



استفاده از الگوریتم ژنتیک برای طراحی بهینه جرم میراگر فعال در سازه‌های غیرخطی فلزی

محتشم محبی^۱، کاظم شاکری^۲
(تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۱، تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۴)

چکیده:

با توجه به محدود بودن مطالعات در مورد کاربرد سیستم‌های کنترل فعال در کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌های با رفتار غیر خطی، در این پژوهش به طراحی مکانیزم جرم میراگر فعال (AMD) برای بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های غیرخطی پرداخته شده است. برای این منظور قاب ۸ طبقه فلزی با رفتار غیر خطی از نوع دو خطی هیستریسیس تحت اثر اغتشاش سفید در نظر گرفته شده و سیستم کنترل فعال با استفاده از الگوریتم کنترل بهینه آنی غیر خطی طراحی گردیده است. جهت بهینه سازی سیستم کنترل فعال به منظور کاهش ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی سازه و در نتیجه نیروهای داخلی اعضای سازه به ازای ظرفیت مشخصی از محرک، از الگوریتم ژنتیک توزیع شده استفاده گردیده است. برخی مسائل عملی نظیر محدودیت در ماکزیمم نیروی کنترل و ماکزیمم تغییر مکان جانبی AMD در طراحی سیستم کنترل فعال در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده موفق بودن روش پیشنهادی را در طراحی مکانیزم AMD برای کاهش پاسخ سازه غیر خطی نشان می‌دهد. همچنین بررسی انجام گرفته برتری مکانیزم AMD را در کاهش پاسخهای سازه غیرخطی در مقایسه با مکانیزم جرم میراگر غیرفعال و تاندون فعال (ATC) ثابت می‌کند.

کلمات کلیدی

کنترل فعال، جرم میراگر فعال، سازه غیرخطی، الگوریتم ژنتیک توزیع شده، کنترل سازه غیرخطی

Using Genetic Algorithm (GA) for Optimal Design of Active Mass Damper (AMD) for Nonlinear Steel Structures

M. Mohebbi, K. Shakeri

ABSTRACT

Since the application of structural control systems on nonlinear structures has been limited hence, in this paper designing active mass damper (AMD) for improving the seismic response of nonlinear frames has been studied. To this end, an eight-story steel frame with bilinear hysteretic behavior has been subjected to white noise excitation and AMD system has been designed by using the nonlinear instantaneous optimal control algorithm. For optimization of control system to minimize the maximum drift of structure, consequently the internal forces of the structural elements when a limited capacity has been considered for actuator, distributed genetic algorithm (DGA) has been applied. Also some practical limitations such as actuator capacity and AMD stroke length have been considered in design processes. The results of numerical simulations show the effectiveness of the proposed method in designing optimal AMDs for nonlinear frames. Also comparing the performance of AMD system with that of passive mass damper (TMD) and active tendon control (ATC) shows that the AMD has been more effective in reducing the seismic response of nonlinear frames.

Key words

Active Control, Active Mass Damper (AMD), Nonlinear Structure, Distributed Genetic Algorithm (DGA), Nonlinear Structure Control

۱. استادیار دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی، mohebbi@uma.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲. استادیار دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی، shakeri@uma.ac.ir



یکی از روشهای نوین ارائه شده برای افزایش ایمنی ساختمانها و سازه‌های خاص و همچنین راحتی ساکنین، استفاده از سیستم‌های کنترل در طراحی و ساخت ساختمانها می‌باشد که این سیستم‌ها سطح ایمنی مورد نیاز را در صورت وجود تکنولوژی لازم، در مقابل بارهای خارجی اعمال شده تامین می‌کنند [۱-۳]. این سیستم‌ها به انواع کنترل غیر فعال، کنترل فعال، کنترل نیمه فعال و کنترل دوگان تقسیم بندی شده اند. با توجه به اینکه اکثر ساختمانها در مقابل زلزله های شدید دچار تغییر شکل های بزرگ و تسلیم شده و دارای رفتار غیر خطی یا غیر الاستیک خواهند شد، بنابراین استفاده از سیستم های کنترل فعال در سازه های با رفتار غیر خطی، غیر الاستیک و هیستریسیس یکی از بحث های مهم در کنترل سازه ها می باشد. لذا در این مقاله به کنترل فعال سازه های غیر خطی با مطالعه موردی سازه فلزی پرداخته می شود.

از جمله مکانیزهای کنترل غیر فعال که برای بهبود رفتار ساختمانها در برابر زلزله پیشنهاد شده جرم میراگر هماهنگ شده (TMD) می باشد. کاربرد جرم میراگر هماهنگ شده باعث افزایش استهلاک انرژی در سازه به هنگام اعمال نیروهای خارجی نظیر باد و زلزله می شود. با توجه به اینکه میزان کاهش پاسخ سازه به پارامترهای سیستم TMD نظیر جرم، میرایی و سختی بستگی دارد، برای تعیین مقادیر بهینه پارامترهای TMD نظیر سختی و میرایی، معیارهای مختلفی برای سازه های با رفتار خطی پیشنهاد شده است [۴-۶]. در روشهای ارائه شده برای طراحی بهینه TMD در سازه های خطی، عموماً مشخصات TMD بر اساس فرکانس مد مورد نظری که قرار است کنترل شود تعیین می شود. در رابطه با کاربرد TMD در سازه های با رفتار غیر خطی هم مطالعاتی صورت گرفته است [۷-۱۰]. در سازه های با رفتار غیر خطی به لحاظ تغییر در مشخصات دینامیکی سازه نظیر سختی و میرایی نمی توان TMD را برای یک فرکانس یا میرایی مشخص

میزان نمود. بنابراین استفاده از TMD در اینگونه سازه ها نمی تواند در حالت بهینه قرارگیرد. در صورت طراحی بهینه TMD بر اساس فرکانس یا میرایی مشخصی از سازه، با ورود سازه به ناحیه غیر خطی و تغییر مشخصات آن، TMD از حالت بهینه خارج خواهد شد. در سازه های غیر خطی قطعیت مؤثر بودن استفاده از TMD در برابر هر رکورد ارتعاش وجود نداشته و عملکرد TMD وابسته به مشخصات ارتعاش خارجی ورودی (حداکثر شتاب، محتوای فرکانس و ...) می باشد، گرچه TMD ممکن است تحت اثر یک رکورد زلزله مشخصی کارایی مناسب در کاهش پاسخهای سازه نظیر حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی، انرژی هیستریسیس انباشته شده و شتاب داشته باشد. همچنین استفاده از TMD تا یک حد محدودی مؤثر بوده و نمی توان در برابر زلزله های شدید پاسخ سازه را تا حد دلخواه با استفاده از TMD کاهش داد. برای برطرف کردن ضعف های TMD، جرم میراگر فعال (AMD) که ترکیب جرم میراگر با یک سیستم کنترل فعال می باشد، پیشنهاد شده است که این سیستم جزو پر استفاده ترین سیستم کنترل در کاربردهای عملی می باشد [۱۱]. در این سیستم نیروی کنترل بین سازه اصلی و TMD اعمال می گردد که مقدار این نیرو می تواند با استفاده از یکی از الگوریتمهای کنترل فعال تعیین گردد. در این پژوهش هم از مکانیزم AMD برای کنترل فعال سازه غیرخطی استفاده شده است.

از طرف دیگر برای کنترل فعال سازه غیر خطی لازم است که الگوریتم مناسبی در نظر گرفته شود. تئوریهای اولیه کنترل فعال عمدتاً برای سازه های با رفتار خطی توسعه یافته اند و تئوریهای کنترل برای سازه های با رفتار غیر خطی و غیر الاستیک به علت حجم زیاد محاسبات و عدم وجود روشهای مشخص برای حل دقیق معادلات غیر خطی، محدود می باشد. تعدادی از الگوریتم های ارائه شده برای کنترل فعال سازه های خطی برای کنترل سازه های غیر خطی هم بررسی شده است از جمله روش



۲- کنترل فعال بهینه آنی با استفاده از روش عددی نیومارک برای سازه های با رفتار غیر خطی مجهز شده با AMD

سازه n درجه آزادی با رفتار غیر خطی را در نظر بگیرید که AMD در طبقه آخر قرار گرفته است (شکل (۱)). در صورتیکه سازه تحت ارتعاش پایه \ddot{X}_g قرار گرفته باشد با فرض رفتار برشی معادلات ارتعاش را می توان بصورت زیر نوشت:

$$(1) \quad M\ddot{\mathbf{X}}(t) + F_D(\dot{\mathbf{X}}(t)) + F_S(\mathbf{X}(t)) = \mathbf{D}u(t) + \mathbf{M}e\ddot{X}_g$$

که:

$\ddot{\mathbf{X}}(\ddot{x}_1, \ddot{x}_2, \dots, \ddot{x}_{n+1})$, $\dot{\mathbf{X}}(\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_{n+1})$, $\mathbf{X}(x_1, x_2, \dots, x_{n+1})$ به ترتیب بردارهای تغییر مکان، سرعت و شتاب سازه، $\mathbf{u}(t)$ نیروی کنترل، $\mathbf{D}^T = [0, 0, \dots, -1, 1]_{1 \times (n+1)}$ بردار محل کنترلرها و $\mathbf{e}^T = [-1, -1, \dots, -1]_{1 \times (n+1)}$ بردار انتقال شتاب پایه می باشند. همچنین ماتریس جرم سازه - AMD بصورت زیر می باشد:

$$(2) \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & m_n & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & m_d \end{bmatrix}_{(n+1) \times (n+1)}$$

که m_d جرم میراگر می باشد.

F_S بردارهای F_S و F_D بردارهای مربوط به نیروهای میرایی و سختی داخلی می باشند که به ترتیب بصورت تابعی از سرعت و تغییر مکان سازه می باشند.

کنترل پالس که برای سازه های غیر خطی هم توسعه داده شده است [۱۴-۱۲]. در روش کنترل پالس اولیه ارائه شده برای سازه های غیر خطی الاستیک مقدار ضربه بصورت رابطه غیر خطی از سرعت بیان شده است که ضریب تناسب بصورت تجربی تعیین شده است که این نوع کنترل غیر بهینه می باشد [۱۴]. الگوریتم کنترل بهینه آنی که توسط Yang و همکارانش برای سازه های خطی ارائه شده است [۱۵] برای سازه های غیر خطی و غیر الاستیک هم توسعه داده شده است. در مطالعات Yang و همکارانش [۱۶] با استفاده از روش عددی Wilson- θ سه حالت کنترل بهینه آنی حلقه - بسته، حلقه - باز و حلقه بسته - باز به تعیین بردار کنترل برای سازه های غیر خطی پرداخته شده است. Wong روش کنترل پیش بین بهینه آنی و روش کنترل خطی بهینه را برای کنترل فعال سازه های غیر خطی و غیر الاستیک پیشنهاد داده اند [۱۷-۱۸]. هم چنین از روشهای کنترل هوشمند هم برای کنترل فعال سازه های غیر خطی استفاده شده است. Bani-Hani و Ghaboussi از شبکه عصبی برای طراحی کنترل گر سازه های غیر خطی استفاده کرده اند [۱۹-۲۰].

روش پیشنهادی Yang و Chang [۲۱] که استفاده از کنترل بهینه آنی با پسخور سرعت و تغییر مکان برای سازه های با رفتار خطی بوده توسط Joghataie و Mohebbi برای سازه های با رفتار غیر خطی و هیستریسیس با پسخور تغییر مکان، سرعت و شتاب توسعه داده شده است [۲۲]. در این پژوهش هم برای طراحی مکانیزم AMD برای کاهش پاسخ لرزه ای سازه های با رفتار غیر خطی از الگوریتم کنترل بهینه آنی توسعه یافته با استفاده از روش عددی نیومارک استفاده گردیده است که از الگوریتم ژنتیک توزیع شده برای بهینه سازی سیستم کنترل فعال استفاده می شود.



$$M\Delta\ddot{\mathbf{X}}(t) + \mathbf{C}^* \Delta\dot{\mathbf{X}}(t) + \mathbf{k}^* \Delta\mathbf{X}(t) = \Delta P(t)$$

$$(va) \quad \Delta\ddot{\mathbf{X}}(t) = \ddot{\mathbf{X}}_k - \ddot{\mathbf{X}}_{k-1}$$

$$(vb)$$

$$\Delta\dot{\mathbf{X}}(t) = \dot{\mathbf{X}}_k - \dot{\mathbf{X}}_{k-1}$$

$$(vc)$$

$$\Delta\mathbf{X}(t) = \mathbf{X}_k - \mathbf{X}_{k-1}$$

$$(vd)$$

$$\Delta P(t) = [Me(\ddot{\mathbf{X}}_{g_k} - \ddot{\mathbf{X}}_{g_{k-1}})] + D[u_k - u_{k-1}]$$

$$(ve)$$

۱-۲- روش عددی نیومارک

پاسخهای سازه که از حل معادله (۱) با روش عددی نیومارک بدست می آید بصورت زیر می باشد:

$$(۸a) \quad \mathbf{X}_k = \mathbf{X}_{k-1} + \Delta\mathbf{X}_k$$

$$\dot{\mathbf{X}}_k = (1 - a_5)\dot{\mathbf{X}}_{k-1} - a_6\ddot{\mathbf{X}}_{k-1} + a_4\Delta\mathbf{X}_k$$

$$(۸b) \quad \ddot{\mathbf{X}}_k = (1 - a_3)\ddot{\mathbf{X}}_{k-1} - a_2\dot{\mathbf{X}}_{k-1} + a_1\Delta\mathbf{X}_k$$

$$(۸c) \quad \Delta\mathbf{X}_k = \mathbf{K}_{n_k}^{*-1} \Delta\mathbf{F}_k$$

$$(۸d)$$

که پارامترهای معادلات فوق از روابط زیر بدست می آیند:

$$\mathbf{K}_{n_k}^* = a_1\mathbf{M} + a_4\mathbf{C}_{k-1}^* + \mathbf{K}_{k-1}^*$$

$$(۹)$$

$$\Delta\mathbf{F}_k = (\mathbf{P}_k - \mathbf{P}_{k-1}) + \mathbf{M}(a_2\dot{\mathbf{X}}_{k-1} + a_3\ddot{\mathbf{X}}_{k-1}) + \mathbf{C}_{k-1}^*(a_5\dot{\mathbf{X}}_{k-1} + a_6\ddot{\mathbf{X}}_{k-1})$$

$$(۱۰)$$

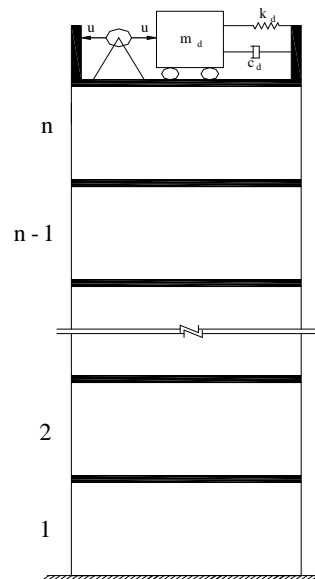
$$a_1 = \frac{1}{\delta(\Delta t)^2}; \quad a_2 = \frac{1}{\delta\Delta t}; \quad a_3 = \frac{1}{2\delta}; \quad (۱۱a,b,c)$$

$$a_4 = \frac{\gamma}{\delta\Delta t}; \quad a_5 = \frac{\gamma}{\delta}; \quad a_6 = \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\delta} - 1 \right); \quad (۱۱d,e,f)$$

δ و γ پارامترهای روش نیومارک می باشند که باید بصورت مناسبی انتخاب شوند تا پایداری در حل معادلات ارتعاش حاصل شود.

۲-۲- تابع عملکرد سیستم کنترل فعال

تابع عملکرد سیستم کنترل فعال در هر گام زمانی k بصورت زیر تعریف می شود که شامل ترمهای مربوط به



شکل (۱): سازه n درجه آزادی با جرم میراگر فعال (AMD)

در معادله (۱) در هر گام زمانی Δt مقادیر F_D و F_S را می توان بصورت زیر نوشت:

$$\mathbf{F}_{D_k} = \mathbf{F}_{D_{k-1}} + \mathbf{C}_{k-1}^* [\dot{\mathbf{X}}_k - \dot{\mathbf{X}}_{k-1}]$$

$$(۳a)$$

$$\mathbf{F}_{S_k} = \mathbf{F}_{S_{k-1}} + \mathbf{X}_{k-1}^* [\mathbf{X}_k - \mathbf{X}_{k-1}]$$

$$(۳b)$$

که k گام زمانی، \mathbf{C}_{k-1}^* و \mathbf{K}_{k-1}^* به ترتیب ماتریس های میرایی و سختی مماسی در گام زمانی $(k-1)\Delta t$ بوده و بصورت زیر تعریف می شوند:

$$\mathbf{C}_{ij_{k-1}}^* = \frac{\partial F_{Di_{k-1}}}{\partial \dot{\mathbf{X}}_{j_{k-1}}} \quad i,j=1,2,\dots,n+1 \quad (۴a)$$

$$\mathbf{k}_{ij_{k-1}}^* = \frac{\partial F_{Si_{k-1}}}{\partial \mathbf{X}_{j_{k-1}}} \quad i,j=1,2,\dots,n+1 \quad (۴b)$$

معادله (۱) در گام های زمانی $(k-1)\Delta t$ و Δt بصورت زیر نوشته می شود:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{X}}_{k-1} + \mathbf{F}_{D_{k-1}} + \mathbf{F}_{S_{k-1}} = \mathbf{M}e\ddot{\mathbf{X}}_{g_{k-1}} + \mathbf{D}u_{k-1}$$

$$(۵)$$

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{X}}_k + \mathbf{F}_{D_k} + \mathbf{F}_{S_k} = \mathbf{M}e\ddot{\mathbf{X}}_{g_k} + \mathbf{D}u_k$$

$$(۶)$$

با کسر معادله (۵) از معادله (۶) می توان نوشت:



بصورت زیر نوشته می شود که محدودیت های مربوط به ماکزیمم نیروی کنترل و تغییر مکان جانبی نسبی AMD بصورت تابع جریمه در تابع هدف اعمال شده اند.

$$\text{Find } Q_1, Q_2, Q_3, R \quad (14a)$$

$$\alpha Y_{max} + \beta_1 \max[0, g_1] + \beta_2 \max[0, g_2] \text{ Minimize} \quad (14b)$$

$$F(T) = \quad (14c)$$

$$g_1 = \frac{Y_{max}(tmd)}{Y_L} - 1$$

$$g_2 = \frac{u_{max}}{u_L} - 1 \quad (14d)$$

$$u_{max} = \max(|u_k|) \quad k = 1, 2, \dots, k_{max} \quad (14e)$$

$$(14f)$$

$$Y_{max} = \max(|y_k(i)|, k = 1, 2, \dots, k_{max}) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Y_{max} حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی سازه، u_{max} حداکثر نیروی کنترل مورد نیاز، و $y(i)$ تغییر مکان جانبی نسبی طبقه i ام بوده که بصورت زیر تعریف می شود:

$$y(i) = x(i) - x(i-1) \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (15a)$$

$$y(1) = x(1) \quad (15b)$$

β_1 و β_2 ضرایب تابع جریمه و α ضریب مقیاس می باشد.

u_L و Y_L به ترتیب حداکثر مجاز تغییر مکان جانبی نسبی AMD و ماکزیمم نیروی کنترل قابل اعمال می باشد که توسط طراح از قبل تعیین می شود.

با توجه به اینکه معادلات ارتعاش سازه و هم چنین مسئله بهینه سازی بصورت توابع غیر خطی تعریف شده اند لذا امکان استفاده از روشهای بهینه سازی کلاسیک که عموماً بر اساس گرادیان تابع هدف می باشند، برای حل مساله بهینه سازی فوق وجود نداشته یا اینکه دارای حجم محاسبات بالایی می باشد. بنابراین در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک (GA) [25] با توجه به قابلیت بالای آن در حل مسائل بهینه سازی غیر خطی و هم چنین توابع گسسته استفاده شده است. جهت افزایش قابلیت الگوریتم ژنتیک معمولی از الگوریتم ژنتیک توزیع شده (DGA) [26-27]، به لحاظ سرعت بالای همگرایی بخصوص در

تغییر مکان، سرعت، شتاب و هم چنین نیروی کنترل می باشد. ماتریس های Q_1 ، Q_2 و Q_3 ماتریس های $(n+1) \times (n+1)$ نیمه مثبت معین مربوط به جریمه پاسخ سازه و $R_{m \times m}$ ماتریس مثبت معین مربوط به جریمه نیروی کنترل می باشد که m نشان دهنده تعداد کنترل گر می باشد.

$$J_k = \frac{1}{2} (\dot{X}_k^T Q_1 X_k + \dot{X}_k^T Q_2 \dot{X}_k + \ddot{X}_k^T Q_3 \ddot{X}_k + u_k^T R u_k) \quad (12)$$

۲-۳- تعیین نیروی کنترل

نیروی کنترل از کمینه سازی تابع عملکرد فوق تعیین می شود. برای اینکار معادله هامیلتون در هر گام زمانی تشکیل شده و از کمینه سازی آن، نیروی کنترل بصورت زیر بدست می آید:

$$(13)$$

$$u_k = -R^{-1} D^T K_{n_k}^{*-T} (Q_1 X_k + a_4 Q_2 \dot{X}_k + a_1 Q_3 \ddot{X}_k)$$

۲-۴- طراحی بهینه AMD

در رابطه (13) که برای محاسبه نیروی کنترل جهت اعمال به سازه های با رفتار غیر خطی ارائه شده نیروی کنترل بصورت تابعی از ماتریس های Q_1, Q_2, Q_3, R می باشند. Yang و همکارانش [23] برای تضمین پایداری سازه کنترل شده، روشی را بر پایه استفاده از روش مستقیم لیاپونف جهت تعیین ماتریس های وزنی ارائه نمودند که در حالت خاص این ماتریس ها بصورت تابعی از جرم و سختی سازه قابل تعریف می باشند. همچنین در پژوهش های قبلی انجام یافته پارامترهای فوق با استفاده از سعی و خطا [24] یا بر اساس فرضیات ساده کننده ای تعیین شده اند [21]. در این مقاله جهت افزایش کارایی سیستم کنترل فعال، برای تعیین ماتریسهای Q_1, Q_2, Q_3, R از روش ارائه شده توسط Joghataie و Mohebbi [22] استفاده گردیده است که در این روش با بهینه سازی یک تابع هدف، ماتریس های فوق برای کاهش پاسخ سازه به ازای ظرفیت مشخصی از محرک تعیین می شوند.

مسئله بهینه سازی برای تعیین ماتریس های وزنی در حالتیکه از TMD با مشخصات معلوم استفاده شود، جهت کاهش ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی طبقات سازه

مسائلی که دارای متغیرهای زیادی می باشند، در بهینه سازی طراحی کنترل‌گرها استفاده شده است.

۳- بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک توزیع شده (DGA)

در میان روشهای الهام گرفته از طبیعت نظیر الگوریتم تکاملی، وراثتی و شبیه سازی بازپخت، الگوریتم ژنتیک از کارآمدترین روشها می باشد که در این روش از نقش وراثت در تکامل موجودات زنده جهت بهینه سازی الهام گرفته شده است. مبنای این روش بدین صورت است که با تغییر ژنها در کروموزومهای موجودات زنده، مشخصات کروموزومها تغییر پیدا کرده بطوریکه بتوانند در رقابت با سایر موجودات زنده حفظ بقا نمایند.

در سال ۱۹۷۵، John Holland [۲۸] نظریه بنیادی الگوریتم ژنتیک را بیان نمود که از مشخصات آن قابلیت و سادگی در حل مسائل بهینه سازی با تعداد زیاد متغیرها و دارای نقاط بهینه محلی متعدد میباشد. در یک مسئله بهینه سازی یک بردار طراحی بصورت یک کروموزوم در نظر گرفته شده که ژنهای آن همان متغیرهای مسئله می باشند. هم چنین مقدار تابع هدف برای هر بردار طراحی نشانگر شایستگی آن کروموزوم می باشد. الگوریتم ژنتیک با تعدادی از بردارهای طراحی (کروموزومها) شروع شده و با تولید نسلهای بعدی تحت عملگرهای مشخصی، بطوریکه دارای شایستگی بالایی می باشند، ادامه می یابد. الگوریتم ژنتیک کاربرد زیادی در حل مسائل بهینه سازی در علوم مختلف از جمله مهندسی عمران دارد. برای طراحی بهینه سازه ها از جمله خرپاها [۲۹] و بهینه سازی شکل، اندازه سازه های پیچیده کالبدی [۳۰] الگوریتم ژنتیک بطور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته است.

در طراحی سیستم های کنترل سازه ها از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی کنترل گر فازی [۳۱]، تعیین محل بهینه میراگرها در کنترل غیر فعال سازه های غیر خطی [۳۲]، تعیین مقدار بهینه پارامترهای جرم میراگر هماهنگ شده

[۳۳-۳۴] و تعیین محل بهینه سنسورها و کنترل گرها در کنترل فعال [۳۵] استفاده شده است.

الگوریتم ژنتیک دارای سه عملگر انتخاب، همگذاری و جهش می باشد [۲۵]. انتخاب در الگوریتم ژنتیک عملگری است که تعداد کروموزومها و هم چنین کروموزومهای منتخب را برای تولید والدین نسل بعد مشخص می کند. در این مقاله از روش نمونه برداری تصادفی تک مرحله ای [۳۶] برای عملگر انتخاب استفاده شده است که احتمال انتخاب یک کروموزوم برابر است با:

$$P(X_i) = \frac{F(x_i)}{\sum_{i=1}^{N_{ind}} F(x_i)} \quad (16)$$

$P(x_i)$: احتمال انتخاب کروموزوم i ام، $F(x_i)$: شایستگی کروموزوم i ام و N_{ind} : تعداد کروموزوم در هر جمعیت می باشد.

تولید مثل (همگذاری) مهمترین عملگر الگوریتم ژنتیک می باشد و بیشترین نقش را در یافتن جوابهای جدید و بهینه دارا می باشد. در روش تولید مثل داخلی که در این پژوهش استفاده شده است نوزاد بر اساس ترکیب خطی دو کروموزوم والد نوشته می شود بدین صورت که:

$$Off_1 = P_1 + \alpha(P_2 - P_1) \quad (17a)$$

$$Off_2 = P_1 - \alpha(P_2 - P_1) \quad (17b)$$

P_1, P_2 : متغیرهای کروموزومهای والد، Off_1, Off_2 : متغیرهای کروموزوم نوزاد و α ضریب مقیاس بوده که بطور تصادفی معمولاً در فاصله $[-0.25, 0.25]$ برای تعیین هر متغیر (ژن) کروموزوم نوزاد انتخاب میشود [۳۷]. در الگوریتم ژنتیک جهش یکی از عملگرهای مهم بوده که جهت تضمین حفظ تنوع در جمعیت بکار برده می شود. درصد ژن هایی که جهش در آنها اتفاق می افتد عدد بسیار پایینی می باشد چرا که در صورت بالا بردن درصد جهش، الگوریتم ژنتیک به جستجوی تصادفی شبیه خواهد بود. هم چنین در صورتیکه احتمال جهش برابر صفر باشد عمل جستجو ممکن است در یک بهینه محلی



توقف نماید [۲۵]. اگر m_f درصد جهش ژنها بوده N_{var} و N_{new} به ترتیب نشانگر تعداد متغیرها و کروموزومهای تولید شده باشد در این حالت تعداد ژنهایی که دچار جهش ($N_{mutated}$) می شوند برابر است با:

$$N_{mutated} = m_f \cdot N_{new} \cdot N_{var} \quad (18)$$

که m_f عدد بسیار کوچکی می باشد.

Mühlenbein و Schlierkamp-Voosen [۳۷] روشی را برای جهش در متغیرهایی که بصورت حقیقی بیان شده اند ارائه کرده است که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است.

در مراحل اولیه استفاده از الگوریتم ژنتیک متغیرها بصورت سیستم دو دویی بیان شده اند. بررسیها نشان داده است که برای مسائل بهینه سازی با پارامترهای پیوسته استفاده از کدگذاری حقیقی دارای مزایایی نظیر سادگی در برنامه نویسی، نیاز به حافظه کمتر و امکان استفاده از عملگرهای مختلف ژنتیک می باشد [۳۸]. در مسائل مربوط به کنترل سازه ها که دامنه متغیرها از قبل معلوم نبوده و هم چنین دارای دامنه وسیعتری می باشند، استفاده از سیستم کدگذاری دو دویی بخاطر معلوم نبودن حد پایین و بالای متغیرهای طراحی سیستم کنترل دارای اشکالاتی می باشد و استفاده از کدگذاری حقیقی مناسبتر می باشد [۳۹]. در این پژوهش هم از کدگذاری حقیقی استفاده شده است.

در این مقاله از استراتژی برگزیده استفاده شده است که در این صورت تعدادی از کروموزومهای با شایستگی بالا در یک نسل عیناً به نسل بعد انتقال داده می شوند. بنابراین استفاده از این استراتژی باعث می شود که شایستگی کروموزوم برتر در طول نسل ها کاهش نیافته و بقیه کروموزومها با کروموزومهای با شایستگی بالای تولید شده جایگزین می شوند. در صورتیکه N_{ind} تعداد کروموزوم در هر نسل و N_{ins} تعداد جمعیت جایگزین شده از نوزادان در جمعیت قبلی باشد در این حالت

تعداد کروموزومهایی که به عنوان برگزیده وارد نسل بعدی می شوند برابر است با:

$$N_{elites} = N_{ind} - N_{ins} \quad (19)$$

۳-۱- الگوریتم ژنتیک توزیع شده

در الگوریتم ژنتیک توزیع شده (DGA)، یک جمعیت بزرگ به زیر جمعیت های کوچک (N_{sub}) تقسیم شده و GA معمولی بر روی هر یک از زیر جمعیت ها بطور جداگانه اعمال می شود. تعدادی از جمعیت از هر زیر جمعیت انتخاب و به زیر جمعیت های دیگر بصورت دوره ای مهاجرت می نماید. در فرآیند مهاجرت دو پارامتر مهم و تأثیر گذار وجود دارد:

- فاصله مهاجرت (N_{mig}): نشان می دهد که در بین چند نسل مهاجرت اتفاق می افتد.

- نرخ مهاجرت (M_{rat}): درصدی از کروموزومهای هر زیر جمعیت را که در هر بار مهاجرت بایستی مهاجرت کنند، مشخص می کند.

در الگوریتم ژنتیک توزیع شده (DGA) از آنجایی که یک جمعیت به زیر جمعیت های متعددی تقسیم می شود تعداد افراد هر زیر جمعیت کوچک شده که منجر به همگرایی سریعتر و قابلیت بالای جستجو در مقایسه با الگوریتم ژنتیک معمولی (GA) مخصوصاً در مسائل با تعداد متغیر زیاد می شود [۲۶-۲۷].

روشهای مختلفی برای الگوی مهاجرت ما بین جمعیت ها پیشنهاد و به کار برده شده است که در میان آنها به روش های الگوی مهاجرت دایروی، الگوی مهاجرت همسایه ای و الگوی مهاجرت نامحدود می توان اشاره کرد. در این مقاله از روش الگوی مهاجرت نامحدود که یک روش کلی بوده استفاده شده که افراد به هر زیر جمعیتی امکان مهاجرت دارند.

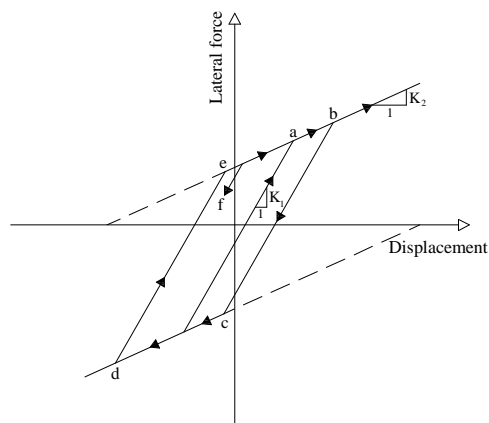
۴- مثال عددی - استفاده از AMD در سازه غیر خطی ۸ طبقه

در این مقاله هدف اصلی بررسی کارایی جرم میراگر در کاهش پاسخ لرزه ای سازه های غیر خطی نظیر سازه

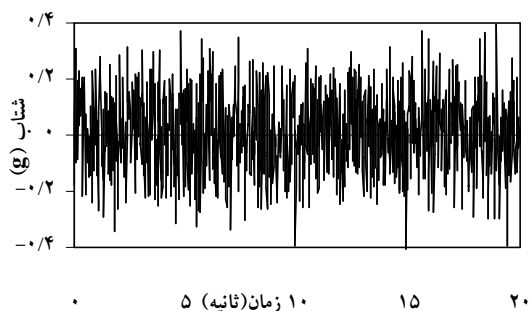


تسلیم بوده لذا این طبقات وارد ناحیه غیر خطی شده اند، همچنین حداکثر تغییر مکان نسبی جانبی - برابر $Y_{max} = 4/75 \text{ cm}$ می باشد.

TMD با مشخصات $m_d = 13/8 \text{ ton}$ ، $14/4 \text{ kN.sec/m}$ ، $k_d = 5/27 \times 10^4 \text{ kN/m}$ در نظر گرفته شده است که دارای درصد جرمی $\mu = 0.5\%$ می باشد. مقادیر فوق بعنوان نمونه برای TMD در نظر گرفته شده اند و با توجه به رفتار غیر خطی سازه، انتخاب هر مقداری برای TMD نمی تواند حالت بهینه داشته باشد، چرا که با شروع رفتار غیر خطی، TMD از حالت هماهنگ شده خارج خواهد شد.



شکل (۲): رفتار الاستو- پلاستیک سازه غیر خطی.



شکل (۳): ارتعاش اغتشاش سفید $W(t)$ با

$$PGA = 0.4g$$

۴-۱- طراحی سیستم کنترل فعال برای $Y_L = 150 \text{ cm}$

$$u_L = 250 \text{ kN}$$

در این قسمت به طراحی سیستم کنترل فعال جهت کاهش ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی طبقات پرداخته می شود. با توجه به اینکه در قابهای فلزی غیرخطی تغییر

فولادی می باشد، لذا جهت سادگی تحلیل و تمرکز روی هدف اصلی مقاله از فرض قاب برشی در تحلیل استفاده شده است. با توجه به اینکه هدف کاهش تغییر مکان جانبی نسبی طبقات سازه بوده لذا فرض قاب برشی لطمه ای به کلیات روش نخواهد زد که در مطالعات بعدی این روش قابل توسعه برای سازه های فلزی غیر خطی سه بعدی با رفتار واقعی می باشد. برای مثال عددی قاب ۸ طبقه فلزی [۱۶] با رفتار الاستو- پلاستیک نشان داده شده در شکل (۲)، برای بررسی قابلیت استفاده از AMD در بهبود رفتار سازه های غیر خطی فلزی در مقابل زلزله و همچنین ارزیابی روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است. جرم هر طبقه برابر $345/6 \text{ ton}$ ، سختی الاستیک برابر $K_1 = 3/404 \times 10^5 \text{ kN/m}$ ، سختی ثانویه بعد از تسلیم برابر $K_2 = 3/404 \times 10^4 \text{ kN/m}$ (معادل با 10% سختی اولیه) و میرایی خطی هر طبقه برابر $C = 734/3 \text{ kN.sec/m}$ معادل با 0.5% میرایی مد اولیه ارتعاشی سازه می باشد. فرکانس طبیعی اولیه سازه در حالت خطی برابر $f = 0.92 \text{ Hz}$ بوده و تسلیم در هر طبقه در تغییر مکان جانبی نسبی برابر $Y_{yielding} = 2/4 \text{ cm}$ اتفاق می افتد.

ارتعاش اغتشاش سفید $W(t)$ با حداکثر شتاب زمین g $PGA = 0.4$ مطابق شکل (۳) بعنوان ارتعاش خارجی برای طراحی سیستم کنترل در نظر گرفته شده است. این ارتعاش بعنوان نمونه جهت طراحی انتخاب شده ولی در هر منطقه می توان تعداد مشخصی از زلزله های طراحی آن منطقه، مطابق آیین نامه های طراحی را بعنوان ارتعاش خارجی جهت طراحی AMD استفاده نمود.

ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی طبقات، تغییر مکان جانبی، شتاب و هم چنین جذر میانگین مربعات (RMS) تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مختلف تحت اثر ارتعاش $W(t)$ برای سازه کنترل نشده در جداول (۱) تا (۴) داده شده است. نتایج نشان می دهد که طبقات ۱، ۲ و ۳ دارای تغییر مکان جانبی نسبی بیشتر از تغییر مکان جانبی



مکان جانبی نسبی طبقات یکی از پارامترهای مهم و تاثیر گذار در مقدار نیروهای داخلی اعضای سازه میباشد لذا کاهش این پارامتر به عنوان تابع هدف در طراحی سیستم کنترل انتخاب شده است. محدودیت های مورد نظر در طراحی AMD، حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی TMD و نیروی کنترل بوده که مقادیر $Y_L=150$ cm و $u_L=250$ kN در معادلات (14c) و (14d) به عنوان نمونه انتخاب شده اند.

برای طراحی سیستم کنترل فعال یک کنترل گر در نظر گرفته شده لذا ماتریس R بصورت اسکالر در می آید:

$$R = r = 5 \times 10^{-7} \quad (20)$$

بعنوان نمونه ماتریس Q_1, Q_2, Q_3 بصورت ماتریس قطری با درایه های مساوی بصورت زیر در نظر گرفته شده اند:

$$(21a)$$

$$Q_1 = \begin{bmatrix} q_1 [I]_{8 \times 8} & 0_{8 \times 1} \\ 0_{1 \times 8} & q_{1m} \end{bmatrix}_{9 \times 9} \quad (21b)$$

$$Q_2 = \begin{bmatrix} q_2 [I]_{8 \times 8} & 0_{8 \times 1} \\ 0_{1 \times 8} & q_{2m} \end{bmatrix}_{9 \times 9} \quad (21c)$$

$$Q_3 = \begin{bmatrix} q_3 [I]_{8 \times 8} & 0_{8 \times 1} \\ 0_{1 \times 8} & q_{3m} \end{bmatrix}_{9 \times 9} \quad (21c)$$

مسئله بهینه سازی تعریف شده در معادلات (14a) تا (14f) با فرضیات فوق بصورت زیر بازنویسی می شوند که دارای 6 متغیر می باشد:

$$\text{Find } q_1, q_2, q_3, q_{1m}, q_{2m}, q_{3m} \quad (22a)$$

$$(22b)$$

$$\alpha Y_{max} + \beta_1 \max[0, g_1] + \beta_2 \max[0, g_2] \text{ Minimize } F(T) = g_1 = \frac{Y_{max}(tmd)}{1.5m} - 1 \quad (22c)$$

$$g_2 = \frac{u_{max}}{250kN} - 1 \quad (22d)$$

$$\alpha = .7, \beta_1 = 500 \text{ و } \beta_2 = 500 \quad (22e)$$

بنابراین در صورتیکه $Y_{max}(tmd) > 150$ cm باشد در اینصورت g_1 بصورت یک جریمه با ضریب β_1 در تابع

هدف اعمال خواهد شدو به همین ترتیب در صورتیکه $u_{max} > 250$ kN باشد تابع g_2 بصورت جریمه در تابع هدف اعمال می شود. β_1 و β_2 ضرایب تابع جریمه بوده که بصورت مناسب توسط طراح انتخاب می شوند. مقادیر مختلف برای این پارامترها سرعت همگرایی را در حل مسئله بهینه سازی تغییر داده ولی تأثیری در جواب نهایی مسئله نخواهند داشت [22].

4-1-1- حل مسئله بهینه سازی برای تعیین متغیرها

برای حل معادلات (22a) تا (22e) از الگوریتم ژنتیک توزیع شده استفاده شده که پارامترهای آن بصورت زیر می باشد:

$$N_{elites} = 5, N_{ind} = 25, M_{rat} = 20, N_{sub} = 2, N_{mig} = 20$$

$$N_{new} = 25, m_r = 4\%,$$

با انتخاب 2 زیر جمعیت و 25 عضو برای هر زیر جمعیت و پارامترهای فوق مسئله بهینه سازی حل شده است. در هر مرحله با انتخاب

بردار $V = (q_1, q_2, q_3, q_{1m}, q_{2m}, q_{3m})$ به تعداد جمعیت در نظر گرفته شده در الگوریتم ژنتیک بعنوان متغیرهای مسئله بهینه سازی، پاسخ سازه و هم چنین ماکزیمم نیروی کنترل تعیین شده و بر این اساس مقدار تابع هدف طبق رابطه (22b) بدست آمده و بهترین مقادیرهای بردار V به تعداد N_{elites} به مرحله بعدی انتقال داده شده اند. تعداد نسلها در الگوریتم ژنتیک تا جایی که جواب بهینه بدست آید ادامه داده می شود. شکل (4a) مقدار تابع هدف بهینه را در نسل های مختلف الگوریتم ژنتیک توزیع شده برای 4 بار حل مسئله بهینه سازی، Run 1 تا Run 4 نشان می دهد. نتایج نشان می دهند که مقدار تابع هدف الگوریتم ژنتیک توزیع شده در هر بار حل (Run) با افزایش تعداد نسل کاهش یافته یا اینکه ثابت بوده است. این مسئله به خاطر حفظ بهترین جمعیت در هر نسل و انتقال به جمعیت بعدی می باشد، هم چنین می توان گفت هر چهار بار حل (Run) به جواب بهینه یکسانی رسیده ولی دارای سرعت همگرایی مختلف می باشند.

شکل (۴) - (a) همگرایی حل های مختلف مسئله بهینه سازی

در رسیدن به جواب بهینه با استفاده از DGA; (b)

مقدار تابع هدف در آخرین نسل.

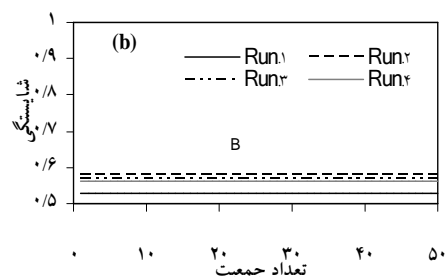
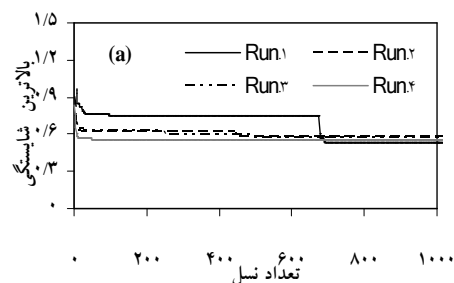
شکل (۵) تغییر مکان جانبی نسبی سازه کنترل نشده و کنترل شده را برای طبقات ۱، ۲ و ۳ نشان می دهد. هم چنین منحنی هیسترسیس طبقات فوق در شکل (۶) آورده شده است. مقادیر ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی، تغییر مکان جانبی، شتاب و RMS تغییر مکان جانبی نسبی طبقات سازه کنترل شده با AMD در جداول (۱) تا (۴) آورده شده است. با استفاده از نتایج بدست آمده می توان گفت که تغییر مکان جانبی نسبی طبقه ۱ به ترتیب ۴۵٪، ۳۱٪ کاهش داشته اند و در طبقه ۳ با استفاده از سیستم AMD رفتار غیر خطی حذف گردیده است. هم چنین با دقت در منحنی های هیسترسیس طبقات ۱، ۲ و ۳ که در حالت کنترل نشده دارای رفتار غیر خطی بودند، می توان گفت که با کاربرد AMD حلقه های هیسترسیس بطور قابل توجهی کاهش پیدا کرده که این مساله به کاهش خرابی در سازه منجر می شود.

شکل (۴b) مقدار تابع هدف را در آخرین نسل برای هر چهار Run نشان می دهد. نتایج نشان می دهند که به ترتیب ۵۰، ۵۰، ۵۰ و ۵۰ جمعیت در آخرین نسل Run ۱ تا Run ۴ دارای مقدار یکسانی می باشند که این مساله نشان دهنده دقت و همگرایی الگوریتم در تعیین مقدار جواب بهینه می باشد. در حالت بهینه پاسخ های سازه و حداکثر نیروی کنترل بصورت زیر می باشد:

$$Y_{max} = 2/63 \text{ cm}, \quad u_{max} = 250 \text{ kN}$$

$$Y_{max}(tmd) = 140 \text{ cm}$$

همانطوریکه نتایج نشان می دهد محدودیت های مورد نظر در حل مساله بهینه سازی اعمال گردیده اند.



جدول ۲- ماکزیمم تغییر مکان جانبی سازه کنترل نشده و کنترل شده در حالت‌های مختلف بر حسب cm.

طبقه	کنترل نشده	کنترل شده		
		TMD	AMD	ATC
۱	۴/۷۵	۴/۳۵	۲/۶۴	۳/۳۲
۲	۸/۲۳	۶/۹۸	۵/۰۴	۵/۷۳
۳	۱۰/۵۶	۹/۱۹	۷/۲۵	۷/۸۱
۴	۱۲/۵۹	۱۱/۴۶	۹/۱۵	۹/۵۱
۵	۱۴/۳۱	۱۳/۵۳	۱۰/۷۵	۱۰/۹۳
۶	۱۵/۷۱	۱۵/۱۶	۱۱/۹۷	۱۲/۰۶
۷	۱۶/۷۵	۱۶/۳۱	۱۲/۸۱	۱۲/۸۵
۸	۱۷/۲۵	۱۶/۹۳	۱۳/۲۸	۱۳/۳۲
TMD/AMD	—	۶۰/۳۱	۱۴۳	—

جدول ۳- ماکزیمم شتاب کل سازه کنترل نشده و

کنترل شده در حالت‌های مختلف بر حسب cm/s^2 .

طبقه	کنترل نشده	کنترل شده		
		TMD	AMD	ATC
۱	۵۷۳/۱	۵۷۷/۸	۵۳۸/۸	۶۵۱/۹
۲	۷۲۴/۲	۷۷۷	۶۶۲/۱	۶۷۷/۴
۳	۸۱۵/۷	۸۶۹/۲	۷۲۲/۵	۷۵۰/۵
۴	۸۵۱/۹	۸۷۱/۸	۷۷۸/۳	۸۱۴/۶
۵	۸۵۹/۸	۷۷۷/۱	۸۰۵/۱	۸۴۷
۶	۹۰۸/۶	۸۴۴/۲	۸۵۷/۶	۹۰۳/۳
۷	۹۱۱/۶	۸۳۱/۷	۸۲۸/۷	۸۷۵/۱
۸	۹۵۱/۲	۹۹۴/۳	۸۴۸/۸	۸۸۹/۸
TMD/AMD	—	—	—	—

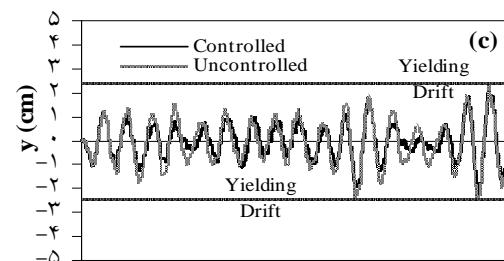
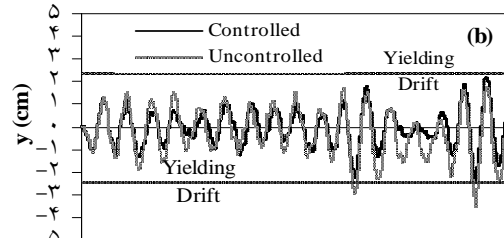
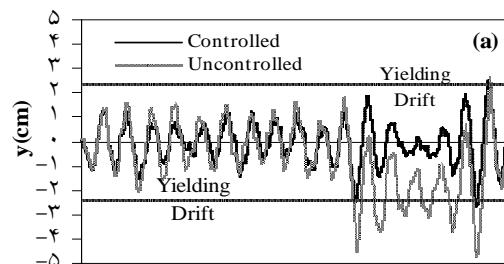
جدول ۴- RMS تغییر مکان جانبی نسبی سازه کنترل

نشده و کنترل شده در حالت‌های مختلف بر حسب cm.

طبقه	کنترل نشده	کنترل شده		
		TMD	AMD	ATC
۱	۱/۵۵	۱/۵۲	۰/۸۶	۱/۰۱
۲	۱/۱	۱/۱۸	۰/۸۲	۰/۸۶
۳	۰/۹۶	۱/۰۷	۰/۷۶	۰/۷۹
۴	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۶۸	۰/۷۱
۵	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۵۸	۰/۶
۶	۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۴۷	۰/۴۷
۷	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۳۴	۰/۳۴
۸	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۱۸
TMD/AMD	—	۲۰/۹۱	۴۵/۹۸	—

بررسی نتایج ارائه شده در جداول (۱) تا (۴) نشان می‌دهد

که با استفاده از AMD، ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی،

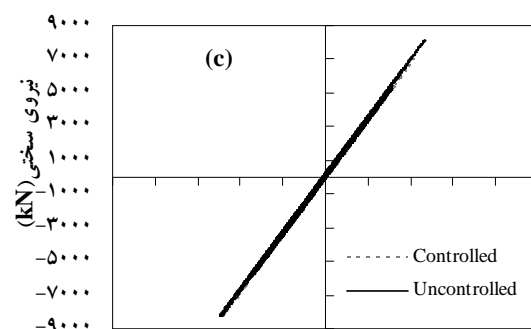
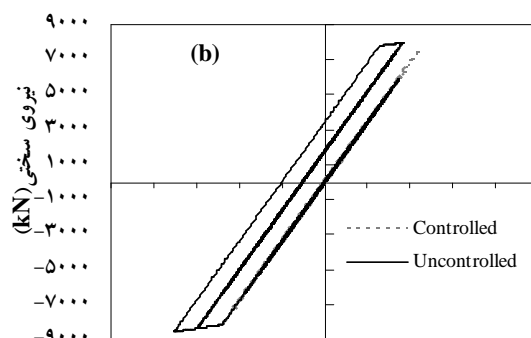
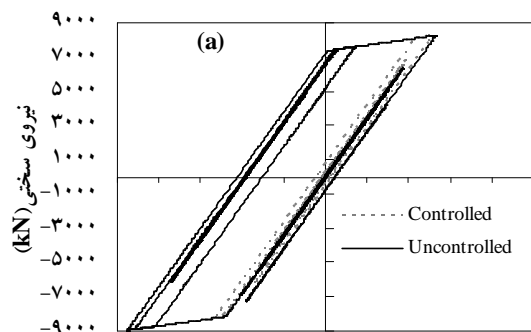


شکل (۵): تاریخچه زمانی تغییر مکان جانبی نسبی سازه کنترل شده و کنترل نشده برای (a) طبقه اول؛ (b) طبقه دوم؛ (c) طبقه سوم

جدول ۱- ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی سازه کنترل نشده و کنترل شده در حالت‌های مختلف بر حسب cm.

طبقه	کنترل نشده	کنترل شده		
		TMD	AMD	ATC
۱	۴/۷۵	۴/۳۵	۲/۶۴	۳/۳۲
۲	۳/۵۲	۳/۲۲	۲/۴۲	۲/۵۶
۳	۲/۴۷	۲/۹۶	۲/۲۳	۲/۳۱
۴	۲/۲۱	۲/۳۷	۲/۱	۱/۹۵
۵	۱/۷۸	۲/۰۸	۱/۷۸	۱/۶۱
۶	۱/۴۶	۱/۷	۱/۳۳	۱/۲۶
۷	۱/۱۲	۱/۲۲	۰/۹۶	۰/۹۵
۸	۰/۶۵	۰/۷	۰/۶۲	۰/۵۳
TMD/AMD	—	۵۱/۷۳	۱۴۰/۲۳	—

حالت هم بصورت یک اسکالر مشابه معادله (۲۰) در نظر گرفته شده است.



تغییر مکان جانبی نسبی (cm) -۵ -۴ -۳ -۲ -۱ ۰ ۱ ۲ ۳ ۴ ۵

شکل (۶): منحنی هیستریسیس سازه کنترل شده با AMD و کنترل نشده برای (a) طبقه اول؛ (b) طبقه دوم؛ (c) طبقه سوم همچنین ماتریس های Q_1, Q_2, Q_3 مشابه مکانیزم AMD بصورت ماتریس قطری با درایه های مساوی بر اساس معادلات (a) تا (c) در نظر گرفته شده است. مشابه روش توضیح داده شده برای مکانیزم AMD به طراحی بهینه مکانیزم ATC پرداخته شده که در حالت بهینه، مقادیر زیر بدست آمده است:

تغییر مکان جانبی، شتاب و RMS تغییر مکان جانبی نسبی به ترتیب ۴۵٪، ۲۳٪، ۱۱٪ و ۴۴٪ کاهش داشته اند.

نتایج فوق نشان می دهند که استفاده از روش پیشنهادی برای طراحی مکانیزم AMD در سازه غیرخطی فلزی مورد بررسی عملکرد مناسبی داشته بطوریکه با افزایش ظرفیت محرک (u_L) می توان پاسخ سازه غیر خطی را تا هر میزان دلخواهی با روش فوق کاهش دهد.

۴-۲- مقایسه عملکرد AMD با TMD

در مثال مورد نظر، به لحاظ مقایسه عملکرد مکانیزم های غیرفعال TMD و فعال AMD در کاهش پاسخ سازه غیر خطی فلزی، قاب ۸ طبقه مجهز شده به TMD با همان مشخصات استفاده شده در قسمت قبل، تحت ارتعاش $W(t)$ قرار گرفته است.

جداول (۱) تا (۴) مقادیر ماکزیمم پاسخهای سازه کنترل شده با TMD را نشان می دهد. نتایج بدست آمده نشان میدهد که ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی، تغییر مکان جانبی و RMS تغییر مکان جانبی نسبی به ترتیب ۸٪، ۱٪ و ۲٪ کاهش داشته اند، در حالیکه شتاب ماکزیمم طبقات افزایش پیدا کرده است. با مقایسه نتایج بدست آمده از کاربرد TMD با AMD می توان گفت که مکانیزم AMD فعال در سازه غیرخطی عملکرد مناسبتری در مقایسه با مکانیزم غیرفعال TMD نشان می دهد.

۴-۳- مقایسه عملکرد مکانیزم AMD با مکانیزم تاندون

فعال (ATC)

به لحاظ مقایسه بین عملکرد سیستم کنترل فعال با AMD و مکانیزم تاندون فعال (ATC) در این قسمت به طراحی مکانیزم ATC پرداخته شده است. سیستم کنترل فعال ATC طوری طراحی گردیده است که ماکزیمم نیروی کنترل برابر با ماکزیمم نیروی کنترل مکانیزم AMD، باشد یعنی $u_{max} = 250$ kN. در این حالت به لحاظ امکان مقایسه مناسب بین ATC و AMD نیروی کنترل فقط در طبقه هشتم وارد شده لذا ماتریس R در این



$$Y_{\max} = 3/32 \text{ cm}, \quad u_{\max} = 250 \text{ kN}$$

۵- نتیجه گیری:

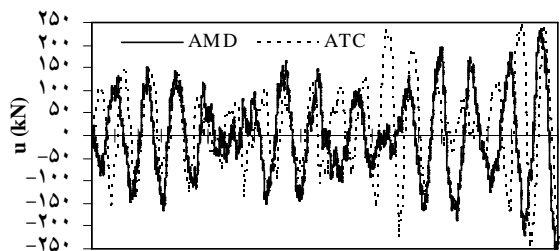
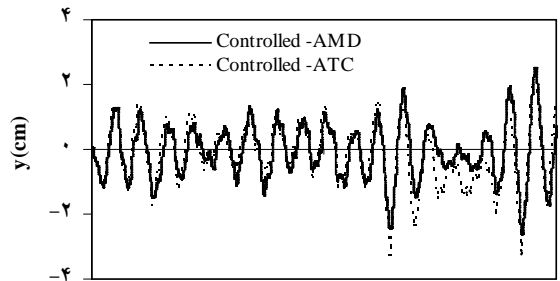
در این پژوهش با هدف بررسی کارایی استفاده از سیستم های کنترل سازه ها در کاهش پاسخ سازه های با رفتار غیرخطی نظیر سازه های فلزی غیرخطی تحت اثر ارتعاش زلزله، کاربرد مکانیزم جرم میراگر فعال بر روی سازه های غیرخطی فلزی با رفتار دو خطی و هیستریسیس مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور قاب ۸ طبقه فلزی تحت اثر ارتعاش اغتشاش سفید قرار گرفته و با انتخاب مقادیر مشخصی برای پارامترهای جرم میراگر (جرم، سختی و میرایی) به طراحی سیستم کنترل فعال پرداخته شده است. در الگوریتم ارائه شده برای کنترل فعال سازه های با رفتار غیر خطی، با استفاده از روش عددی نیومارک الگوریتم کنترل بهینه آنی برای سازه های با رفتار غیر خطی توسعه داده شده که تابع عملکرد آن شامل پسخور کامل پاسخ سازه (تغییر مکان، سرعت و شتاب) می باشد. برای تعیین مقادیر بهینه ماتریس های وزنی تابع عملکرد، جهت کاهش ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی سازه غیرخطی، یک مسئله بهینه سازی تعریف شده که برای حل آن از الگوریتم ژنتیک توزیع شده استفاده گردیده است. بر اساس مطالعات انجام گرفته می توان به نتایج زیر اشاره کرد:

۱- روش پیشنهادی برای طراحی سیستم کنترل فعال با مکانیزم جرم میراگر فعال روشی مناسب و کارا به لحاظ طراحی بهینه کنترل گر جهت کاهش پاسخ های سازه غیرخطی فلزی به ازای ظرفیت مشخصی از محرک می باشد.

۲- محدودیت هایی نظیر حداکثر نیروی کنترل قابل اعمال توسط محرکها و حداکثر تغییر مکان جانبی جرم میراگر فعال را می توان به راحتی در مسئله بهینه سازی اعمال نموده و به طراحی سیستم کنترل فعال پرداخت.

در جداول (۱) تا (۴) ماکزیمم پاسخ های سازه کنترل شده با ATC آورده شده است. شکل (۷a) ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی طبقه اول سازه کنترل شده را در دو حالت برای ATC و AMD نشان می دهد، درحالیکه در شکل (۷b) نیروی کنترل مورد نیاز سیستم های ATC و AMD آورده شده است. همانطوریکه انتظار می رفت ماکزیمم نیروی کنترل دو مکانیزم یکسان می باشد.

نتایج بدست آمده نشان می دهد که کاهش ماکزیمم تغییر مکان جانبی نسبی، تغییر مکان جانبی، شتاب و RMS تغییر مکان جانبی نسبی در حالتیکه از مکانیزم ATC استفاده شود به ترتیب برابر ۳۰٪، ۲۲٪، ۶٪ و ۳۵٪ می باشد، درحالیکه درصدهای کاهش برای AMD ۴۵٪، ۲۳٪، ۱۱٪، ۴۴٪ بوده است. لذا می توان گفت که مکانیزم AMD عملکرد مناسبتری نسبت به مکانیزم ATC به لحاظ کاهش پاسخهای سازه نشان میدهد، در حالیکه ماکزیمم نیروی کنترل برای هر دو مکانیزم یکسان بوده است.



شکل (۷): (a) تاریخچه زمانی تغییر مکان جانبی نسبی طبقه اول سازه کنترل شده با ATC و AMD; (b) نیروی کنترل مورد نیاز برای مکانیزم ATC و AMD.

[11].Spencer, B.F., and Nagarajaiah, S. "State of the art of structural control." ASCE, J. Struct. Eng., 129(7), 845-856 (2003).

[12].Reinhorn, A. M., Manolis, G. D., and Wen, C. Y.. "Active control of inelastic structures" ASCE, J. Eng. Mech., 113(3), 315-333 (1987).

[13].Masri, S.F., Bekey, G.A., and Caughey, T.K. "Optimal pulse control of flexible structures" ASME, J. App. Mech., 48(4), 619-626 (1981a).

[14].Masri, S.F., Bekey, G.A., and Caughey, T.K. "On-line control of nonlinear flexible structures" J. App. Mech., ASME, 49(4), 871-884 (1981b).

[15].Yang, J. N., Akbarpour, A., and Ghaemmaghami, P. "New optimal control algorithm for structural control" ASCE, J. Engng. Mech., 113(9), 1369-1386 (1987).

[16].Yang, J. N., Long, F. X., and Wong, D. "Optimal control of nonlinear flexible structures" Technical Report NCEER, 88-0002 (1988).

[17].Wong, K.K.F., and Yang, R. "Predictive instantaneous optimal control of inelastic structures during earthquakes" Earthquake Engng. and Struct. Dynamics, 32, 2179-2195 (2003).

[18].Wong, K.K.F. "Predictive optimal linear control of inelastic structures during earthquakes Part. II" ASCE, J. Eng. Mech., 131(2), 1369-1386 (2005).

[19].Bani-Hani, K. A.. "Vibration control of wind-induced response of tall buildings with an active tuned mass damper using neural networks" J. Struct. Control and Health Monitoring, 14(1), 83 – 108 (2007).

[20].Bani-Hani, K. A., and Ghaboussi, J. "Nonlinear structural control using neural networks." ASCE, J. Eng. Mech., 124(3), 319-328 (1998).

[21].Chang, C. C., and Yang, H. T. Y.. "Instantaneous optimal control of building frames." ASCE, J. Struct. Eng., 120(4), 1307-1326 (1994).

[22].Joghataie, A., and Mohebbi, M. "Vibration controller design for confined masonry walls by distributed genetic algorithms" ASCE, J. Struct. Eng., 134(2), 300-309 (2008).

[23].Yang, J. N., Li, Z., and Liu, S. C. "Stable controllers for instantaneous optimal control" ASCE, J. Eng. Mech., 118(8), 1612-1630 (1992).

[24].Bahar, O., Banan, M. R., Mahzoon, M., and Kitagawa, Y.. "Instantaneous optimal Wilson- θ control method" ASCE, J. Eng. Mech., 129(11), 1268-1276 (2003).

[25].Goldberg, D.E.. Genetic algorithms in search, optimization and machine Learning. Addison -Wesley Publishing Co., Inc. Reading, Mass, (1989).

[26].Mühlenbein, H., Schomisch, M., and Born, J. "The parallel genetic algorithms as a function optimizer" Parallel Computing, No.17, 619-632 (1991).

[27].Starkweather, T., Whitley, D., and Mathias, K. "Optimization using distributed genetic algorithms" Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science, 496, 176-185 (1990).

[28]. Holland, J.H. Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor: The University of Michigan Press, (1975).

[29].Rajeev, S., and Krishnamoorthy, C.S. " Genetic algorithms-based methodologies for design optimization of trusses" ASCE, J. Struct. Eng., 123(3), 350-358 (1997).

[30].Ballig, R.J., Briggs, R.R., and Gillman, K. "Multiple optimum size/shape/topology designs for

- استفاده از الگوریتم ژنتیک توزیع شده برای تعیین ماتریس های وزنی تابع عملکرد الگوریتم کنترل فعال دارای کارایی مناسبی به لحاظ دقت و سرعت در رسیدن به جواب نهائی که همان مقادیر ماتریس های وزنی بوده، می باشد.

۴- با استفاده از روش پیشنهادی برای طراحی مکانیزم جرم فعال می توان پاسخ سازه غیر خطی فلزی را تا هر میزان مورد نظر کاهش داد که برای یک حد مشخصی از کاهش پاسخها می توان ظرفیت محرک مورد نیاز را نیز به راحتی تعیین کرد.

۵- مقایسه میزان کاهش پاسخ سازه های کنترل شده با جرم میراگر غیرفعال و جرم میراگر فعال کارایی مناسبتر مکانیزم جرم میراگر فعال را نشان می دهد. همچنین مکانیزم جرم میراگر فعال در مقایسه با مکانیزم تاندون فعال دارای عملکرد بهتری برای کاهش پاسخ های سازه به ازای ظرفیت مشخصی از محرک می باشد.

۶- مراجع

[1].Yao, J.T.P. "Concept of structural control." J. Struct. Division, 98, ST 7, 1567-1574 (1972).

[2].Zuk, W.M. "Kinetic structures" ASCE, J. Civil. Eng., 38(7), 62-64. (1968).

[3].Soong, T.T., and Manolis, G.D. "Active structures" ASCE, J. Struct. Eng., 113(11), 2290-2303 (1987).

[4].Den Hartog J.P. Mechanical Vibrations, 4th edn, McGraw-Hill, New York, (1956).

[5].Warburton G.B. "Optimal Absorber Parameters for Various Combination of Response and Excitation Parameters" Earthquake Engng. and Struct. Dynamics, 8, 197-217 (1982).

[6].Sadek F., and Mohraz B. "A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic application" Earthquake Engng. and Struct. Dynamics, 26, 617-635 (1997).

[7].Kaynia N.M., Veneziano D., and Biggs J.M "Seismic Effectiveness of Tuned Mass Dampers" ASCE, J. Struct. Division, 107(8), 1465-84 (1981).

[8].Sladek, J.R., and Klinger, R.E. "Effect of tuned-mass dampers on seismic response" ASCE, J. Struct. Eng., 109(9), 2004-2009 (1983).

[9].Soto-Brito R., and Ruiz S.E. "Influence of ground motion intensity on the effectiveness of tuned mass dampers" Earthquake Engng. and Struct. Dynamics, 28, 1255-1271 (1999).

[10].Lukkunaprasit, P., and Wanitkorkul, A. "Inelastic buildings with tuned mass dampers under moderate ground motions from distant earthquakes" Earthquake Engng. and Struct. Dynamics, 30, 537-51 (2001).



response control of wind-excited tall buildings" ASCE, J. Eng. Mech., 130(4), 524-530(2004).

[32].Wongprasert, N., and Symans, M.D."Application a genetic algorithm for optimal damper distribution within [36].Baker, J. E. "Reducing bias and inefficiency in the selection algorithm" Proc. ICGA, 2, 14-21(1987).

[37]. Mühlenbein, H., and Schlierkamp-Voosen, D."Predictive models for the breeder genetic algorithm :I. Continuous parameter optimization" Evolutionary Computation, 1(1), 25-49(1993).

[38].Jenkins, W. M. "A decimal-coded evolutionary algorithm for constrained optimization" J. Comp. and Struct., 80, 471-480(2002).

[39].Arfiadi, Y., and Hadi, M.N.S."Optimal direct (static) output feedback controller using real coded genetic algorithms." J.Comp. and Struct. ,79,1625-1634(2001).

skeletal structures using a genetic algorithm " ASCE, J. Struct. Eng., 132(7), 1158 - 1165(2006).

[31].Ahlawat, A. S., and Ramaswamy, A. " Multi objective optimal fuzzy logic control systems for the nonlinear seismic Benchmark building" ASCE, J. Eng. Mech., 130(4), 401-406 (2004).

[33].Hadi, N. S., and Arfiadi, Y. "Optimum design of absorber for MDOF structures" ASCE, J. Struct. Eng., 124(11),1272-1280(1998).

[34].Joghataie, A., and Mohebibi , M." Design and assessment of optimal TMDs for non- linear structures under earthquakes " Proc. of 10 th world conf. on Seismic Isolation & Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures , Istanbul ,Turkey, 28-31 May(2007).

[35].Makola, M., and Richardson A. "Placement of sensor/actuators on civil structures using genetic algorithms" Earthquake Engrg. and Struct. Dynamics, 30, 1167-1184 (2001).