

# کاهش زمان نشست در کنترل فیدبک تاخیری سیستم آشوبی روسلر با سنکرون کننده PI

حسن فاتحی مرج<sup>۱</sup>، رجب اصغریان<sup>۲</sup>، ناصر پریریز<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترای برق-کنترل، گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، hassan.fatehi@gmail.com

<sup>۲</sup> استاد، گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، asghrian@ferdowsi.um.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، n-pariz@um.ac.ir

**چکیده:** در این مقاله یک روش ساده و کارا جهت کاهش زمان نشست در روش فیدبک تاخیری کنترل آشوب ارائه گردیده است. این روش برپایه سنکرون سازی سیستم آشوبی با داده های ذخیره شده توسط یک سنکرون کننده PI می باشد. برخی مزایای این روش بیان گردیده و شبیه سازی عددی برای سیستم روسلر با و بدون پارامترهای نامعین آورده شده است.

**کلمات کلیدی:** کنترل آشوب فیدبک تاخیری، زمان نشست، سنکرون سازی، بازسازی UPO، سیستم روسلر.

**Abstract:** In this paper based on synchronizing the chaotic system with the stored data by a PI synchronizer, a simple and efficient technique is presented to decrease settling time in the delayed feedback chaos control method. Some advantages of the presented technique are described and numerical simulations for the Rössler system with and without uncertain parameters are presented.

**Keywords:** Delayed feedback chaos control, Settling time, synchronization, UPO reconstruction, Rössler system.

## ۱- مقدمه

کرده است و به سیستم، نیروی کمی در جهت مانیفولد ناپایدار اعمال کرده تا بدینوسیله زمان نشست را کاهش دهد.

مرجع [۵] یک روش n-مرحله ای پیشنهاد کرده که n بعد سیستم می باشد. در این روش هر شرایط اولیه در ناحیه کنترل پذیر به جای زیرمجموعه پایدار، مستقیماً به سمت مدار هدف فرستاده می شود.

روش کنترل فیدبک تاخیری (DFC) ابتدا توسط پیراگس پیشنهاد گردید [۶]. این روش ساده که تحت عناوین روش پیراگس و روش تاخیر زمانی نیز شناخته می شود، برپایه اختلاف حالات جاری و حالات یک یا چند دوره قبل قرار دارد (شکل ۱) و به طور موفقیت آمیزی در بسیاری سیستم های آشوبی به کار گرفته شده است [۷-۹]. البته در برخی کاربردها این روش نیز نیازمند زمان زیادی است. از آنجا که روش OGY بر پایه نگاشت پوانکاره قرار دارد و اصولاً یک روش گسسته است تکنیک های ارائه شده برای آن مناسب روش تاخیر زمانی در سیستم های پیوسته که مورد نظر این مقاله است نمی باشند. تا آنجا که ما اطلاع داریم، جهت کم کردن زمان نشست در روش فیدبک تاخیری کاری انجام نشده است. تنها مرجع [۱۰] متذکر شده است که نویز خارجی می تواند سرعت کنترل را در کنترل فیدبک تاخیری نگاشت

پیشکسوتان کنترل آشوب آت<sup>۱</sup>، گربوگی<sup>۲</sup> و یورک<sup>۳</sup> می باشند که روش کنترل آشوب OGY را بنا نهادند. در این روش یک مدار دوره ای ناپایدار<sup>۴</sup> (UPO) محاط در جذب کننده آشوبی با خطی سازی نگاشت پوانکاره پایدار می شود [۱]. پس از آن کنترل آشوب در بسیاری از علوم موضوعی بحث برانگیز شد و روش های مختلفی برای آن پیشنهاد گردید [۲، ۳].

البته روش OGY در اغلب موارد جهت پایدار سازی هدف<sup>۵</sup> به زمان زیادی نیازمند است [۴] (ما این زمان را زمان نشست<sup>۶</sup> می خوانیم) که برخی تکنیک ها جهت بهبود این مشکل پیشنهاد شده اند [۴، ۵]. مرجع [۴] از تقریب سیستم آشوبی در نزدیکی مانیفولد<sup>۷</sup> پایدار هدف استفاده

<sup>1</sup> Ott

<sup>2</sup> Grebogi

<sup>3</sup> York

<sup>4</sup> Unstable Periodic Orbit

<sup>5</sup> Target

<sup>6</sup> Settling Time

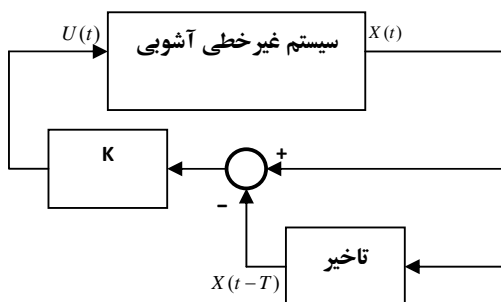
<sup>7</sup> Manifold

لاجستیکی<sup>۱</sup> (که یک سیستم گسسته است) زیاد کند و در مرجع [۱۱] در  
 که از فیدبک تاخیری بر پایه مود لغزشی<sup>۲</sup> در کنترل سیستم‌های آشوبی  
 تاخیری استفاده کرده است نتیجه کنترل مود لغزشی یک نقطه تعادل در  
 سیستم مکی گلاس<sup>۳</sup> با روش تاخیر زمانی مقایسه شده است که سرعت  
 روش ارائه شده بر پایه مود لغزشی بیشتر بوده است. البته روش ارائه شده  
 در آن به عنوان طرحی برای کم کردن زمان نشست معرفی نشده است و  
 همچنین سیستم مورد نظر آن و روش ارائه شده در آن کاملاً با این مقاله  
 تفاوت دارند. لازم به ذکر است که مرجع [۱۲] شبکه‌های عصبی را برای  
 روش‌های OGY و پیراگس آموزش داده است و در [۱۳] تخمین فازی  
 برای روش‌های OGY و پیراگس استفاده شده است که در هر دو زمان  
 نشست روش OGY کاهش پیدا کرده است اما زمان نشست روش تاخیر  
 زمانی تغییر نیافته است. همچنین لازم به ذکر است که هیچکدام از  
 مقالاتی که به نحوی به مساله زمان رسیدن به هدف کنترلی یا سرعت  
 کنترل اشاره کرده‌اند به تعریف زمان نشست در کنترل آشوب  
 نپرداخته‌اند و بنابراین حتی مقالاتی که جهت کم کردن این زمان در  
 روش OGY ارائه شده‌اند از ارائه نتایج کمی مناسب بی‌بهره بوده‌اند.  
 در این مقاله یک تکنیک جهت کم کردن زمان نشست در روش  
 DFC بر پایه سنکرون سازی سیستم با داده‌های ذخیره شده ارائه گردیده  
 است. این روش ساده بوده و نیازمند اضافه کردن اندازه‌گیر یا ورودی  
 کنترلی نیست و همچنین این روش سیستم با پارامترهای نامعلوم را بهتر  
 از روش تاخیر زمانی خطی کنترل می‌کند.

در  $Y(\tau) - Y(\tau - T) = g(X(\tau)) - g(X(\tau - T))$  ( $\tau < t$ )  
 زمان  $t$  می‌باشد.  
 جهت سادگی فرض می‌شود که  $Y(t) = X(t)$ . همچنین فرض  
 می‌شود که رابطه (۱) می‌تواند به شکل زیر نوشته شود:  

$$\dot{X}(t) = f(X(t), t) + U(t) \quad (2)$$
  
 پس از فرض‌های بالا و در نظر گرفتن روش فیدبک تاخیری به  
 صورت خطی (که بسیار معمول است و همان روش اولیه ارائه شده  
 توسط پیراگس می‌باشد) سیستم حلقه بسته مورد نظر به شکل زیر  
 می‌باشد (شکل ۱ را ببینید):  

$$\dot{X}(t) = f(X(t), t) + K(X(t) - X(t - T)) \quad (3)$$



شکل ۱: دیاگرام بلوکی روش کنترل فیدبک تاخیری

## تعریف ۲: زمان نشست

زمان نشست  $t_{set}$  به صورت  $t_{set} = t_r - t_s$  تعریف می‌شود که در  
 آن  $t_s$  زمان شروع عمل کنترل و  $t_r > t_s$  اولین زمانی است که  
 مسیرهای سیستم به ناحیه‌ای حول UPO رسیده و پس از آن در آن ناحیه  
 باقی می‌مانند (با همه خطاهای بین حالات سیستم و مقادیر متناظر از  
 UPO کمتر از حداکثر قابل قبول می‌مانند)

$$\|E\| = \|X(t) - \bar{X}(t)\| < E_{max} \text{ for } t \geq t_r$$

زمان نشست  $t_{set}$  طولانی یا نه به اندازه کافی کوتاه خوانده می‌شود  
 هرگاه:  $t_{set} > pT$  که در آن  $p$  یک عدد حقیقی (ضریب) و  $T$   
 پریود می‌باشد.

**نکته ۱:** عمل کنترلی پس از شروع به کار سیستم کنترل شده و یا پس از  
 اغتشاشی که سیستم را از نزدیکی UPO دور کند، شروع می‌شود.

**نکته ۲:** در این مقاله فرض شده است که کنترل کننده تاخیر زمانی  
 می‌تواند سیستم را کنترل کند اما زمان نشست آن طولانی است  
 ( $t_{set} > pT$ ) و هدف ما این است که این زمان را به اندازه کافی  
 کوتاه کنیم ( $t_{set} < pT$ ).

## ۲- تعریف مساله و مقدمات ریاضی

سیستم‌های آشوبی زمان-پیوسته  $n$  بعدی بیان‌شونده با معادلات زیر  
 را در نظر بگیرید.

$$\dot{X}(t) = f(X(t), U(t), t) \quad (X \in R^n, U \in R^m) \quad (1)$$

$$Y(t) = g(X(t)) \quad (Y \in R^r)$$

که  $X(t)$  حالات سیستم،  $U(t)$  ورودی‌های کنترل و  $Y(t)$   
 خروجی‌های سیستم می‌باشند.

### تعریف ۱: کنترل فیدبک تاخیری (DFC) [۱۴]

کنترل فیدبک تاخیری (کنترل تاخیر زمانی) برای سیستم‌های پیوسته  
 آشوبی، پایدارسازی مدار دوره‌ای ناپایدار  $\bar{X}(t)$  با پریود  $T$  که در  
 سیستم کنترل نشده (یعنی سیستم (۱) با  $U(t) = 0$ ) ظاهر می‌شود، تنها  
 با استفاده از فیدبک بر اساس

<sup>1</sup> Logistic Map

<sup>2</sup> Sliding Mode

<sup>3</sup> Mackey Glass

فقط با استفاده از بهره  $k$  با این داده‌ها سنکرون می‌شوند (نام دیگر روش DFC روش خود سنکرون کننده است) بنابر این تنها با استفاده از کنترل کننده تناسبی می‌توان به سنکرون‌سازی رسید و از آنجا که کنترل کننده PI در برگیرنده کنترل کننده  $P$  است پس با آن نیز می‌توان سنکرون‌سازی را انجام داد. از دیدگاه دیگر پایداری سیستم حلقه بسته با تکنیک ارائه شده چنین بدست می‌آید که: از نظر تئوری اگر سیستم آشوبی دقیقاً روی UPO قرار گیرد روی آن باقی می‌ماند و از آنجا که طبق فرض DFC سیستم را پایدار می‌کند آنرا روی UPO می‌برد پس می‌توان داده‌های ذخیره شده را خروجی سیستمی مشابه دانست که روی UPO است. از این دیدگاه کنترل آشوب با سنکرون کردن سیستم آشوبی با سیستمی مشابه که روی UPO قرار دارد انجام می‌شود.

بیان ریاضی این دیدگاه بدین صورت است که با توجه به رابطه (۲) سیستم آشوبی (برده) و سیستم بر اساس داده‌های ذخیره شده (ارباب) را به ترتیب می‌توان با معادلات (۴) و (۵) بیان کرد:

$$\dot{X}_s(t) = f(X_s(t), t) + U_s(t) \quad (4)$$

$$\dot{X}_m(t) = f(X_m(t), t) + U_m(t) \quad (5)$$

با توجه به اینکه طبق فرض سیستم ارباب توسط روش تاخیر زمانی کنترل شده است می‌توان نوشت:

$$\dot{X}_m(t) = f(X_m(t), t) + K(X_m(t) - X_m(t-T)) \quad (6)$$

$$\text{و } X_m(t) = X_m(t-T) \text{ بنابرین:}$$

$$\dot{X}_m(t) = f(X_m(t), t) \quad (7)$$

پس مساله کنترل سیستم آشوبی بیان‌شونده با رابطه (۴) به مساله سنکرون کردن آن با سیستم بیان‌شونده با رابطه (۷) که دارای ساختار مشابه است و دوره‌ای است، با استفاده از ورودی کنترلی  $U_s(t)$  تبدیل می‌شود. از آنجا که سیستم ارباب پایدار و دوره‌ای است پس از سنکرون‌سازی سیستم آشوبی نیز پایدار و دوره‌ای می‌شود.

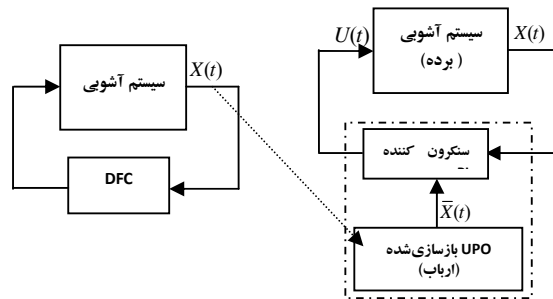
**تکته ۴:** در روش تاخیر زمانی اختلاف بین حالات (خروجی‌های)

جاری با حالات (خروجی‌های) با یک (یا چند) دوره تاخیر به عنوان خطا یا فاصله از UPO مورد نظر در نظر گرفته می‌شود در حالیکه در تکنیک ارائه شده جهت کم کردن زمان نشست، اختلاف حالات (خروجی‌ها) و مقادیر متناظر آنها در UPO بازسازی شده به عنوان خطا در نظر گرفته می‌شود که تفسیر بهتری از فاصله تا UPO مورد نظر است. شکل (۳) دو حالت را نشان می‌دهد که در آنها خطای استفاده شده در روش تاخیر زمانی بیانگر فاصله واقعی تا UPO نیست در حالیکه خطای استفاده شده در تکنیک کم کردن زمان نشست به خوبی بیانگر فاصله

### ۳- تکنیک کم کردن زمان نشست با سنکرون‌سازی

شکل (۲) بلوک دیاگرام تکنیک کم کردن زمان نشست را نشان

می‌دهد.



شکل ۲: دیاگرام بلوکی تکنیک کاهش زمان نشست

جهت کم کردن زمان نشست رویه زیر انجام می‌شود:

۱. اجرای سیستم کنترل شده با روش تاخیر زمانی برای یک بار تا زمانی که مسیرهای سیستم به UPO مورد نظر برسند و محاسبه زمان نشست آن روش.

۲. ذخیره حداقل یک دوره از حالات (خروجی‌ها) سیستم کنترل شده پس از رسیدن سیستم به UPO.

۳. بازسازی<sup>۱</sup> UPO با تکرار یا مدل‌سازی داده‌های ذخیره شده.

۴. سنکرون کردن سیستم آشوبی (برده<sup>۲</sup>) با UPO بازسازی شده (ارباب<sup>۳</sup>) جهت کنترل آشوب (به جای روش تاخیر زمانی).

از آنجا که فرض بر این است که روش تاخیر زمانی می‌تواند آشوب را کنترل کند و فقط زمان نشست آن زیاد است، UPO بازسازی‌شونده با استفاده از داده‌های ذخیره شده به خوبی بر UPO واقعی مورد نظر منطبق خواهد بود.

**تکته ۳:** از آنجا که روش تاخیر زمانی در واقع سنکرون کردن

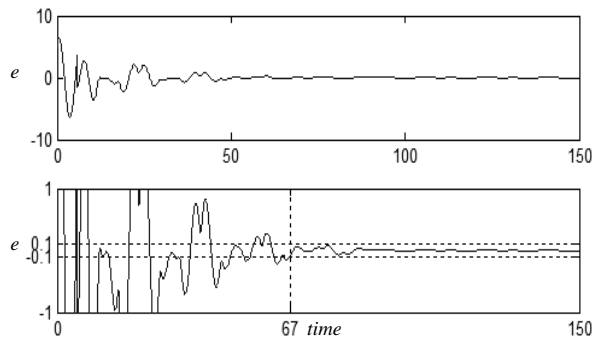
حالات (خروجی‌ها) با مقادیر تاخیر یافته آنها است و داده‌های ذخیره شده را می‌توان مقادیر تاخیر یافته برای دوره بعد تلقی کرد (در روش تاخیر زمانی حالات یا خروجی‌ها در دوره بعد با این داده‌ها سنکرون می‌شوند)، حالات (خروجی‌های) سیستم آشوبی را می‌توان به راحتی با داده‌های ذخیره شده سنکرون کرد. به عبارت دیگر پایداری سیستم حلقه بسته با روش DFC به عنوان فرض مساله در نظر گرفته شده است و داده‌های ذخیره شده یک دوره از سیستم دوره‌ای شده با روش DFC می‌باشند پس در واقع در روش DFC خروجی سیستم در دوره‌های بعد

<sup>1</sup> Reconstructing

<sup>2</sup> Slave

<sup>3</sup> Master

تمامی شکل‌ها واحد زمان ثانیه می‌باشد) می‌باشد که طولانی است.  $(t_{set} > pT = 58.81)$

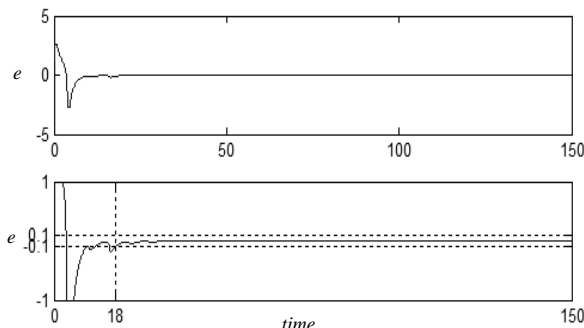


شکل ۴: خطا در کنترل تاخیر زمانی سیستم روسلر نامی (قسمت پایین بزرگنمایی قسمت بالا می‌باشد)

جهت اعمال تکنیک کم کردن زمان ارائه شده، یک دوره از حالت  $x_2$  سیستم پس از رسیدن به UPO ذخیره شد. چنانچه دیده می‌شود بازسازی کامل UPO مورد نیاز نیست بلکه جهت پرهیز از اضافه کردن اندازه گیر به سیستم، در بازسازی فقط حالت  $x_2$  ذخیره شده با پیروند  $T = 5.881$  تکرار می‌شود که با  $\bar{x}_2$  نشان داده می‌شود. در اینجا خطا به صورت  $e = x_2(t) - \bar{x}_2(t)$  تعریف می‌شود.

پس از آن (با استفاده از همان ورودی کنترلی روش تاخیر زمانی) از سنکرون کننده PI زیر جهت سنکرون کردن سیستم آشوبی و UPO بازسازی شده استفاده می‌شود:

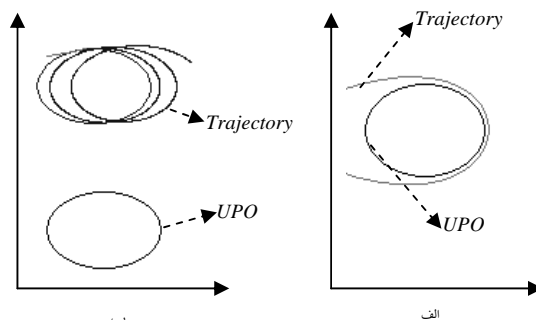
$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ k_p(x_2 - \bar{x}_2) + k_I \int_0^t (x_2 - \bar{x}_2) dt \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$



شکل ۵: خطا در کنترل سیستم روسلر نامی با تکنیک کاهش زمان (قسمت پایین بزرگنمایی قسمت بالا می‌باشد)

رویه یافتن ضرایب تناسبی و انتگرالی چنین است که ابتدا جهت کم کردن زمان نشست تنها از کنترل کننده تناسبی استفاده می‌شود (یعنی  $k_I = 0$ ). سپس جهت داشتن عملکرد خوب در برابر تغییر پارامترها، قسمت انتگرالی به آن اضافه می‌شود. در اینجا انتخاب ضریب تناسبی به

واقعی تا UPO است (زیرا UPO بازسازی شده منطبق بر UPO مورد نظر است). در قسمت الف شکل (۳) مسیرها به سمت UPO می‌روند و کمتر از یک دوره نزدیک آن می‌مانند، در این حالت خطا در روش تاخیر زمانی برای تمام نقاط زیاد است در حالیکه در واقع خطا برای نقاط زیادی، کم می‌باشد.



شکل ۳: دو حالت که خطا در DFC متناسب فاصله حالات تا UPO نیست

در قسمت ب شکل (۳) مسیرها حرکتی شبیه دوره‌ای اما دور از UPO مورد نظر دارند، در این حالت خطا در روش تاخیر زمانی کم است در حالیکه در واقع خطا زیاد می‌باشد. لازم به ذکر است که چنین حالتی در مسیرهای سیستم‌های آشوبی معمول است.

## ۴- نتایج شبیه‌سازی عددی: سیستم روسلر<sup>۱</sup>

### ۴-۱- کاهش زمان نشست در سیستم نامی

سیستم روسلر با معادلات زیر بیان می‌شود:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 \\ 1 & a & 0 \\ x_3 & 0 & -c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad (8)$$

این سیستم به ازای  $a = b = 0.2$  و  $c = 5.7$  آشوبی بوده (سیستم نامی) و با کنترل کننده تاخیر زمانی به صورت:  $u = u_2 = k(x_2(t) - x_2(t - \tau)) = ke$  که در آن  $\tau = T = 5.881$  و تعریف خطا به صورت  $e = x_2(t) - x_2(t - \tau)$  می‌باشد. در اینجا در صورتی که اندازه بهره بزرگتر از  $0.7$  انتخاب شود سیستم پایدار نمی‌شود همچنین مناسبترین بهره جهت کم بودن زمان نشست به صورت  $k = -0.2$  می‌باشد که در شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفته شده است.

ضریب طولانی بودن زمان نشست را  $p = 10$  انتخاب می‌کنیم. همچنین قدر مطلق حداکثر خطای قابل قبول  $|e|_{\max} = 0.1$  در نظر گرفته شده است.

شکل (۴) نتیجه کنترل سیستم نامی روسلر با روش تاخیر زمانی را نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است زمان نشست  $t_{set} = 67 \text{ sec}$  (در

<sup>۱</sup> Rössler

### ۵- نتیجه گیری

در این مقاله تکنیکی جهت کاهش زمان نشست در روش DFC ارائه گردید. چنانچه با مثال عددی نشان داده شد این تکنیک ساده و کارا است (البته جهت رسیدن به خواسته‌های زمان نشست کمتر و عملکرد بهتر در برابر پارامترهای نامعین، این تکنیک پیچیدگی بیشتری از روش تاخیر زمانی دارد). از آنجا که این روش به جای اختلاف حالات جاری از حالات دوره قبل، از اختلاف حالات و UPO بازسازی شده استفاده می‌کند، توانست عمل کنترل را در هر دو سیستم نامی و نامعین، بهتر و زودتر از روش تاخیر زمانی انجام دهد. مزیت دیگر این روش این است که در ساختار آن تاخیر وجود ندارد و بازه انتخاب بهره در آن بزرگ است.

به طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که هر چند روش تاخیر زمانی (بر خلاف انتظار علم کنترل) از تاخیر زمانی جهت کنترل سیستم آشوبی استفاده می‌کند اما در هر صورت وجود تاخیر در سیستم حلقه بسته امری نامطلوب است و بنابراین پیشنهاد می‌شود پس از طراحی روش تاخیر زمانی برای یک سیستم با استفاده از تکنیک ارائه شده در این مقاله تاخیر موجود در ساختار کنترل کننده حذف گردد.

اگرچه در این مقاله سیستم روسلر در نظر گرفته شد و جهت بازسازی UPO از تکرار داده‌های ذخیره شده استفاده شد، از تکنیک‌های دیگر مانند مدل‌سازی غیرخطی نیز می‌توان استفاده کرد و بسیاری سیستم‌های دیگر را نیز می‌توان به عنوان سیستم مورد مطالعه لحاظ کرد.

### مراجع

- [28] E. Ott, C. Grebogi and J. A. Yorke, "Controlling chaos", *Physical Review Letters*, vol. 64, no. 11, pp. 1196-1199, March 1990.
- [29] A. L. Fradkov and R.J. Evans, "Control of chaos: Methods and applications in engineering", *Annual Reviews in Control*, vol. 29, pp. 33-56, April 2005.
- [30] F. T. Arecchi, S. Boccaletti, M. Ciofini and R. Meucci, "The control of chaos: theoretical schemes and experimental realizations", *International Journal of Bifurcation and Chaos*, vol. 8, no. 8, pp. 1643-1655, 1998.
- [31] K. Yagasaki and T. Uozumi, "A new approach for controlling chaotic dynamical systems", *Physics Letters A*, vol. 238, pp. 349-357, February 1998.

صورت  $-0.3 \leq k_p \leq -6$  زمان نشست را به خوبی کم می‌کند که از این بین  $k_p = -3$  انتخاب گردید. پس از آن با کمی سعی و خطا  $k_f = -0.3$  انتخاب شد.

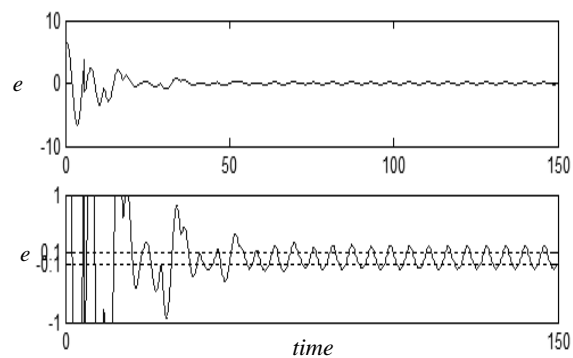
شکل (۵) نتیجه اعمال این روش را به سیستم روسلر نامی نشان می‌دهد. چنانچه در شکل (۵) مشخص است، زمان نشست  $t_{set} = 18 \text{ sec}$  می‌باشد که طولانی نمی‌باشد.

### ۴-۲- بررسی عملکرد تکنیک کاهش زمان نشست در سیستم با پارامترهای نامعین

در این قسمت فرض می‌کنیم که پارامترهای سیستم روسلر نامعلوم بوده و طراحی بر اساس سیستم نامی انجام گرفته است، یعنی همان کنترل کننده تاخیر زمانی و تکنیک کاهش زمان قسمت (۴-۱) استفاده می‌شوند. در شبیه‌سازی پارامترهای سیستم نامعین روسلر به صورت  $a = b = 0.22$  و  $c = 5$  در نظر گرفته می‌شوند.

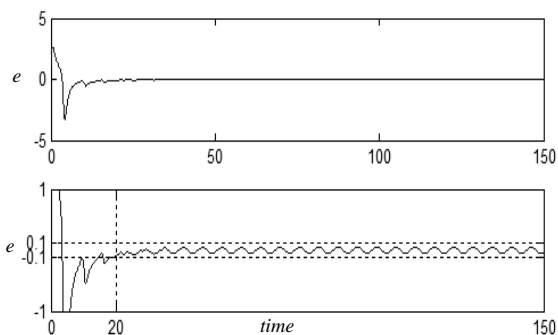
شکل (۶) نتیجه کنترل سیستم نامعین روسلر با روش تاخیر زمانی را نشان می‌دهد. چنانچه مشخص است خطا هرگز کمتر از ماکزیمم قابل قبول نمی‌شود و به عبارت دیگر زمان نشست بی‌نهایت است.

شکل (۷) نتیجه اعمال روش کاهش زمان را به سیستم نامعین روسلر نشان می‌دهند. چنانچه در این شکل مشخص است زمان نشست  $t_{set} = 20 \text{ sec}$  می‌باشد که طولانی نمی‌باشد.



شکل ۶: خطا در کنترل تاخیر زمانی سیستم نامعین روسلر (قسمت پایین بزرگنمایی)

قسمت بالا می‌باشد)



شکل ۷: خطا در کنترل سیستم نامعین روسلر با تکنیک کاهش زمان (قسمت پایین

بزرگنمایی قسمت بالا می‌باشد)

- [38] N. Vasegh, A. Khaki Sedigh, "Chaos control in delayed chaotic systems via sliding mode based delayed feedback", *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 40, no. 1, pp. 159-165, 2009.
- [39] M. Ramesh and S. Narayanan, "Chaos control of Bonhoeffer-van der Pol oscillator using neural networks", *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 12, pp. 2395-2405, 2001.
- [40] A. Alasty and H. Salarieh, "Controlling the chaos using fuzzy estimation of OGY and Pyragas controllers", *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 26, pp. 379-392, 2005.
- [41] H. Nakajima, "Some sufficient conditions for stabilizing periodic orbits without the odd-number property by delayed feedback control in continuous-time systems", *Physics Letters A*, vol. 327, pp. 44-54, 2004.
- [32] J. Starrett, "Time-optimal chaos control by center manifold targeting", *Physical Review E*, vol. 66, pp. 046206, October 2002.
- [33] K. Pyragas, "continuous controlling of chaos by self-controlling feedback", *Physics Letters A*, vol. 170, pp. 421-428, 1992.
- [34] K. Pyragas, "Control of chaos via extended delay feedback," *Physics Letters A*, vol. 206, pp. 323-330, 1995.
- [35] W. Just, T. Bernard, M. Ostherier, E. Reibold and H. Benner, "Mechanism of time-delayed feedback control", *Physical Review Letters*, vol. 78, no. 2, pp. 203-206, January 1997.
- [36] Ö. Morgül, "On the stability of delayed feedback controllers", *Physics Letters A*, vol. 314, pp. 278-285, 2003.
- [37] J. Escalona, and P. Parmananda, "Noise-aided control of chaotic dynamics in a logistic map", *Physical Review E*, vol. 61, no. 4, pp. 5987-5989, May 2000.