای شکل گیری نسلی جدید معرفی شده است. در این روش، اعضای که در انتهای رتبه بندی قرار دارند، حذف و بوسيله اولين عضو در رتبه بندی نسل قبل، جایگزین میشوند. این امر منجر به حفظ بهترین خصوصیات نسل قبل در نسل کنونی میشود. نسل جدید شکل گرفته سپس در کل سیکل تکامل ژنتیکی برای خلق یک نسل جدید پیش میرود. پس از چند چرخه تولید، بهترین طراحی در جامعه آماری معمولاً به طراحی بهینه همگرا میشود. برای پیاده سازی (اجرای) روش مذکور در این مقاله، ماژول الگوریتم ژنتیک که توسط Mc-Mahon و همکاران [33] در فورتن 90 نوشته شده است، اصلاح و مورد استفاده قرار گرفته است.

### ارزیابی تابع عملکرد

در این فرایند تحقیق ژنتیکی، اکثر تلاش محاسباتی صرف تجزیه و تحلیل سازه برای محاسبه‌ی تابع عملکرد هر طراحی مجزا در هر نسل شده است. برای یک سیستم چند درجه آزادی خطی و زلزله ورودی در نظر گرفته شده در این پژوهش، برای محاسبه‌ی تابع عملکردی که بوسيله یک راهکار تحلیلی مودی تعمیم یافته بدست می‌آید، کمیتهای پاسخ مورد نیاز هستند. اگر فرض بر این باشد که میرایی سازه کلاسیک است، ترکیب سازه و میراگر که با معادله 2 نشان داده شده، بصورت غیر کلاسیک میرا شده است. برای تجزیه و تحلیل یک سازه که بصورت غیر کلاسیک میرا شده، کار با سیستم معادلات مرتبه‌ی اول راحت تر است.

$$\mathbf{A}\dot{\mathbf{y}}(t) + \mathbf{B}\mathbf{y}(t) = \mathbf{D}' \begin{Bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{r}_s \end{Bmatrix} \ddot{\mathbf{g}} \quad (7)$$

که برای یک سیستم دینامیکی N درجه آزادی،  $\mathbf{y}(t)$  متشکل از  $2N \times 1$  بردار حالت است. ماتریسهای سیستم A، B و  $\mathbf{D}'$  با ابعاد  $2N \times 2N$  بصورت زیر تعریف میشوند.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{M}_s \\ \mathbf{M}_s & \mathbf{C}_s \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} -\mathbf{M}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_s \end{bmatrix}; \quad \mathbf{D}' = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_s \end{bmatrix} \quad (8)$$

$M_S$ ،  $C_S$  و  $K_S$  ماتریسهای جرم، میرایی و سختی ترکیب سازه و میراگر است که در معادله 2 تعریف شده اند. با توجه به روش پیشنهادشده توسط Sing و همکاران [34-35] میتوان مقدار مجذور یک کمیت پاسخ را برای یک زلزله ورودی دو جهته بصورت زیر تعریف کرد.

$$E[R^2(t)] = \sum_{l=1}^2 \left\{ \begin{aligned} & \sum_{j=1}^N \gamma_{jl}^2 I_j^l + 4 \sum_{j=1}^N a_{jl}^2 I_{2j} + \\ & 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \left[ W_{jk} \left( I_{ij}^l - \frac{I_{1k}^l}{\Omega_{jk}^4} \right) + Q_{jk} (I_{2j}^l - I_{2k}^l) + \frac{\gamma_{jl} \gamma_{kl}}{\Omega_{jk}^2} I_{1k}^l + 4 a_{jl} a_{kl} I_{2k}^l \right] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

ترمهای مختلف در این عبارت بر حسب خواص مودی پیچیده برای سیستم و زلزله ورودی، تعریف شده اند.  $I_{1j}^l$  و  $I_{2j}^l$  انتگرالهای فرکانسی هستند که مقادیر میانگین مربع پاسخهای جابجایی نسبی و سرعت نسبی یک نوسانگر را با فرکانس  $\omega_j$  و نسبت میرایی  $\beta_j$  که تحت تحریک پایه قرار گرفته، بیان میکنند.

$$I_{1j}^l = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Phi_l(\omega)}{(\omega_j^2 - \omega)^2 + 4\omega_j^2 \beta_j^2 \omega^2} d\omega, \quad I_{2j}^l = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Phi_l(\omega) \omega^2}{(\omega_j^2 - \omega)^2 + 4\omega_j^2 \beta_j^2 \omega^2} d\omega \quad (10)$$

با مرتبط کردن این انتگرالهای فرکانسی با مقادیر طیف پاسخ زمین، میتوان مقدار طراحی کمیت پاسخ را بصورت زیر محاسبه کرد.

$$R_d^2 = \sum_{l=1}^2 \left[ \begin{aligned} & \sum_{j=1}^N \left( \frac{\gamma_{jl}^2}{\omega_j^4} P_{jl}^2 + 4a_{jl}^2 V_{jl}^2 \right) + \\ & 2 \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \left[ \frac{W_{jk}}{\omega_j^4} (P_{jl}^2 - P_{kl}^2) + Q_{jk} (V_{jl}^2 - V_{kl}^2) + \frac{\gamma_{jl} \gamma_{kl}}{\omega_j^2 \omega_k^2} P_{kl}^2 + 4a_{jl} a_{kl} V_{kl}^2 \right] \end{aligned} \right] \quad (11)$$

## مطالعه‌ی عددی

### مدل سیستم

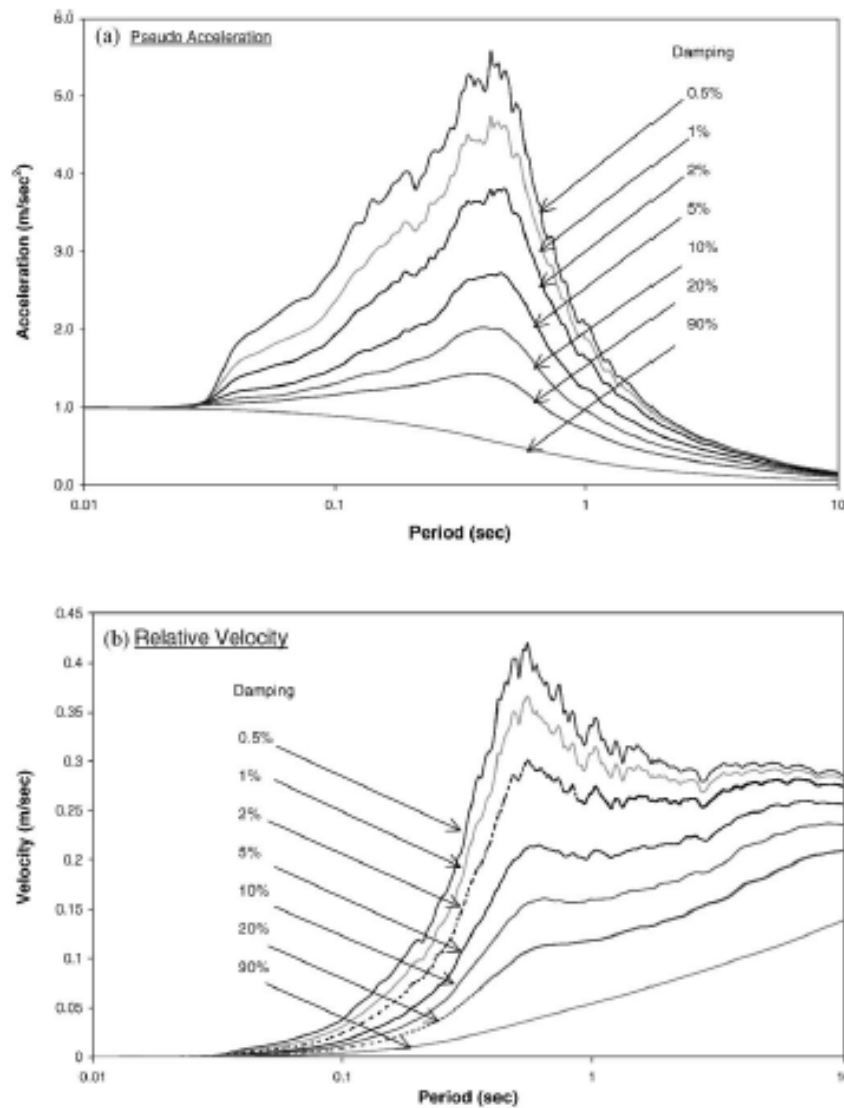
یک مدل ساختمان برشی 6 طبقه که در شکل 1 نشان داده شده در این مطالعه عددی در نظر گرفته شده است. ویژگیهای سازه عبارتند از: جرم هر طبقه 40000 کیلوگرم، سختی طبقات پیچشی در جهات X

و  $y$ ،  $4.5 \times 10^7 N/M$ ، سختی پیچی هر طبقه  $1.18 \times 10^9 NM/rad$  و شعاع ژیراسون  $11/7$  متر. توزیع سختی نسبت به محور  $y$  متقارن است. اگر چه در جهت  $y$  خروج از مرکزیتی برابر با  $0/075$  بین مراکز جرم و سختی وجود دارد. نه فرکانس اول طبیعی سازه  $7/98$ ،  $8/09$ ،  $11/36$ ،  $23/46$ ،  $23/79$ ،  $33/59$ ،  $38/37$ ،  $49/53$  و  $11/59$  رادیان بر ثانیه است. فرض بر این است که نرخ میرایی مودی در تمامی مودها  $0/03$  است.

### پارامترهای میراگر جرمی تنظیم شده

همانطور که قبلاً بیان شد دو جفت میراگر جرمی تنظیم شده بر روی بام نصب شده است. هدف از این پژوهش طراحی بهینه این میراگرهاست که همانگونه که قبلاً بیان شد منجر به ماکزیمم شدن توابع عملکرد میشوند. حدود مقادیر قابل قبول (عملی) برای پارامترهای طراحی بصورت زیر بیان میشوند:

(1) نسبت جرمی: نسبت جرمی بصورت نسبت جرم میراگر به جرم کل سازه تعریف میشود. فرض میشود که نسبت جرمی هر میراگر میتواند از  $0/1$  تا  $1$  درصد جرم سازه تغییرکند. بنابراین جرم ماکزیمم سیستم میراگر متشکل از چهار میراگر میتواند  $4$  درصد جرم سازه باشد.



شکل 2: طیف پاسخ ورودی برای شبه شتاب و سرعت نسبی

(2) نسبت فرکانس: نسبت فرکانس برای هر میراگر برابر است با نسبت فرکانس طبیعی خود میراگر به فرکانس

اصلی سازه ساختمانی. در اینجا فرض شده است که این نسبت میتواند بین مقادیر صفر تا  $2/5$  متغیر باشد.

(3) نسبت میرایی: نسبت ضریب میرایی به مقدار میرایی بحرانی است. در اینجا فرض بر این است که این نسبت

میتواند در محدوده صفر تا 10 درصد متغیر باشد.

(4) موقعیت میراگرها نسبت به مرکز جرم: فرض بر این است که این فاصله میتواند بین 1 تا  $2/5$  متر متغیر

باشد.

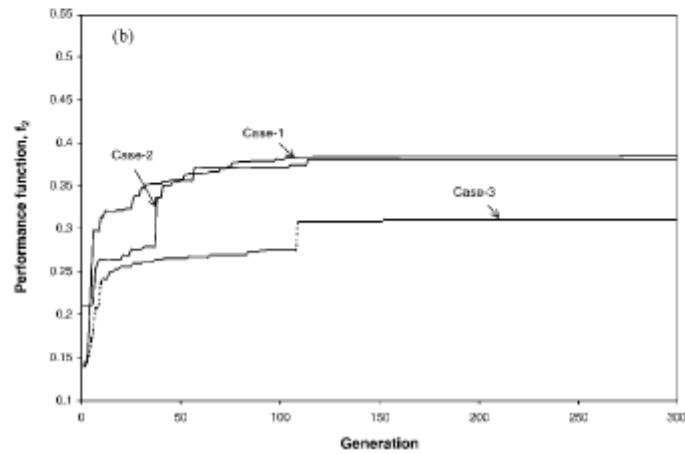
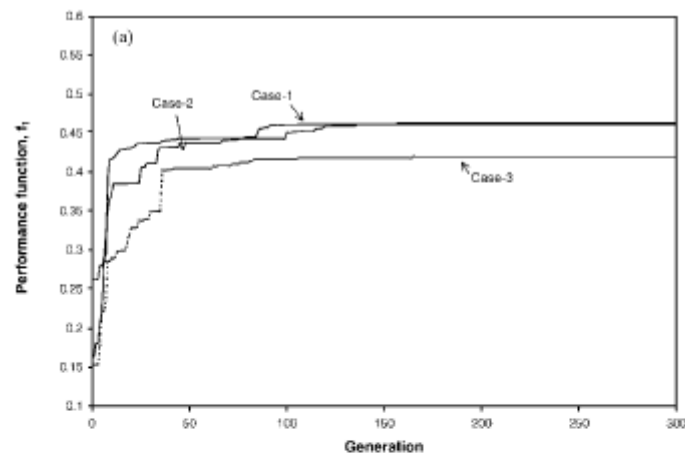
جدول 1: پارامترهای میراگر و محدوده های آنها در سه حالت طراحی

Design parameters	Case 1	Case 2	Case 3
Mass ratio ( $m_r$ )	$0.001 < m_r \leq 0.01$	0.01 (fixed)	0.01 (fixed)
Tuning frequency ratio ( $f_r$ )	$0.0 < f_r \leq 2.5$	$0.0 < f_r \leq 2.5$	$0.0 < f_r \leq 2.5$ and $f_{r1} = f_{r2}; f_{r3} = f_{r4}$
Damping ratio ( $d_r$ )	$0\% < d_r \leq 10\%$	$0\% < d_r \leq 10\%$	$0\% < d_r \leq 10\%$
Position from center of mass ( $l$ )	$1.0 \leq l \leq 2.5$	$1.0 \leq l \leq 2.5$	$1.0 \leq l \leq 2.5$

برای استفاده از الگوریتم ژنتیک، این محدوده های پیوسته به 25 مقدار گسسته ی مساوی، تقسیم میشوند. از آنجاییکه 14 پارامتر طراحی وجود دارد و هر پارامتر میتواند مستقلا با 25 روش مختلف دیگر انتخاب شود، در کل 25 به توان 14 راه حل طراحی محتمل وجود دارد. که قطعا هیچکس نمیتواند تمامی این راه حل های مستدل را برای تشخیص طراحی بهینه ارزیابی کند. الگوریتم ژنتیک تشخیص بهترین راه حل ممکن را با تلاش محاسباتی قابل قبولی امکان پذیر میسازد.

تغییر پارامترها بصورت مستقل انعطاف پذیری را به فرایند بهینه سازی می افزاید، اما از طرفی تلاش محاسباتی برای دستیابی به راه حل بهینه را افزایش میدهد. بنابراین با حذف بعضی از پارامترها و یا محدود کردن آنها به مقدار مشخصی میتوان تعداد ترکیبات مختلف پارامترها را کاهش داد. برای آزمودن چنین روشی در اینجا سه حالت مختلف در نظر گرفته شده است. در حالت 1 تمامی پارامترها مجازند که به صورت مستقل از یکدیگر در محدوده ی مشخصی تغییر کنند. در حالت 2 جرم در بالاترین مقدار خود یعنی 1 درصد برای هر میراگر ثابت بوده ولی سایر پارامترها مجازند که آزادانه در محدوده ی خود تغییر کنند. حالت 3 مشابه حالت 2 است ولی با محدودیتهای اضافی یعنی فرکانس دو میراگر نصب شده در جهت X یکسان است و همینطور فرکانس میراگرهای نصب شده در جهت Y نیز برابرند. غیر از این محدودیتهایی که برای نسبت های جرمی و فرکانس در نظر گرفته شده دو پارامتر دیگر میتوانند آزادانه در محدوده خود تغییر کنند. ویژگیهای این سه حالت در جدول 1 بیان شده است. مقایسه این سه حالت با توجه به سودمندی آنها در کاهش پاسخ مزیت انعطاف پذیری در فرایند طراحی را نشان میدهد. حالت 1 بیشترین انعطاف پذیری را

دارد ولی همچنین بیشترین تعداد پارامترهای طراحی را برای بهینه سازی داراست. حالت 3 مشخصاً کمترین انعطاف پذیری و کمترین تعداد پارامتر طراحی را برای بهینه سازی دارد.



شکل 3: بهبود عملکرد با (1) تابع عملکرد مبنی بر دررفت (2) تابع عملکرد مبنی بر شتاب  
جدول 2: پارامترهای طراحی بهینه در میراگرهای جرمی تنظیم شده برای سه حالت

Table II. Optimum design parameters of tuned mass dampers for different cases: Kama-Tajimi PSDF input.

TMD	Performance function in Equation (3)				Performance function in Equation (4)				
	Tuning frequency ratio ( $f_1$ )	Mass ratio ( $m_r$ )	Damping ( $d_r$ ) (in %)	Position ( $l$ ) (in m)	Tuning frequency ratio ( $f_2$ )	Mass ratio ( $m_r$ )	Damping ( $d_r$ ) (in %)	Position ( $l$ ) (in m)	
		Case 1: $f_1 = 0.4616$					Case 1: $f_2 = 0.3847$		
1	0.80	0.0020	9.2	2.25	1.00	0.0084	10	1.06	
2	1.00	0.0048	10	2.25	2.50	0.0100	10	1.06	
3	0.70	0.0092	10	1.56	2.50	0.0100	10	1.94	
4	1.00	0.0080	10	1.56	1.00	0.0096	10	1.94	
		Case 2: $f_1 = 0.46312$					Case 2: $f_2 = 0.3807$		
1	1.00	0.0100	10	1.00	2.50	0.0100	10	2.50	
2	0.90	0.0100	10	1.00	1.00	0.0100	10	2.50	
3	1.20	0.0100	10	2.50	2.50	0.0100	10	1.94	
4	1.00	0.0100	10	2.50	1.00	0.0100	10	1.94	
		Case 3: $f_1 = 0.4203$					Case 3: $f_2 = 0.3105$		
1	1.00	0.0100	10	2.50	1.00	0.0100	10	2.50	
2	1.00	0.0100	10	2.50	1.00	0.0100	10	2.50	
3	1.00	0.0100	10	2.50	1.00	0.0100	10	2.50	
4	1.00	0.0100	10	2.50	1.00	0.0100	10	2.50	

### نتیجه گیری

مقاله حاضر راهکاری را برای محاسبه پارامترهای بهینه چندین میراگر جرمی تنظیم شده که



برای کنترل پاسخ پیچشی سازه‌های ساختمانی تحت زلزله بکار میروند، ارائه کرده است. به عنوان نمونه دو میراگر جفت که در طبقه ی فوقانی ساختمان نصب شده است. پارامترهای بهینه با ماکزیمم کردن اشکال مختلف عملکردی که در نهایت منجر به کاهش پاسخهای سازه میشوند، محاسبه شده اند. از یک الگوریتم ژنتیک برای جستجوی راه حل بهینه استفاده شده است. این راهکار بهینه را میتوان براحتی با هر شکلی از تابع عملکرد و با هر زلزله‌ی ورودی تا زمان محاسبه تابع عملکرد ساختمان بکار برد. برای سیستمهای خطی معمولاً میتوان از طیف طرح برای انجام طراحی بهینه استفاده کرد. انعطاف پذیری در انتخاب پارامترها میتواند در ایجاد یک طراحی بهتر مفید واقع شود. سودمندی و مزایای طرح بهینه ی میراگرهای جرمی تنظیم شده در چندین مثال عددی اثبات شده است.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی