پنجمین کنفرانس سیستمهای فازی ایران
هفدهم الی نوزدهم شهریورماه ۱۳۸۳

کنترل ارتعاشات دینامیکی سازه ساختمان با استفاده از منطق فازی

سیامک فیضی خانکندی[۱], محمد حیدرزاده[۲]
دانشکده فنی دانشگاه تهران ـ گروه مهندسی عمران
sfeizi@ut.ac.ir

چکیده

در این مقاله, طراحی بر اساس مد لغزشی فازی بر اساس الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. با به کار گیری این شیوه, یک کنترل گر مقاوم برای سازه ساختمان تحت اثر نوسانات زلزله طراحی شده است. هنگامی که روش کنترل فازی برای این سیستم به کار می رود, به کارگیری قوانین کنترل, به صورت مستقیم سخت جلوه می کند. به طور کلی کنترل فازی ترکیب شده با روش مد لغزشی پیشنهاد می شود, اما هنوز ضابطه ای در مورد رسیدن به یک طراحی حالت بهینه در FSMC (Fuzzy Sliding Mode Control) داده نشده است. در این مقاله, یک کنترل گر فازی و لغزشی برای کنترل سزستم سازه ساختمان و همزمان بهینه کردن آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه شده است.

کلید واژه ها: کنترل فازی- کنترل مد لغزشی- الگوریتم ژنتیک- سازه های ساختمانی

مقدمه

کنترل فعال سازه ها به عنوان یک تکنولوژی قوی برای بالا بردن بهره وری سازه ها و ایمنی آنها در مهندسی عمران در مقابل بارهایی نظیر زلزله و باد مطرح شده است[1]. در دهه های گذشته, الگوریتم های کنترلی متغیر و نیز وسایل متعددی توسعه و بهبود یافته و گروه های مختلفی در این زمینه کار کرده اند. تعدادی از این الگوریتم های کنترلی که در سازه های مهندسی عمران به کار رفته اند, در این مقاله آورده شده است[2-4]. برای بهبود عملکرد روش مد لغزشی (SMC) بر اساس کنترل گر فازی, یک الگوریتم بهینه گر مورد استفاده قرار گرفته است که همان الگوریتم ژنتیک (GA) می باشد. الگوریتم ژنتیک به عنوان یک ابزار قوی برای تعریف قانون کنترل فازی بر اساس توابع عضویت توسعه یافته است. در این پژوهش, روش FSMC بر اساس الگوریتم ژنتیک برای کنترل سازه تحت بارگذاری دینامیکی ارائه شده است. استراتژی و هدف این کنترل گر, کاهش میزان پاسخ سازه در برابر زلزله با وارد کردن یک نیروی فعال است. در این مقاله, این روش بر روی یک ساختمان ۳ طبقه که در معرض زلزله ال سنترو قرار گرفته است, مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که کنترل گر ارائه شده, به مقدار زیادی از اثرات تحریکی زلزله روی سازه کاسته است.

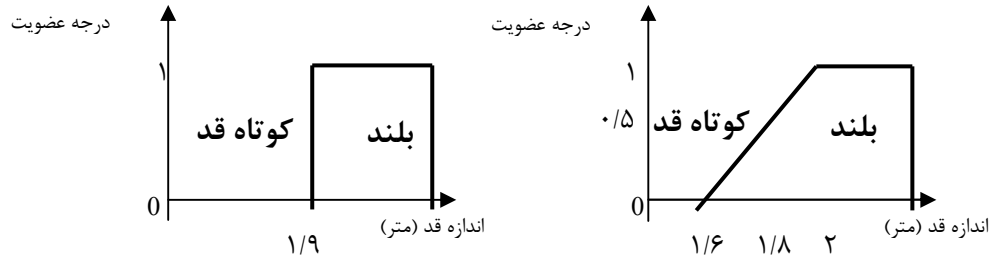
۱- دانشجوی دکترای مهندسی عمران- دانشکده فنی دانشگاه تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- دانشکده فنی دانشگاه تهران

منطق فازی

منطق فازی که در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور لطفی زاده[5], استاد ایرانی الاصل دانشگاه کالیفرنیا در برکلی, ابداع شد, به عنوان شاخه ای از ریاضیات به شمار می رود که به کامپیوتر این امکان را می دهد تا دنیای واقعی را به همان صورتی که انسان ها می اندیشند و فکر می کنند, مدل کند. انسان ها بر خلاف کامپیو ترها همیشه دقیق نیستند.

آنها معمولا به جای اینکه دقیقا بگویند دما ۱۰۰ درجه است و یا سرعت ۷۰ مایل بر ساعت, از اصطلاحاتی مانند گرم و یا سریع استفاده می کنند. به علاوه انسان ها قادرند در بسیاری از موارد به جای تصمیم های قطعی بله/ خیر و یا سیاه/ سفید, از تصمیمات غیر قطعی و یا بینابین استفاده کنند. منطق فازی به کامپیوتر این امکان را می دهد تا بتواند تصمیم گیریها و طبقه بندی هایی مانند آنچه را که انسانها انجام می دهند, انجام دهد.

منطق فازی از طریق مجموعه های فازی کار می کند که این مجموعه ها تفاوت هایی با مجموعه های سنتی دارند. مجموعه های سنتی نیازمندی های عضویتی صلبی را بر اشیا داخل مجموعه تحمیل می کنند. در مجموعه های سنتی یک عضو یا کاملا در داخل مجموعه است (درجه عضویت ۱ یا عضویت کامل) و یا ابدا در داخل مجموعه نیست(درجه عضویت صفر یا عدم عضویت کامل). به عنوان مثال اگر مجموعه انسان های بلند قد به صورت انسان هایی که اندازه قد آنها مساوی و یا بیشتر از ۱ متر و ۹۰ سانتی متر بیشتر است, تعریف شود, در این صورت با این تعریف شخصی که اندازه قد او یک متر و ۹۰ سانتی متر است بلند قد محسوب می شود و درجه عضویت او در این مجموعه یک می باشد ولی شخصی که اندازه قد او ۱ متر و ۸۵ سانتی متر است بلند قد محسوب نشده و درجه عضویت او در مجموعه انسان های بلند قد صفر است. ولی این امر دور از واقعیت است و اکثر مردم شخصی که اندازه قد او ۱ متر و ۸۵ سانتی متر باشد را به عنوان یک شخص بلند قد می شناسند. در مجموعه های سنتی همانطور که در مثال مجموعه انسان های بلند قد مشاهده شد, هیچ حالت بینابین و متوسطی وجود ندارد. ملاحظه می شود که این مجموعه ها قادر نیستند دنیای واقعی را به درستی مدل کنند. اما در مجموعه های فازی بر خلاف مجموعه های سنتی که در آنها درجه عضویت یک شی تنها دو مقدار صفر و یک را می توانست داشته باشد, درجه عضویت یک شی در مجموعه های فازی , هر عددی بین صفر و یک می تواند باشد. در مجموعه های فازی یک انتقال تدریجی از عضویت کامل تا عدم عضویت کامل به چشم می خورد. به عنوان مثال شخصی با اندازه قد ۱ متر و ۸۰ سانتی متر عضو مجموعه انسان های بلند قد به شمار می رود منتها با درجه عضویت کمتر از یک که برابر ۰/۵ می باشد (شکل الف).



شکل الف- مقایسه مجموعه های فازی با مجموعه های سنتی

اولین کاربرد های صنعتی منطق فازی در زمینه کنترل کننده های فازی بود که توسط دو مهندس عمران دانمارکی حوالی سال ۱۹۸۰ انجام شد. آنها برای کوره های سیمان در کمپانی F.L Scmidt یک سیستم کنترل کننده فازی طراحی کرده بودند که نتایج کار آنها در سال ۱۹۸۲ به چاپ رسید. این نتایج در غرب چندان مورد توجه قرار نگرفتند ولی در ژاپن به شدت مورد استقبال واقع شدند. ژاپنی ها ایده را گرفتند و از آن برای طراحی یک سیستم کنترل کننده فازی در قطارهای متروی شهر سندای[1] استفاده کردند. نتیجه کار آنها فوق العاده موفقیت آمیز بود و در مقایسه با سایر کنترل کننده ها ی

1-Sendai

کلاسیک عملکرد بسیار بهتری داشت. این موفقیت باعث تشویق بیشتر ژاپنی ها به استفاده از کنترل کننده های فازی در اواخر دهه ۸۰ شد و باعث استفاده از آن در سایر زمینه ها مانند سیستم های کنترل آسانسور و سیستم های تهویه هوا استفاده گردید. در اوایل دهه ۹۰، ژاپنی ها از کنترل فازی در محصولات مصرفی مانند ماشین های لباس شویی، جارو برقی ها و اتومبیل ها استفاده کردند. موفقیت ژاپنی ها در استفاده از منطق فازی باعث علاقه بیشتر اروپایی ها و آمریکایی ها به تکنیک کنترل کننده های فازی شد.

امروزه از منطق فازی در زمینه های مختلف مهندسی عمران استفاده می شود که مهم ترین آنها عبارتند از پیش بینی خطر زلزله، کنترل ارتعاشات سازه ها، ارزیابی ایمنی سازه ها و کنترل متروها. در این مقاله به استفاده از منطق فازی در کنترل ارتعاشات سازه ها پرداخته می شود.

معادلات حرکت سیستم سازه ساختمان

در حالت کلی و برای یک ساختمان n طبقه، مطابق شکل ۱، دارای n درجه آزادی خواهیم بود که تحت بارهای محیطی w(f) و بارهای کنترلی u(f) قرار گرفته است. معادله حرکت این سیستم به صورت رابطه (۱) می باشد.

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = B_1u(t) + E_1w(t) \quad (۱)$$

که در آن $x(f)= [x_1,x_2,\ldots x_n]^T$ به عنوان یک بردار با مرتبه n که هر کدام از x_i ها میزان تغییر مکان افقی i اُمین طبقه را نشان می دهد. K, C, M به عنوان جرم، میرایی و سختی سازه تعریف می شوند. E_1, B_1 به عنوان ضرایبی برای بارهای وارده می باشند. معادله (۱) می تواند به صورت یک معادله حرکت به فرم زیر تبدیل شود.

$$\dot{z}(t) = Az(t) + Bu(t) + Ew(t) \quad (۲)$$

که در آن

$Z(f)=[z_1,z_2,\ldots,z_{2n}]^T$ به عنوان بردار حالت مرتبه 2n

A به عنوان ماتریس سیستم 2n×2n

B نیز ماتریس کنترل و

E به عنوان ماتریس آشفتگی 2n×p تعریف می شوند.

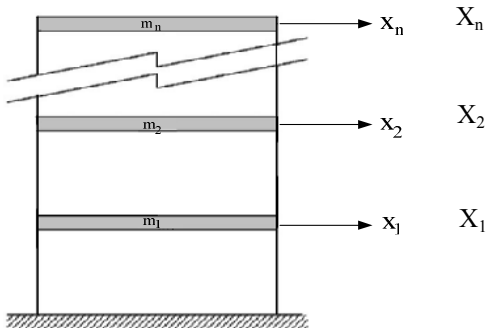
می توان نوشت

$$z(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ \dot{x}(t) \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix} \quad (۴)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}B_1 \end{bmatrix} \quad (۵)$$

$$E = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}E_1 \end{bmatrix} \quad (۶)$$



شکل۱- مدل ساختمان n طبقه

طراحی کنترل مد لغزشی

یک کنترل گر مد لغزشی به صورت یک کمترل گر متغیر سازه ای (VSC) است. بنابراین VSC شامل توابع مختلف پیوسته است که به سطح کنترل ورودی سطح حالت وارد می شود. کنترل گر مد لغزشی برای سیستم مورد نظر به صورت زیر نوشته می شود.

$$\dot{z}(t) = A(z(t) - z_d) + Bu(t) + f(z,u,t) \qquad (۷)$$

که z_d به عنوان خط سیر منبع و u(f) به عنوان ورودی سیستم است. با انتخاب m تابع Switching :

$$s_i(z) = c_i z = c_{i1} z_1 + c_{i2} z_2 + \ldots + c_{i2n} z_{2n} \qquad (۸)$$

که در آن $C_i=[c_{i1}, c_{i2},\ldots,c_{i2n}]$ که c_i بردار لغزش است. اگر معادله (۸) را دوباره بنویسیم:

$$s(z) = cz \qquad (۹)$$

که $C=[c_1, c_2,\ldots,c_m]^T$

در عبارت زیر، یک انتخاب ممکن و محتمل برای سازه با کنترل گر مد لغزشی نوشته شده است[6].

$$u = u_h + u_{eq} \qquad (۱۰)$$

$$u_{eq} = -(cB)^{-1} cAz$$
$$u_h = -(cB)^{-1}(\gamma + \sigma)\frac{s}{\|s\|} \qquad (۱۱)$$

طراحی کنترل مد لغزشی فازی

قانون کنترل فازی به عنوان روح روش طراحی فازی مطرح است. با این همه هنگامی که متغیرهای فازی بیش از دو باشد، پایدارسازی کامل دچار مشکل می شود. مطابق با قانون کنترل [7] با یک تابع Switching

$$R^j: \text{If s } is\ Aj, \text{ then u is uj.}$$

که $j=-q,-q+1,\ldots,q$ و S از رابطه ۹ بدست می آید. تعریف توابه به صورت زیر است:

$$\mu_{A^j}(s)=\begin{cases}\dfrac{s-\sigma_{j-1}}{\sigma_j-\sigma_{j-1}}, \sigma_{j-1}<s<\sigma_j \\ \dfrac{\sigma_{j+1}-s}{\sigma_{j+1}-\sigma_j}, \sigma_j<s<\sigma_{j+1}\end{cases} \qquad (۱۳)$$

که σ_j مرکز تلبع J ام عضویت است.

مثال شبیه سازی شده

برای تشخیص و تعیین روش FSMC بر اساس الگوریتم ژنتیک در سازه ساختمان نتایج شبیه سازی برای یک مدل ساختمان سه طبقه آورده شده است. در این مطالعه، از سیستم مهار بندی فعال با به کارگیری دو دمپر دینامیکی به صورت قطری میان زمین و اولین طبقه استفاده می کنیم[8] . ظرفیت این دستگاه ۲,۵ تن است. هدف در این مساله $Z_d = 0$ است. روابط حرکت در فضای حالت با معادله ۲ داده شده و پارانترهای مورد نیاز به قرار زیر است:

$$M=\begin{bmatrix}11136.62 & 0 & 0\\ 0 & 1144.16 & 0\\ 0 & 0 & 1144.16\end{bmatrix} kgw/(m/s^2)$$

$$K=\begin{bmatrix}374882 & -464839 & 119690\\ -464909 & 893225 & -556307\\ 116911 & -556345 & 937363\end{bmatrix} kgw/m$$

$$C=\begin{bmatrix}216.74 & -11.54 & 9.51\\ -11.54 & 241.18 & -21.36\\ 9.51 & -21.36 & 237.26\end{bmatrix} kgw/(m/s)$$

$$B_1=\begin{bmatrix}0 & 0 & 1.6641\end{bmatrix}^T$$

$$C_1=\begin{bmatrix}-113.62 & -1144.16 & -1144.161\end{bmatrix}^T$$

طراحی با مد کنترل لغزشی

با به کارگیری تابع Switching نظیر: $s=cz=c_1z_1+\ldots+c_6z_6$ که $c=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1\end{bmatrix}$. آنگاه داریم

$$u_{eq}=[23955 \quad -84554 \quad 302880 \quad -5595 \quad -562.58 \quad -551.94]$$

$$u_h=2500sign(s)$$

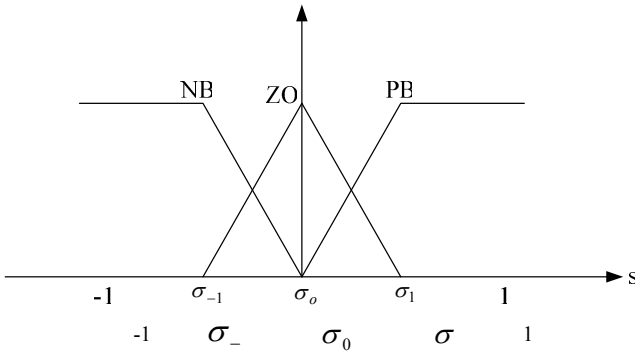
طراحی با مد کنترل لغزشی فازی

تابع Switching مثل حالت SMC تعریف می شود. به به کارگیری ۳ قانون کنترل زیر داریم:

R^{-1}: If s *is NB*, then u is $G_{-1}z+k_{-1}$.
R^{o}: If s *is NB*, then u is $G_{o}z+k_{o}$.
R^{1}: If s *is NB*, then u is $G_{1}z+k_{1}$.

که تابع عضویت مطابق با روش NB، Z_0 و PB در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مقاله، پارامترهای مورد نیاز در روش FSMC به صورت زیر داده شده است:

$$\sigma_1 = 0.12 \quad k_{-1} = 2500 \quad k_o = 0 \quad k_1 = -2500$$
$$G_{-1} = G_o = G_1 = [23955 \quad -84554 \quad 302880 \quad -554.95 \quad -562.48 \quad -551.94]$$



شکل۲-تابع عضویت مجموعه فازی

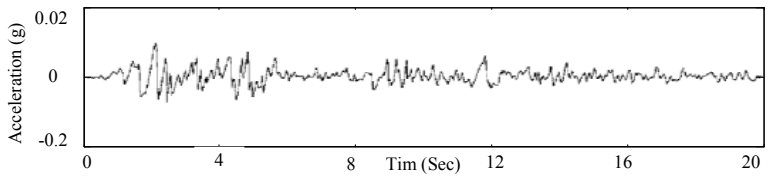
طراحی با روش FSMC بر اساس الگوریتم (GA)

پارامترهای مورد نیاز در روش فوق به صورت زیر داده شده است:

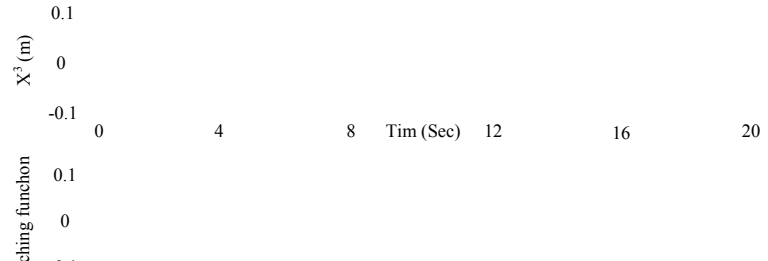
$$c = [3381 \quad 4423 \quad 12157 \quad 7670 \quad 6685 \quad 4671]$$
$$\sigma_1 = 0.0316 \quad k_{-1} = 2460 \quad k_o = 93.7 \quad k_1 = -2274$$
$$G_{-1} = [-12750 \quad 9305 \quad 5765 \quad -9857 \quad -9175 \quad -4643]$$
$$G_o = [3208 \quad -14712 \quad -4643 \quad -14772 \quad -13418 \quad -10918]$$
$$G_1 = [5472 \quad 2361 \quad -6706 \quad -12082 \quad -8542 \quad -2805]$$

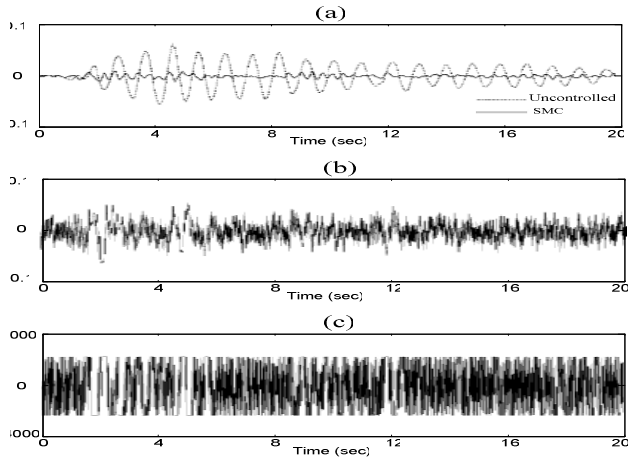
بحث بر روی نتایج

در شکل ۳، شتاب طیف زلزله El-Centro با PGA=0.1g داده شده است. به منظور مطالعه اثر کنترل گرهای ارائه شده، پاسخ تغییرمکان افقی سومین طبقه، X_3 ، به عنوان تابع مورد مطالعه آورده شده است. برای سازه بدون هیچ کنترل، میزان X_3برابر ۶,۳ سانتیمتر بدست آمده است. با به کارگیری روش SMC، میزان آن به ۰,۹۵ سانتیمتر تقلیل می یابد. شکل ۴-a تاریخچه زمانی این مساله را نشان میدهد و در شکل ۴-b تابع عضویت نمایش داده شده است.شکلهای ۵ و ۶ نیز تاریخچه زمانی تغییرمکان X_3 را بر اساس دو روش دیگر یعنی FSMC و الگوریتم ژنتیک نشان میدهد. با مقایسه نتایج ۳ روش ، SM ؛ FSMC و FSMC و GA با سیستم غیر کنترلی ، میتوان نتیجه گرفت که با استفاده از این روشهای اشاره شده، میزان کاهش X_3 به ترتیب ۰,۸۲،۰,۸۵ و ۰,۸۸ است. یعنی هر سه روش در کاهش پاسخ لرزه ای این ساختمان ۳ طبقه بسیار موثر است. روش مد کنترل با لغزش فازی با به کار گیری الگوریتم ژنتیک، دارای اثرات مشابه روش SMC است. با توجه به نتایج قابل قبولی که از شبیه سازی بدست آمده است می توان عنوان کرد که روش کنترل سازه مهندسی نظیر ساختمان، پل و .... بر اساس روش های ارائه شده به عنوان یک رقیب جدی در مقابل فکر ایمن سازی سازه بر اساس زیاد کردن ابعاد ستونهاو... باشد.

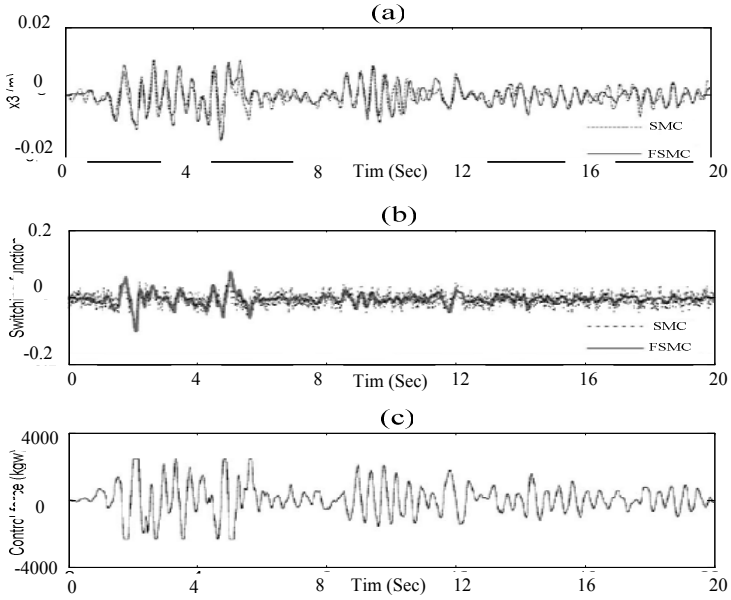


شکل۳- طیف El-Centro

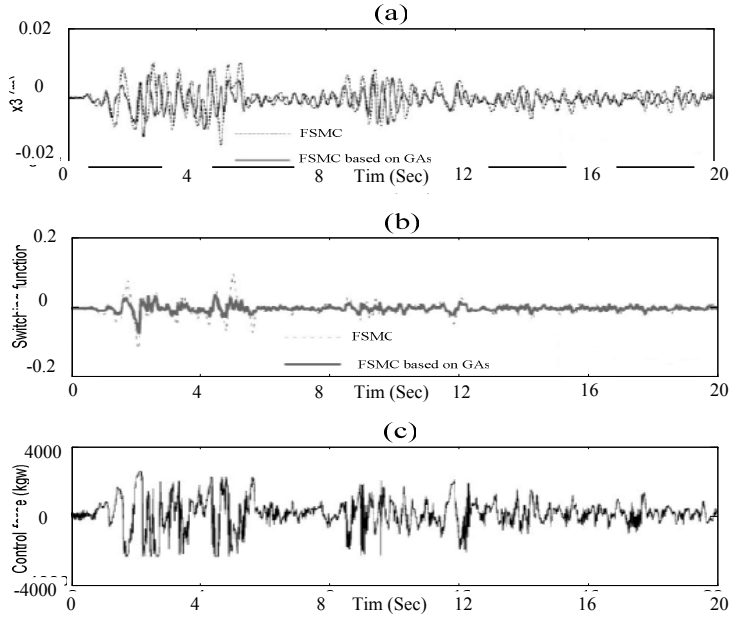




شکل۴-a) تاریخچه زمانی تغییرمکان افقی با روش SMC،طبقه سوم،b) تاریخچه زمانی تابع switching برای SMC
c) تاریخچه زمانی نیروی کنترل SMC



شکل۵-a) تاریخچه زمانی تغییرمکان افقی با روشSMC و FSMC:طبقه سوم،b) تاریخچه زمانی تابع switching برای SMC و c،FSMC) تاریخچه زمانی نیروی کنترل SMC و FSMC



شکل۶-a) تاریخچه زمانی تغییرمکان افقی با روشFSMC بر اساس GA:طبقه سوم،b) تاریخچه زمانی تابع switching برای FSMC بر اساس GA،c) تاریخچه زمانی نیروی کنترل FSMC بر اساس GA

مراجع

[1] Spencer, J., S. J. Dyke and H. S. Deoskar, 'Benchmark problems in structural control. Part I: active mass driver system'. *in Proc. 1997 ASCE Structures Congr.*, Portland, Oregon, 13–16 April, 1997.

[2] Aldemir1, U, M. Bakioglu1 and S. S. Akhiev, Optimal control of linear buildings under seismic excitations, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, pp.835-851, 2001.

[3] Guenfaf, L., M. Djebiri, M. S. Boucherit and F. Boudjema, Generalized minimum variance control for buildings under seismic ground motion, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, pp.945-960, 2001.

[4] Lynch, J.P. and Law, K.H. Market-based control of linear structural systems, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, pp.1855-1877, 2002.

[5] Zadeh L.A., Fuzzy Sets, Information Control,Vol.8,pp. 338-353,1965

[6] Chen JY. Expert SMC-based fuzzy control with genetic algorithms. *Journal of the Franklin Institute,*6, pp.589–610, 1999.

[7] John Y. Hung, W. Gao and James C. Hung, "Variable Structure Control: A Survey," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 40(1), pp.2-21, 1993.

[8] Lu LY, Chung LL, Huang SK. A test program for using active member concept in seismic structural control. *Proceedings of the Second World Conference on Structural Control*, Japan, Wiley: New York, pp.1891–1900, 1998.