



Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: <https://modelling.semnan.ac.ir/>

ISSN: 2783-2538



Research Article

Robust Synchronization of a Class Neutral Chaotic Systems Despite, Unknown Time-Delay and Parameter

Amir Hosein Rostam Pour ^a, Assef Zare ^{b,*} , Majid Hallaji^c

^a Research Center of Intelligent Technologies in Electrical Industry- Gonabad Branch, Islamic Azad University, Gonabad, Iran

^b Faculty of Electrical Engineering, Gonabad Branch, Islamic Azad University, Gonabad 6518115743, Iran

^c Faculty of Electrical Engineering, Neyshabure Branch, Islamic Azad University, Neyshabure 6518115743, Iran

PAPER INFO

Paper history:

Received: 23 March 2023

Revised: 01 July 2023

Accepted: 15 July 2023

Keywords:

Neutral chaotic systems, Adaptive robust Synchronization, unknown delay, unknown parameters, disturbance, uncertainty .

ABSTRACT

The synchronization of neutral chaotic systems with disturbance, uncertainty, unknown parameters, and unknown delays is studied in this article. Initially, the neutral chaotic system is introduced using the Lyapunov exponent and then the adaptive-robust controller is designed using the Lyapunov stability theory and the Lipschitz condition. The update laws for the estimation of disturbance and uncertainty bounds, as well as unknown parameters and delays, are determined such that the chaotic master and slave systems are synchronized in a robust manner. In addition, Lyapunov stability guarantees that the proposed controller will synchronize neutral chaotic systems in the presence of disturbance and uncertainty. In order to assess the proposed adaptive-robust controller, the synchronization of two parallel chaotic systems, jerk and Genesio–Tesi, with bounded nonlinear uncertainty, external disturbances, and unknown constant time delays is simulated. The simulation results demonstrate that the proposed controller provides the best performance for robust synchronization of neutral chaotic systems.

DOI: <https://doi.org/10.22075/jme.2023.30066.2414>

© 2023 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* Corresponding author.

E-mail address: assefzare@gmail.com

How to cite this article:

Rostampour, A., Zare, A., & Halaji, M. (2023). Robust synchronization of a class neutral chaotic systems Despite, unknown time-delay and parameter. *Journal of Modeling in Engineering*, 21(75), 225-238. doi: 10.22075/jme.2023.30066.2414

همزمان سازی مقاوم کلاس خاصی از سیستم های آشوبی هم تراز با وجود تاخیر زمانی و پارامترهای نامشخص

امیر حسین رستم پور^۱، آصف زارع^{۲*}، مجید حلاجی^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۰۳	در این مقاله، همزمان سازی سیستم های آشوبی هم تراز با وجود اغتشاش، عدم قطعیت، پارامترهای نامعلوم و تاخیرهای نامعلوم مورد بررسی قرار میگیرد. در ابتدا با استفاده از نمای لیاپانوف، سیستم آشوبی هم تراز معرفی شده، سپس کنترلر تطبیقی- مقاوم بر پایه تئوری پایداری لیاپانوف و شرط لیپ شیتز طراحی می شود. قوانین بروزرسانی تخمین کران های اغتشاش و عدم قطعیت و همچنین پارامترها و تاخیرهای نامعلوم به گونه ای تعیین میشوند که همزمان سازی مقاوم سیستم های آشوبی پایه و پیرو صورت گیرد. همچنین بر اساس پایداری لیاپانوف تضمین می گردد که کنترل کننده پیشنهادی منجر به همزمان سازی سیستم های آشوبی هم تراز با وجود اغتشاش و ناپیچینی می شود. در نهایت، برای ارزیابی کنترل کننده تطبیقی-مقاوم پیشنهادی، همزمان سازی دو سیستم آشوبی هم تراز جرک و جنسیوتسیو با عدم قطعیت غیرخطی کراندار و اغتشاش های خارجی و همچنین تاخیرهای زمانی ثابت نامعلوم شبیه سازی شده اند. نتایج شبیه سازی ها، کارایی مطلوب کنترلر پیشنهادی برای همزمان سازی مقاوم سیستم های آشوبی هم تراز را نشان می دهند.
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰	
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴	
واژگان کلیدی:	
سیستم های آشوبی هم تراز، همزمان سازی تطبیقی مقاوم، تاخیر نامعلوم، پارامترهای نامعلوم، اغتشاش، عدم قطعیت.	
DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2023.30066.2414	
© 2023 Published by Semnan University Press. This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)	

۱- مقدمه

سیستم های آشوبی مفهوم جدیدی است و استفاده از کلید سخت افزاری باعث پیشرفت سریع این حوزه شده است [۴ و ۵]. برخی دیگر از کاربردهای سیستم آشوبی در زمینه های، لیزر [۶]، راکتورهای شیمیایی [۷]، بیولوژی [۸] و الگوریتم بهینه سازی می باشد [۹ و ۱۰]. تأخیر زمانی عموماً به صورت ذاتی در سیستم های صنعتی و حلقه های کنترلی وجود دارد که باعث ناپایداری و آشوب ناکی سیستم می شود [۱۱]. از این جهت، در دهه های گذشته تحلیل پایداری سیستم های دارای تاخیر زمانی گسترش پیدا کرده است. در [۱۲ و ۱۳] به تحلیل پایداری مقاوم برای سیستم های با تاخیرهای حالت متغیر با زمان پرداخته شده

نظریه آشوب شاخه ای از علوم ریاضیات است که اثر پروانه ای اصل زیر بنای آن بوده و به توصیف این پدیده می پردازد. رفتار این سیستم ها در نگاه اول ظاهراً تصادفی بوده اما در عمل تحت حاکمیت الگوها و قوانین قطعی و پنهانیست که به شدت به شرایط اولیه حساس است؛ بطوری که در یک سیستم غیر خطی آشوبی تغییرات کوچک شرایط اولیه باعث رفتارهای غیرقابل پیش بینی می شود [۱]. رفتار آشوبناک در بسیاری از سیستم های طبیعی شامل جریان سیالی، بی نظمی های تپش قلب، آب و هوا وجود دارد [۲ و ۳] ارتباط ایمن با استفاده از همزمان سازی بین

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: assefzare@gmail.com

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گناباد

۲. مرکز تحقیقات فناوری های هوشمند در صنعت برق- واحد گناباد، دانشگاه آزاد اسلامی، گناباد، ایران

۳. استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور

استناد به این مقاله:

تاخیرهای نامعلوم معرفی شده است.

- با استفاده از از تئوری لیاپانوف کنترل تطبیقی-مقاوم جهت همزمان سازی سیستم های آشوبی همتراز ارائه می شود که در نتیجه شرایط پایداری مجانبی برقرار بوده و همگرایی خطای همزمان سازی به صفر تضمین می گردد.
- قوانین بروزرسانی برای تخمین مجهولات سیستم آشوبی همتراز معرفی گردیده است.

نتایج حاصله توانمندی قانون کنترل پیشنهادی در همزمان سازی تطبیقی-مقاوم سیستم آشوبی همتراز را نشان می دهد. مقاله به شکل زیر سازماندهی شده است: در بخش دوم، تعاریف و قضایای مهم مرور شده و توصیف سیستم مورد مطالعه به همراه فرمول بندی مساله در این بخش بیان می شود. بخش سوم به فرایند طراحی مبتنی بر روش لیاپانوف و تعیین قوانین به روز رسانی می پردازد. در بخش چهارم با استفاده از جاذب و نمای لیاپانوف، آشوبی بودن سیستم همتراز جرک و جنسیوتسیو بررسی شده و پیاده سازی روش پیشنهادی با استفاده از نرم افزار متلب ۲۰۲۲ بر روی دو سیستم آشوبی همتراز صورت می پذیرد. در بخش پنجم، نتیجه عملکرد کنترلر ارائه می گردد.

۲- تعاریف اولیه و طرح مسئله

شکل کلی معادلات سیستم های همتراز (۱) به شرح زیر بیان می شود که τ_1, τ_2 تاخیرهای زمانی سیستم می باشد.

$$\dot{x} = f(t, x(t), x(t - \tau_1), \dot{x}(t - \tau_2))$$

در این مقاله سیستم های آشوبی همتراز دارای اغتشاش و عدم قطعیت و پارامترها و تاخیرهای نامعلوم ارائه شده است که شکل کلی معادلات دیفرانسیل استاندارد سیستم پایه در (۲) و پیرو در (۳) به شرح زیر بیان می شود.

$$\begin{cases} \dot{x}_i = x_{i+1} & 1 \leq i \leq n-1 \\ \dot{x}_n = \psi_0^T x + F(x, x(t - \tau_{11}), \dot{x}(t - \tau_{12})) \\ \quad + \Delta f(x, t) + d_1(t) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{y}_i = y_{i+1} & i \leq n-1 \\ \dot{y}_n = \psi_1^T y + G(y, y(t - \tau_{21}), \dot{y}(t - \tau_{22})) \\ \quad + \Delta g(y, t) + d_2(t) \end{cases}$$

بردار حالت در سیستم پایه و پیرو به ترتیب $x(t)$ و $y(t)$ می باشد که در آن $\Delta f(\cdot), \Delta g(\cdot)$ نامعینی و

است. علاوه بر این، به تحلیل پایداری با روش لیاپانوف در مرجع های [۱۴ و ۱۵] پرداخته شده است. سیستم های همتراز به علت وجود تاخیر در متغیرهای حالت و مشتقات آن نسبت به سایر سیستم های تاخیردار، پیچیدگی های بیشتری دارند. به همین دلیل تحلیل پایداری سیستم های همتراز مورد توجه بوده است. در مطالعات پیشین، پایداری مقاوم $\|H\|_2 / \|H\|_\infty$ [ترکیب و H] در [۱۶ و ۱۷]، پایداری با روش ناتساوی ماتریس [۱۸ و ۱۹]، پایداری سیستم های همتراز مرتبه کسری با روش ناتساوی ماتریس [۲۰]، پایداری مقاوم [۲۱] و پایداری زمان محدود [۲۲] بررسی شده است. علاوه بر این، پایداری سیستم های همتراز با روش تضمین پایداری مجانبی یکنواخت [۲۳ و ۲۴] روش لیاپانوف - کراسوفسکی [۲۵ و ۲۶] و پایداری با روش کنترل تطبیقی [۲۷ و ۲۸] مورد توجه قرار گرفته است. همزمان سازی سیستم های آشوبی در مخابرات امن کاربرد دارد. روش های کنترلی مختلفی برای همزمان سازی سیستم های آشوبی در مقالات ارائه شده است، از جمله می توان به کنترل پسگام [۲۹]، کنترل تطبیقی فازی [۳۰]، کنترل پسگام تطبیقی [۳۱]، کنترل مرتبه کسری تطبیقی [۳۱]، کنترل مشاهده گر تطبیقی [۳۲]، کنترل مد لغزش [۳۳ و ۳۴]، کنترل تطبیقی سیستم های مرتبه کسری آشوبی [۳۵ و ۳۶]، کنترل مد لغزش فازی [۳۷]، کنترل مد لغزش تطبیقی [۳۸]، کنترل مد لغزش برای سیستم آشوبی تاخیردار [۳۹]، فیدبکی حالت [۴۰] و کنترل مرتبه کسری [۴۱] اشاره نمود. همچنین همزمان سازی سیستم های آشوبی تاخیردار با روش های لیاپانوف و مد لغزشی پرداخته شده است [۴۲ و ۴۳]. همزمان سازی شبکه های دینامیکی همتراز با روش های کنترل تطبیقی، کنترل فیدبک تطبیقی نیز بررسی قرار گرفته است [۴۴ و ۴۵]. بررسی سیستم های همتراز فوق الذکر، نشان می دهد که هیچ یک از آنها آشوبی نیست. با توجه به حساسیت سیستم های آشوبی، بسته به نوع اختلاف هایی که بین دو سیستم آشوبی از جمله شرایط اولیه و پارامترها، تاخیر، اغتشاش و عدم قطعیت وجود دارد، سیستم های آشوبی با چالش های مختلفی برای همزمان سازی رو به رو می شوند. رویکرد جدید این مقاله به صورت زیر شرح داده شده است.

- دو سیستم آشوبی همتراز جرک و جنسیوتسیو با بررسی نمای لیاپانوف و جاذب آنها با وجود اغتشاش، عدم قطعیت، پارامترهای نامعلوم و

که در (۷) $h_1(x)$ و $h_2(y)$ توابع مثبت و مشخص و $\delta_1, \delta_2, \gamma_1, \gamma_2$ مقادیر مثبتی و نامعلوم هستند که کران بالای آن ها $\bar{\delta}_1, \bar{\delta}_2, \bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2$ مشخص و معلوم می باشد. همچنین کران پارامترهای سیستم های پایه $(\bar{\psi}_0)$ و پیرو $(\bar{\psi}_1)$ و کرانهای بالا $(\bar{\tau}_{ij})$ و پایین $(\underline{\tau}_{ij})$ تاخیرهای زمانی نیز مشخص می باشند.

۳- طراحی کنترل کننده ی تطبیقی-مقاوم برای همزمان سازی سیستم آشوبی هم تراز در حضور اغتشاش، عدم قطعیت و تاخیرهای زمانی و پارامترهای نامعلوم

دینامیک خطا برای همزمان سازی سیستم های پایه و پیرو (۲) و (۳) بصورت زیر است:

$$\begin{cases} \dot{e}_i = e_{i+1} & i \leq i \leq n-1 \\ \dot{e}_{n-1} = e_n + u_0(t) \\ \dot{e}_n = \psi_1^T y + g(y(t), t) \\ \quad + G(y(t - \tau_{21}), \dot{y}(t - \tau_{22})) + \\ \quad \Delta g(y, t) + d_2(t) - (\psi_0^T x + \\ \quad f(x(t), t) + F(x(t - \tau_{11}), \dot{x}(t - \tau_{12}))) \\ \quad \Delta f(x, t) + d_1(t) + u(t) \end{cases} \quad (۸)$$

قضیه ۱. شرط لازم برای همزمان سازی مقاوم $(n-1)$ مولفه اول سیستم های آشوبی هم تراز (۲) و (۳) آن است که کنترل کننده $u_0(t)$ در (۸) به صورت زیر طراحی شود [۴۷].

$$u_0(t) = K^T E \quad (۹)$$

که در آن $E^T = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ دینامیک خطای همزمان سازی و $K^T = (-k_1, -k_2, \dots, -1)$ می باشد. مقادیر حقیقی k_i باید به گونه ای انتخاب شوند که زیر سیستم $(n-1)$ مولفه اول در (۸)، شرایط پایداری هر ویتز را برآورده کند.

قضیه ۲. شرط لازم و کافی جهت همزمان سازی مقاوم سیستم های آشوبی هم تراز (۲) و (۳) آن است که کنترل کننده $u_0(t)$ به صورت (۹) و کنترل کننده $u(t)$ به شرح زیر باشد.

$$\begin{aligned} u(t) = & -\hat{\psi}_1^T y + \hat{\psi}_0^T x \\ & + F(x(t - \hat{\tau}_{11}), \dot{x}(t - \hat{\tau}_{12})) \\ & - G(y(t - \hat{\tau}_{21}), \dot{y}(t - \hat{\tau}_{22})) - k_0 e_n \\ & - \text{sign}(e_n) (\hat{\gamma}_1 + \hat{\gamma}_2 + \hat{\delta}_1 h_1(x) \\ & \quad + \hat{\delta}_2 h_2(y)) \\ & + u_{00}(t) \end{aligned} \quad (۱۰)$$

$d_1(t)$ و $d_2(t)$ اغتشاش و $F(\cdot), G(\cdot)$ توابع معلوم و $i, j = 1, 2, \tau_{ij}$ تاخیرهای زمانی نامشخص و همچنین بردارهای ψ_0^T و ψ_1^T پارامترهای نامعلوم سیستم هستند.

تعریف ۱. سیستم پایه و پیرو که در فرم های (۲) و (۳) تعریف شده اند، دارای همزمان سازی مقاوم هستند. اگر با وجود شرایط حاکم بر سیستم، از جمله اغتشاش خارجی، عدم قطعیت و تاخیرهای زمانی نامعلوم و پارامترهای نامعلوم و برای هر شرایط اولیه، شرط (۴) برآورده شود:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_i - x_i| = \lim_{t \rightarrow \infty} |e_i| = 0 \quad (۴)$$

$$i = 1, \dots, n$$

که در آن $e_i(t)$ خطای همزمان سازی سیستم های پایه و پیرو را توصیف می کند. بر این اساس، معادلات دیفرانسیل دینامیک خطای همزمان سازی به شرح زیر تعریف می شوند:

$$\begin{cases} \dot{e}_i = e_{i+1} & i \leq i \leq n-1 \\ \dot{e}_n = \psi_1^T y + G(y(t - \tau_{21}), \dot{y}(t - \tau_{22})) \\ \quad + \Delta g(y, t) + d_2(t) - (\psi_0^T x + \\ \quad F(x(t - \tau_{11}), \dot{x}(t - \tau_{12}))) \\ \quad + \Delta f(x, t) + d_1(t) \end{cases} \quad (۵)$$

تعریف ۲. [۴۶] تابع $F(\cdot) \in R^n$ را پیوسته لیپ شیتز گویند اگر $F(0) = 0$ و برای هر $z(t), c(t) \in R^n$ رابطه (۵) برقرار باشد.

$$|F(z(t)) - F(c(t))| < l |z(t) - c(t)| \quad (۶)$$

که در آن l عدد حقیقی مثبت می باشد.

فرض ۱. اغتشاشات خارجی نامشخص $d_1(t), d_2(t)$ و عدم قطعیت های غیرخطی کراندار $\Delta f(\cdot), \Delta g(\cdot)$ و پارامترهای برداری نامشخص ψ_0, ψ_1 و تاخیرهای زمانی نامشخص در سیستم های پایه و پیرو (۲) و (۳) شرایط زیر را برآورده می کنند:

$$\|d_1(t)\| \leq \gamma_1 < \bar{\gamma}_1 \quad (۷)$$

$$\|d_2(t)\| \leq \gamma_2 < \bar{\gamma}_2$$

$$\|\Delta f(\cdot)\| \leq \delta_1 h_1(x), \delta_1 < \bar{\delta}_1$$

$$\|\Delta g(\cdot)\| \leq \delta_2 h_2(y), \delta_2 < \bar{\delta}_2$$

$$|\psi_0| \leq \bar{\psi}_0$$

$$|\psi_1| \leq \bar{\psi}_1$$

$$0 < \underline{\tau}_{ij} < \tau_{ij} < \bar{\tau}_{ij} \quad i, j = 1, 2$$

$$-d_1(t)] + \tilde{\psi}_0^T \dot{\tilde{\psi}}_0 + \tilde{\psi}_1^T \dot{\tilde{\psi}}_1 + \sum_{i=1}^2 (\tilde{\delta}_i \dot{\tilde{\delta}}_i + \tilde{\gamma}_i \dot{\tilde{\gamma}}_i) + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 m_{ij} \tilde{\tau}_{ij} \dot{\tilde{\tau}}_{ij} \quad (15)$$

حال با جایگذاری قانون کنترل (۱۰) در (۱۴)، معادله (۱۵) بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} \dot{V} = e_n [-F(x(t - \tau_{11}), \dot{x}(t - \tau_{12})) & \quad (16) \\ + F(x(t - \hat{\tau}_{11}), \dot{x}(t - \hat{\tau}_{12})) \\ - \Delta f(x, t) - d_1(t) \\ + G(y(t - \tau_{21}), \dot{y}(t - \tau_{22})) \\ - G(y(t - \hat{\tau}_{21}), \dot{y}(t - \hat{\tau}_{22})) \\ + \Delta g(y, t) + d_2(t) - \\ \text{sign}(\hat{\gamma}_1 + \hat{\gamma}_2 + \delta_1 h_1(x) + \delta_2 h_2(y))] \\ - e_n \tilde{\psi}_1^T y + e_n \tilde{\psi}_0^T x + \sum_{i=1}^2 (\tilde{\delta}_i \dot{\tilde{\delta}}_i + \tilde{\gamma}_i \dot{\tilde{\gamma}}_i) \\ + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 m_{ij} \tilde{\tau}_{ij} \dot{\tilde{\tau}}_{ij} - k_0 e_n^2 + e_n u_{00} \end{aligned}$$

بنابراین:

$$\begin{aligned} \dot{V} \leq |e_n| (|G(y(t - \tau_{21}), \dot{y}(t - \tau_{22})) & \\ - G(y(t - \hat{\tau}_{21}), \dot{y}(t - \hat{\tau}_{22}))| + |\Delta g(y, t)| \\ + |d_2(t)| + |-F(x(t - \tau_{11}), \dot{x}(t - \tau_{12})) & \\ + F(x(t - \hat{\tau}_{11}), \dot{x}(t - \hat{\tau}_{12}))| + |\Delta f(x, t)| \\ + |d_1(t)| - e_n \text{sign}(\hat{\gamma}_1 + \hat{\gamma}_2 + & \\ \delta_1 h_1(x) + \delta_2 h_2(y)) - e_n \tilde{\psi}_1^T y + e_n \tilde{\psi}_0^T x & \\ + \sum_{i=1}^2 (\tilde{\delta}_i \dot{\tilde{\delta}}_i + \tilde{\gamma}_i \dot{\tilde{\gamma}}_i) + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 m_{ij} \tilde{\tau}_{ij} \dot{\tilde{\tau}}_{ij} & \\ + \tilde{\psi}_0^T \dot{\tilde{\psi}}_0 + \tilde{\psi}_1^T \dot{\tilde{\psi}}_1 - k_0 e_n^2 + e_n u_{00} & \quad (17) \end{aligned}$$

بر اساس فرض ۱ در (۷) و تعریف ۲، در (۶)، داریم:

$$\begin{aligned} \dot{V} \leq |e_n| (\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 m_{ij} |\tilde{\tau}_{ij}| + \delta_1 h_1(x) & \\ + \delta_2 h_2(x) + \tilde{\gamma}_1 + \tilde{\gamma}_2) - e_n \tilde{\psi}_1^T y + e_n \tilde{\psi}_0^T x & \quad (18) \\ + \sum_{i=1}^2 (\tilde{\delta}_i \dot{\tilde{\delta}}_i + \tilde{\gamma}_i \dot{\tilde{\gamma}}_i) + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 m_{ij} \tilde{\tau}_{ij} \dot{\tilde{\tau}}_{ij} \\ + \tilde{\psi}_0^T \dot{\tilde{\psi}}_0 + \tilde{\psi}_1^T \dot{\tilde{\psi}}_1 - k_0 e_n^2 + e_n u_{00} \end{aligned}$$

که در آن k_0 حقیقی و مثبت بوده و:

$$\begin{aligned} u_{00}(t) = \frac{-b}{e_n} \sum_{l=1}^2 [(|\hat{\delta}_l| + \bar{\delta}_l)^2 + (|\hat{\gamma}_l| + \bar{\gamma}_l)^2] \\ + \sum_{i,j=1}^2 (|\hat{\tau}_{ij}| + \bar{\tau}_{ij})^2 + (|\psi_0| + \bar{\psi}_0)^2 \\ + (|\psi_1| + \bar{\psi}_1)^2 \quad (11) \end{aligned}$$

قوانین بروز رسانی در کنترلر (۱۰) به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{\psi}}_1 &= -e_n y & (12) \\ \dot{\tilde{\psi}}_0 &= e_n x \\ \dot{\tilde{\delta}}_1 &= -|e_n| h_1(x) \\ \dot{\tilde{\delta}}_2 &= -|e_n| h_2(y) \\ \dot{\tilde{\gamma}}_1 &= -|e_n| \\ \dot{\tilde{\gamma}}_2 &= -|e_n| \\ \dot{\tilde{\tau}}_{11} &= -|e_n| \text{sign}(\tilde{\tau}_{11}) \\ \dot{\tilde{\tau}}_{12} &= -|e_n| \text{sign}(\tilde{\tau}_{12}) \\ \dot{\tilde{\tau}}_{21} &= -|e_n| \text{sign}(\tilde{\tau}_{21}) \\ \dot{\tilde{\tau}}_{22} &= -|e_n| \text{sign}(\tilde{\tau}_{22}) \end{aligned}$$

که در آن: $\tilde{\delta}_i, \tilde{\gamma}_i, \tilde{\tau}_{ij}, \tilde{\psi}_0, \tilde{\psi}_1$ خطاهای تخمین می‌باشند.

اثبات: تابع لیاپانوف زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} V(e_n, \tilde{\delta}_i, \tilde{\gamma}_i, \tilde{\tau}_{ij}, \tilde{\psi}_0, \tilde{\psi}_1) = \frac{1}{2} [e_n^2 + & \quad (13) \\ \sum_{i=1}^2 (\tilde{\delta}_i^2 + \tilde{\gamma}_i^2) + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 m_{ij} \tilde{\tau}_{ij}^2 \\ + \tilde{\psi}_0^T \tilde{\psi}_0 + \tilde{\psi}_1^T \tilde{\psi}_1] \end{aligned}$$

مشتق تابع لیاپانوف (۱۲) به شکل زیر بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} \dot{V} = e_n \dot{e}_n + \sum_{i=1}^2 (\tilde{\delta}_i \dot{\tilde{\delta}}_i + \tilde{\gamma}_i \dot{\tilde{\gamma}}_i) + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 m_{ij} \tilde{\tau}_{ij} \dot{\tilde{\tau}}_{ij} + & \\ \tilde{\psi}_0^T \dot{\tilde{\psi}}_0 + \tilde{\psi}_1^T \dot{\tilde{\psi}}_1 & \quad (14) \end{aligned}$$

با جایگذاری \dot{e}_n در رابطه (۸) داریم:

$$\begin{aligned} \dot{V} = e_n [\psi_1^T y - \psi_0^T x \\ + G(y(t - \tau_{21}), \dot{y}(t - \tau_{22})) \\ \Delta g(y, t) + d_2(t) + u(t) \\ - F(x(t - \tau_{11}), \dot{x}(t - \tau_{12})) - \Delta f(x, t) \end{aligned}$$

همچنین برای تمام تخمین ها : $\tilde{\tau}_{ij} = \tau_{ij} - \hat{\tau}_{ij}$ در نتیجه داریم: $\dot{\tilde{\tau}}_{ij} = -\dot{\hat{\tau}}_{ij}$.

به این ترتیب قوانین به روز رسانی برای تاخیرهای زمانی به صورت (۲۴) خواهند بود. علاوه بر این بعلت وجود عدم قطعیت و اغتشاش در سیستم که باعث افزایش نرم تخمین ها میشود برای مقابله با آن از روش اصلاح سیگما استفاده میشود. در این روش تابع اصلاح سیگما (σ_0) برای جلوگیری از انحراف تخمین بصورت زیر تعریف می شود.

$$\sigma_0(|\hat{\theta}|) = \begin{cases} 0 & \text{if } |\hat{\theta}(t)| \leq M_0 \\ \left(\frac{|\hat{\theta}(t)|}{M_0} - 1\right)^n \sigma_0 & \text{if } M_0 \leq |\hat{\theta}(t)| \leq 2M_0 \\ \sigma_0 & \text{if } |\hat{\theta}(t)| \geq 2M_0 \end{cases} \quad (23)$$

به این ترتیب برای تمامی قوانین بروز رسانی به این صورت می باشد.

$$\dot{\hat{\tau}}_{ij} = -|e_n| - \sigma_0(|\hat{\tau}_{ij}|) \hat{\tau}_{ij} \quad (24)$$

$$\dot{\hat{\gamma}}_i = -|e_n| - \sigma_0(|\hat{\gamma}_i|) \hat{\gamma}_i$$

$$\dot{\hat{\delta}}_i = -|e_n| - \sigma_0(|\hat{\delta}_i|) \hat{\delta}_i$$

$$\dot{\hat{\psi}}_0 = +e_n x - \sigma_0(|\hat{\psi}_0|) \hat{\psi}_0$$

$$\dot{\hat{\psi}}_1 = -e_n y - \sigma_0(|\hat{\psi}_1|) \hat{\psi}_1$$

برای کران داری تابع کنترل و بویژه بخش $u_{00}(t)$ بصورت زیر تصحیح می شود.

$$u_{00}(t) = \frac{-be_n}{e_n^2 + \epsilon} \left(\sum_{i=1}^2 [(|\hat{\delta}_i| + \bar{\delta}_i)^2 \right. \quad (25)$$

$$\left. + (|\hat{\gamma}_i| + \bar{\gamma}_i)^2 \right) + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 (|\hat{\tau}_{ij}| + \bar{\tau}_{ij})^2$$

$$+ (|\psi_0| + \bar{\psi}_0)^2 + (|\psi_1| + \bar{\psi}_1)^2)$$

$$\epsilon > 0$$

۴- مثال ها و نتایج شبیه سازی

از آنجایی که سیستم آشوبی هم تراز جبرک و جنسیوتسیو مورد بررسی قرار نگرفته، ابتدا لازم است دو سیستم آشوبی هم تراز جبرک و جنسیوتسیو با پارامتر، تاخیر، عدم قطعیت و

بنابراین:

$$\dot{V} \leq -k_0 e_n^2 - b \sum_{i=1, j}^2 [(|\hat{\delta}_i| + \bar{\delta}_i)^2 \quad (19)$$

$$+ (|\hat{\tau}_{ij}| + \bar{\tau}_{ij})^2 + (|\hat{\gamma}_i| + \bar{\gamma}_i)^2 + (|\psi_0| + \bar{\psi}_0)^2 + (|\psi_1| + \bar{\psi}_1)^2)$$

برای خطاهای تخمین روابط زیر برقرار می باشد:

$$\begin{aligned} |\bar{\delta}_i| &= |\delta_i - \hat{\delta}_i| \leq |\delta_i| + |\hat{\delta}_i| \\ &\leq (|\delta_i| + \bar{\delta}) \Rightarrow |\bar{\delta}_i|^2 \leq (|\delta_i| + \bar{\delta})^2 \\ &\Rightarrow -(|\delta_i| + \bar{\delta})^2 \leq -|\bar{\delta}_i|^2 \end{aligned}$$

بطور مشابه:

$$-(|\hat{\tau}_{ij}| + \bar{\tau}_{ij})^2 \leq -\tilde{\tau}_{ij}^2 \quad (20)$$

$$-(|\hat{\gamma}_i| + \bar{\gamma}_i)^2 \leq -\tilde{\gamma}_i^2$$

$$-(|\psi_i| + \bar{\psi}_i)^2 \leq -|\tilde{\psi}_i|^2 = -\tilde{\psi}_i^T \tilde{\psi}_i$$

بنابراین برای مشتق تابع لیاپانوف داریم.

$$\dot{V} \leq -k_0 e_n^2 - b \left[\sum_{i=1}^2 (\bar{\delta}_i^2 + \tilde{\gamma}_i^2) + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 \tilde{\tau}_{ij}^2 \right. \quad (21)$$

$$\left. + \tilde{\psi}_0^T \tilde{\psi}_0 + \tilde{\psi}_1^T \tilde{\psi}_1 \right] \leq -\eta V$$

که در آن: $\eta = \min(b, k_0)$ می باشد، بر اساس (۲۱)، با استفاده از طراحی دو کنترل کننده (۹) و (۱۰) و قوانین بروز رسانی (۱۱)، تمامی دینامیک خطای سیستم به صفر همگرا می شود. بنابراین شرط (۴) در تعریف ۱ برقرار می گردد و کلیه خطاهای تخمین $\tilde{\tau}_{ij}$, $\tilde{\gamma}_i$, $\tilde{\delta}_i$ و $\tilde{\psi}_1$ و $\tilde{\psi}_0$ به صفر همگرا می شوند.

همچنین قوانین به روز رسانی برای تاخیرها به خطای تخمین وابسته اند که در دسترس نیستند. برای رفع این مشکل می توان بصورت زیر عمل کرد. با انتخاب تخمین اولیه تاخیرها بصورت: $\hat{\tau}_{ij}(0) = \bar{\tau}_{ij}$ و با توجه به اینکه: $0 < \underline{\tau}_{ij} < \tau_{ij} < \bar{\tau}_{ij}$ اولیه داریم:

$$\tilde{\tau}_{ij}(0) = \tau_{ij} - \hat{\tau}_{ij}(0) = \tau_{ij} - \bar{\tau}_{ij} < 0 \Rightarrow \text{sgn}(\tilde{\tau}_{ij}) = -1$$

با تعریف: $V_{\tilde{\tau}_{ij}} = \frac{1}{2} \tilde{\tau}_{ij}^2$ و محاسبه مشتق آن:

$$\frac{d}{dt} V_{\tilde{\tau}_{ij}} = \tilde{\tau}_{ij} \dot{\tilde{\tau}}_{ij} = -|e_n| \text{sgn}(\tilde{\tau}_{ij}) \tilde{\tau}_{ij} \quad (22)$$

$$= -|e_n| |\tilde{\tau}_{ij}| < 0$$

بنابراین $V_{\tilde{\tau}_{ij}}$ یک تابع نزولی بوده که به صفر میل میکند. در

نتیجه: $\forall t \geq 0 : \tilde{\tau}_{ij} < 0 \Rightarrow \text{sgn}(\tilde{\tau}_{ij}) = -1$

که در آن:

$$G(.) = 0.01 \cos(y_2(t - \tau_{21})) \sin(\dot{y}_4(t - \tau_{22})) - 0.2 \sin(y_3(t)) y_4(t) + y_1(t) y_2(t)$$

شرایط اولیه و بردار پارامتر:

$$y(0)^T = [0, 0.02, 0, 0]$$

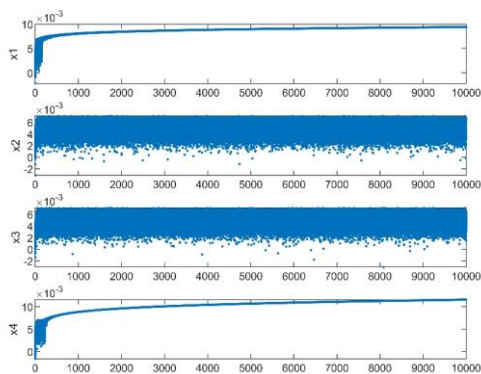
$$\psi_1^T = [0 \ 1 \ 0.45 \ 5]$$

عدم قطعیت و اغتشاش و پارامترها:

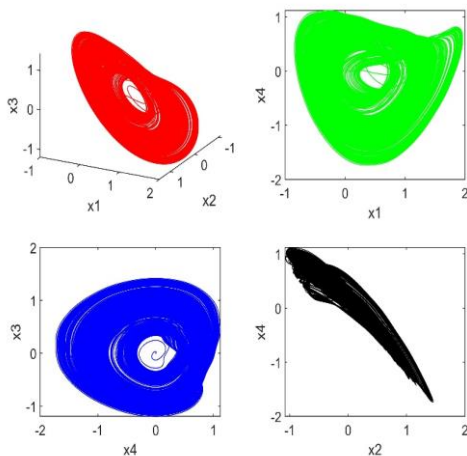
$$\Delta g(.) = 0.35 \sin(3 y_1(t) + 4 y_2(t) - 5 y_3(t) - y_4(t)),$$

$$d_2(t) = 0.01 \sin(5t)^2 + (0.05 \sin(3t + \pi/2))^2$$

$$, \tau_3 = 2, \tau_4 = 5, k_1 = -100, k_2 = -100, k_3 = -100, k_4 = -1, k_0 = -100$$



شکل ۱- نمای لیاپانوف سیستم آشوبی همتراز جرک پایه



شکل ۲- نمودار فاز سیستم آشوبی همتراز جرک پایه

اغتشاش مختلف طراحی گردد که به این منظور با تغییر معادلات و با اضافه کردن مشتق متغیر حالت تاخیر یافته سیستم مورد نظر طراحی می گردد [۴۷ و ۴۸]. با بررسی نمای لیاپانوف سیستم های آشوبی همتراز در شکل های (۳)، (۱)، (۱۳) و (۱۵) و کراننداری نمودار فاز (۲)، (۴)، (۱۴) و (۱۶) نشان می دهد که دو سیستم پایه و پیرو (۲۶)، (۲۷)، (۲۸) و (۲۹) آشوبی می باشند. اغتشاشات غیر خطی کراندار در شکل های (۶) و (۱۸) و عدم قطعیت (۷) و (۱۷) نمایش داده شده اند. خطای همزمان سازی که در شکل (۱۰) و (۲۱) در کسری از ثانیه به صفر میل کرده اند و در شکل های (۹) و (۲۰) کارایی مطلوب کنترل کننده تطبیقی-مقاوم و خطی نشان داده شده است. همچنین تخمین پارامترها و تاخیر در شکل های (۵)، (۱۱-۱۲)، (۲۱-۲۴) به نمایش آمده است. برای جلوگیری از چترینگ در شکل های (۹.۲) و (۲۰.۱) می توان به جای تابع $sign(e_n)$ در رابطه (۱۰) از تابع $\frac{e_n}{|e_n| + \rho}$ استفاده می شود. که در آن ρ عدد مثبت کوچکی است.

معادلات سیستم پایه جرک:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) &= x_3(t) \\ \dot{x}_3(t) &= x_4(t) \\ \dot{x}_4(t) &= \psi_0^T x + F(x, x(t - \tau_{11}), \dot{x}_4(t - \tau_{12})) + \Delta f(x, t) + d_1(t) \end{aligned} \quad (26)$$

که در آن:

$$F(.) = 0.01 \cos(x_1(t - \tau_{11})) \sin(\dot{x}_4(t - \tau_{12})) - \sin(x_3(t)) x_4(t) + x_1(t) x_2(t)$$

و بردار پارامتر:

$$x(0)^T = [0, 0.01, 0, 0]$$

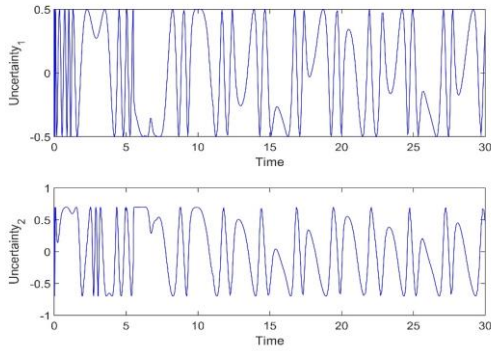
$$\psi_0^T = [0 \ 1 \ 1 \ 0.55]$$

عدم قطعیت و اغتشاش و پارامترها:

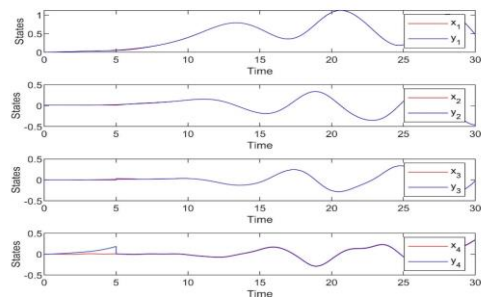
$$\begin{aligned} \Delta f(.) &= 0.1 \sin(5x_1(t) + 2x_2(t) - 8x_3(t)x_4(t)), \\ d_1(t) &= 0.01 \sin(3t) + (0.3 \cos(4t))^2 \\ \tau_1 &= 4, \tau_2 = 3 \end{aligned}$$

معادلات سیستم پیرو جرک:

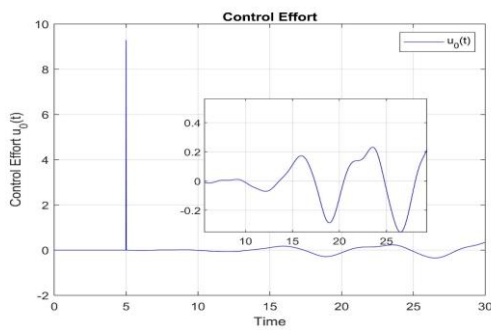
$$\begin{aligned} \dot{y}_1(t) &= y_2(t) \\ \dot{y}_2(t) &= y_3(t) \\ \dot{y}_3(t) &= y_4(t) \\ \dot{y}_4(t) &= \psi_1^T y + G(y, y(t - \tau_3), \dot{y}_4(t - \tau_4)) + \Delta g(y, t) + d_2(t) \end{aligned} \quad (27)$$



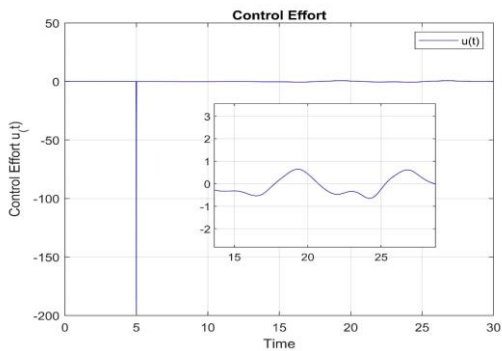
شکل ۷- نمایش عدم قطعیت های موجود در سیستم پایه $\Delta f(x, t)$ و پیرو $\Delta g(y, t)$



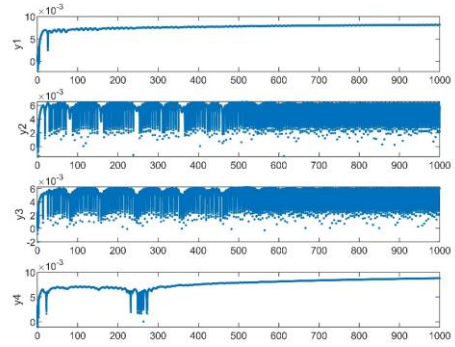
شکل ۸- نمایش دینامیک های سیستم های آشوبی پایه و پیرو در ازای اعمال سیگنال کنترلی از $t=5$



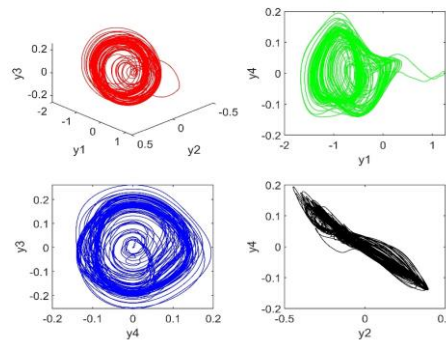
شکل ۹.۱- اعمال کنترل $u_0(t)$ از $t=5$



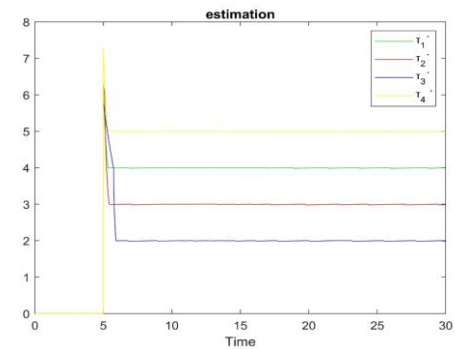
شکل ۹.۲ ورودی کنترلی $u(t)$



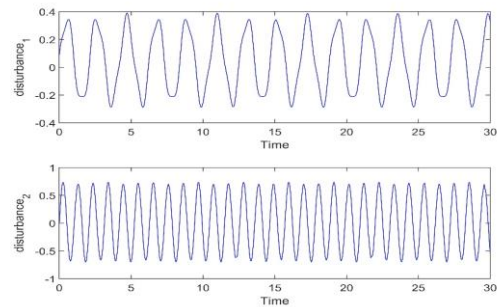
شکل ۳- نمای لیپانوف سیستم آشوبی هم تراز جرک پیرو



شکل ۴- نمودار فاز سیستم آشوبی هم تراز جرک پیرو



شکل ۵- نمایش تخمین تاخیر سیستم آشوبی هم تراز اصلی و پیرو می باشد



شکل ۶- نمودار اغتشاش $d_1(t)$ و $d_2(t)$

که در آن:

$$F(.) = x_1(t - \tau_{11}) \sin(\dot{x}_3(t - \tau_{12}))^2 - x_3(t)^2$$

شرایط اولیه و بردار پارامتر:

$$x(0)^T = [-2.2, 1.77, 2.4]$$

$$\psi_0^T = [6 \ 2.92 \ 1.2]$$

عدم قطعیت و اغتشاش:

$$\Delta f(x, t) = 0.7 \sin(5x_1(t) + 2x_2(t) - 8x_3(t)),$$

$$d_1(t) = 0.3 \sin(3t) + (0.3 \cos(4t))^2,$$

$$\tau_1 = 3, \tau_2 = 4,$$

معادلات سیستم پیرو جنسیوتسیو:

$$\begin{cases} \dot{y}_1(t) = y_2(t) \\ \dot{y}_2(t) = y_3(t) \\ \dot{y}_3(t) = \psi_1^T y \\ +G(y, y(t - \tau_3), \dot{y}(t - \tau_4)) \\ \Delta g(y, t) + d_2(t) \end{cases} \quad (30)$$

که در آن:

$$G(.) = 2 \sin(y_1(t - \tau_{21}))^2 \cos(\dot{y}_3(t - \tau_{22})) - y_3(t)^2$$

شرایط اولیه و پارامترها:

$$y(0)^T = [-5, 4, 8]$$

$$\psi_1^T = [5.8 \ 3.32 \ 1.4]$$

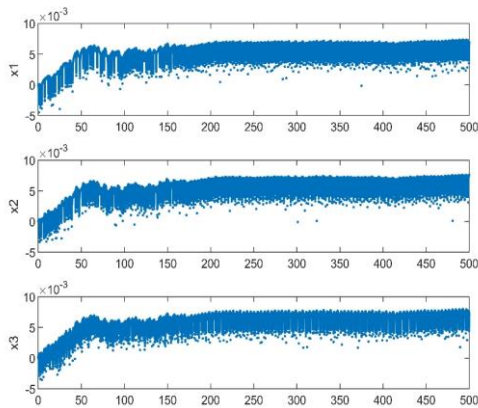
عدم قطعیت و اغتشاش و تاخیر سیستم:

$$\Delta g(y, t) = 0.5 \cos(4y_1(t) + y_2(t) - 5y_3(t)),$$

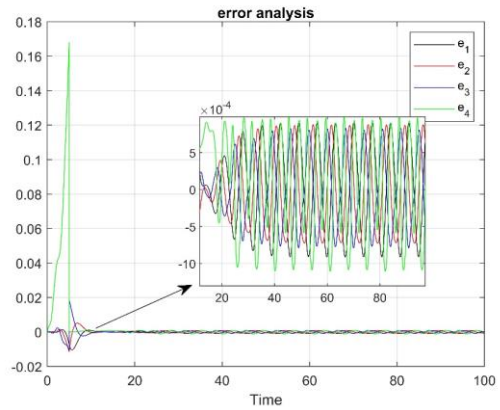
$$d_1(t) = 0.4 \sin(5t) + (0.3 \sin(4t + \pi/2))^2,$$

$$\tau_3 = 3.5, \tau_4 = 4,$$

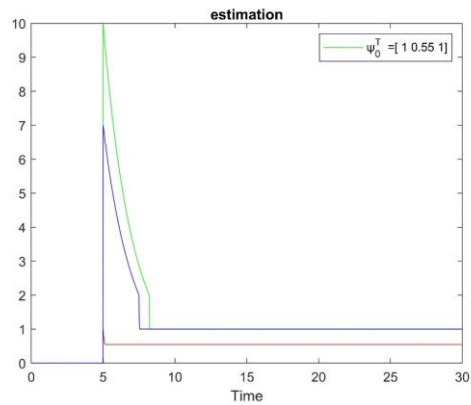
$$k_1 = -50, k_2 = -10, k_3 = -1, k_0 = -400,$$



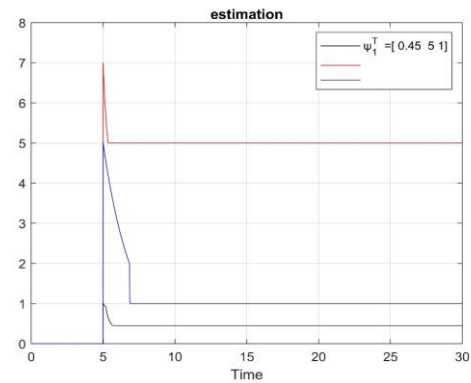
شکل ۱۳. نمای لیاپانوف سیستم آشوبی همتراز جنسیوتسیو



شکل ۱۰- خطای همزمان سازی سیستم های آشوبی پایه و پیرو در ازای اعمال سیگنال کنترلی از $t=5$

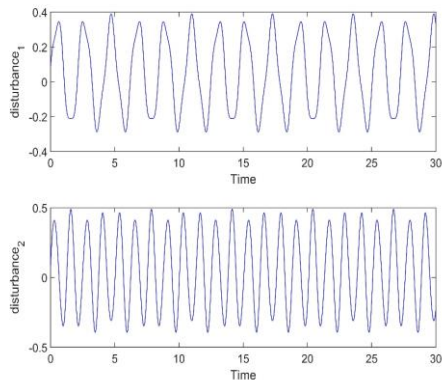


شکل ۱۱- تخمین پارامترهای سیستم اصلی

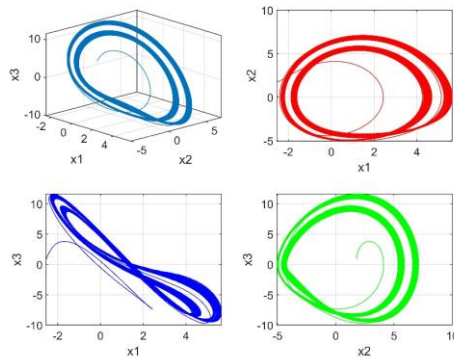


شکل ۱۲- تخمین پارامترهای سیستم پیرو معادلات سیستم پایه جنسیوتسیو:

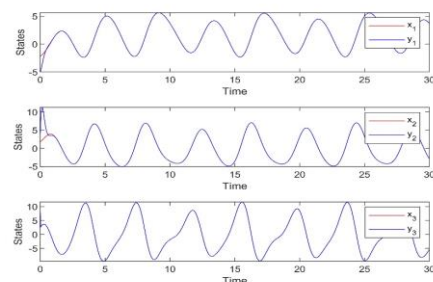
$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) = x_3(t) \\ \dot{x}_3(t) = \psi_0^T x \\ +F(x, x(t - \tau_1), \dot{x}(t - \tau_2)) \\ +\Delta f(x, t) + d_1(t) \end{cases} \quad (28)$$



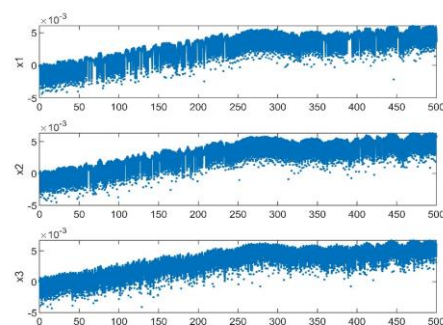
شکل ۱۸- نمودار اغتشاش $d_1(t)$ و $d_2(t)$ در سیستم پایه



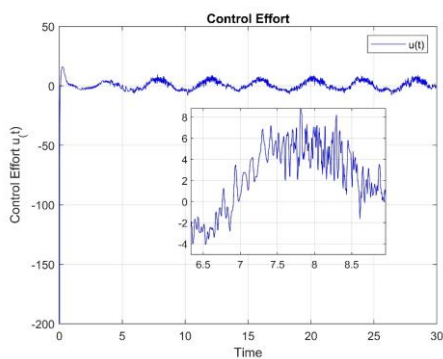
شکل ۱۴- نمودار فاز سیستم آشوبی هم تراز جنسیوتسیو پایه



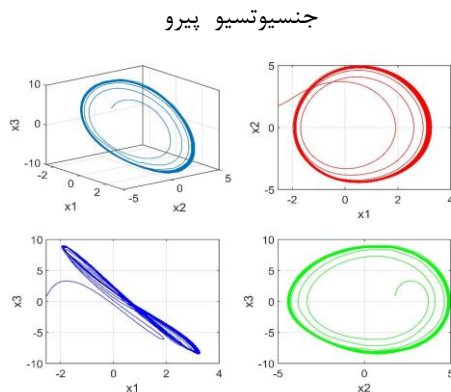
شکل ۱۹- نمایش دینامیک های سیستم های آشوبی پایه و پیرو
(۲۱)، (۲۲) در ازای اعمال سیگنال کنترلی از $t=5$



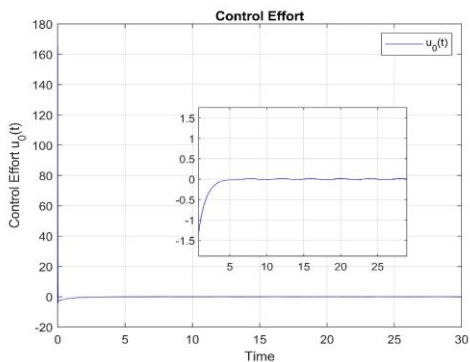
شکل ۱۵- نمای لیاپانوف سیستم آشوبی هم تراز



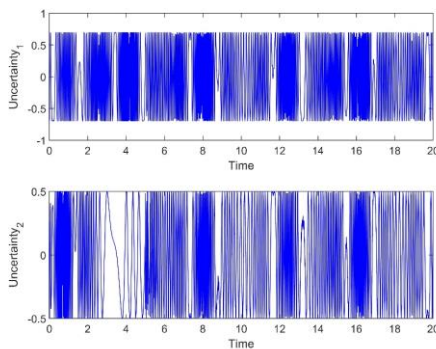
شکل ۲۰.۱- سیگنال کنترل $u(t)$



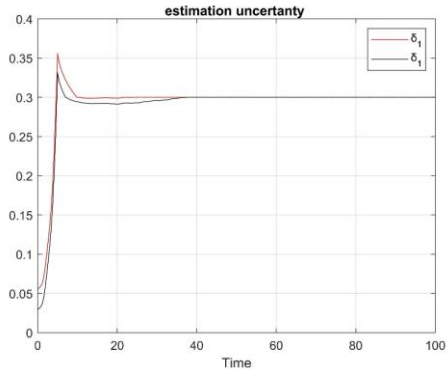
شکل ۱۶- نمودار فاز سیستم آشوبی هم تراز جنسیوتسیو پیرو



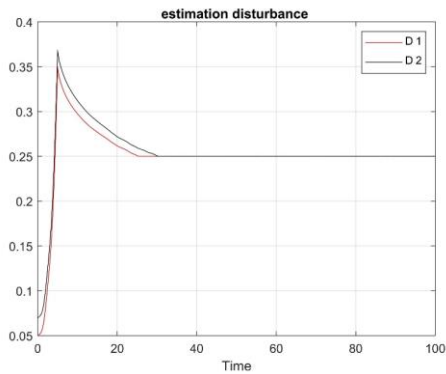
شکل ۲۰.۲- ورودی کنترلی $u_0(t)$



شکل ۱۷- نمایش عدم قطعیت های موجود در سیستم پایه $\Delta f(x, t)$ و پیرو $\Delta g(y, t)$

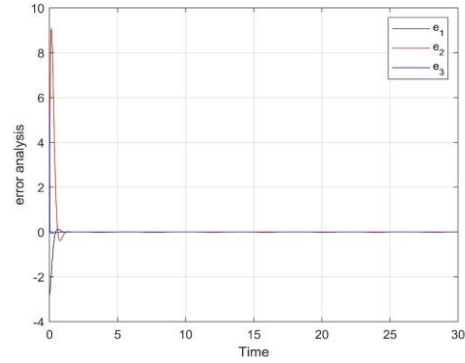


شکل ۲۵- تخمین کران اغتشاش‌ها

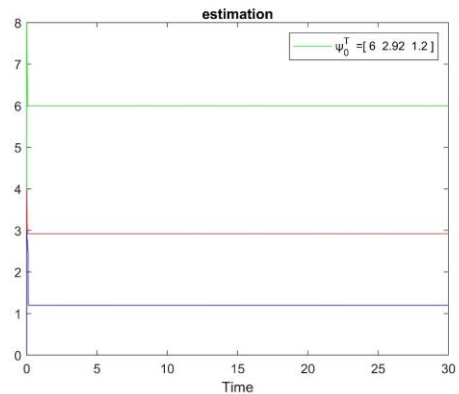


۵- نتیجه‌گیری

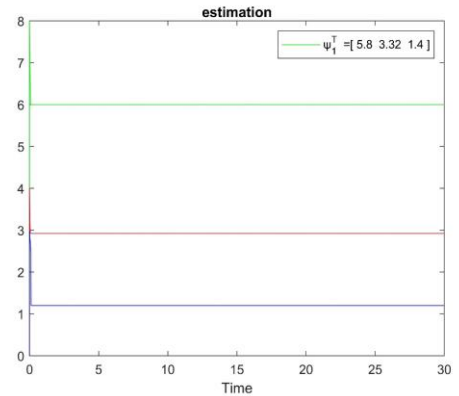
در این مقاله همزمان‌سازی کلاس خاصی از سیستم‌های آشوبی همتراز با روش کنترل تطبیقی- مقاوم ارائه شد. ترکیب سیستم آشوبی و سیستم همتراز پژوهش جدیدی می‌باشد که با وجود تاخیرهای نا معلوم و متفاوت در متغیر حالت و مشتق آن، اغتشاش و عدم قطعیت و همچنین پارامترهای مجهول در سیستم پایه و پیرو همزمان‌سازی دو سیستم را با مشکل روبه رو می‌سازد. با استفاده از یک کنترل‌کننده خطی و یک کنترل‌کننده تطبیقی-مقاوم عمل همزمان‌سازی انجام می‌شود. کنترل‌کننده تطبیقی مقاوم و قوانین به روز رسانی برای تخمین‌ها با کمک قضیه لیاپانوف و شرایط لیب شیتز طراحی شد. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، شبیه‌سازی فرایند همزمان‌سازی برای سیستم‌های آشوبی همتراز در محیط سیمولینک متلب انجام و نتیجه‌ی شبیه‌سازی نشان می‌دهد که خطاهای همزمان‌سازی و خطای تخمین پارامترها، تاخیرها، کران اغتشاش و عدم قطعیت سیستم در زمان کوتاهی به صفر میل می‌کنند که بیانگر عملکرد مقاوم کنترل‌کننده در فرایند همزمان‌سازی با وجود اغتشاش و عدم قطعیت‌های کراندار در سیستم‌های پایه و پیرو است.



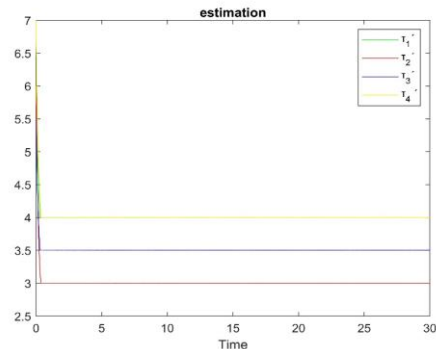
شکل ۲۱- دینامیک‌های خطای همزمان‌سازی سیستم‌های آشوبی پایه و پیرو پس از اعمال سیگنال‌های کنترلی



شکل ۲۲- تخمین پارامترهای سیستم اصلی



شکل ۲۳- تخمین پارامترهای سیستم پیرو



شکل ۲۴- تخمین کران تاخیرها

مراجع

- [1] Kellert, Stephen H. "In the wake of chaos: unpredictable order in dynamical systems." Science and its conceptual foundations. University of Chicago Press, Chicago, 1993.
- [2] E. N. Lorenz. "Deterministic non-periodic flow." *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 2, (1963): 130–141.
- [3] V. G. Ivancevic and T. T. Ivancevic. "Complex nonlinearity: chaos, phase transitions. " topology change, and path integrals, Springer 2008.
- [4] T. Yang. "A survey of chaotic secure." *International Journal of Computational Cognition*, vol. 2, (2004):81-130.
- [5] B. Nana, P. Wofo and S. Domngan . "Chaotic synchronization with experimental application to secure communications." *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, (2009): 2266–2276.
- [6] C.S. Zhou, J. Kurths, E. Allaria, S. Boccaletti and R. Meucci. "Noise-enhanced synchronization of homoclinic chaos in a CO 2 laser." *Physical Review E*, no. 1 (2003): 015205.
- [7] S. Vaidyanathan. "Adaptive synchronization of chemical chaotic reactors." *International Journal of ChemTech Research*, vol. 8, no. 2 (2015): 612-621.
- [8] J.E. Skinner, M. Molnar, T. Vybiral and M. Mitra. "Application of chaos theory to biology and medicine." *Integrative Physiological and Behavioral Science*, vol. 27, no. 1 (1992): 39–53.
- [9] مجید محمدپور و حمید پروی. "الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی آشوب‌گونه مبتنی بر حافظه برای حل مسائل بهینه‌سازی پویا." *مجله مدل‌سازی در مهندسی*، ۱۵، ۵۱ (۱۳۹۶): ۱۱۳–۱۳۲.
- [10] علی ابراهیمی، احمد حاجی پور و حمید رضا توکلی "موقعیت‌یابی در اینترنت اشیاء با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مرتبه کسری آشوبی"، *مجله مدل‌سازی در مهندسی*، ۱۸، ۶۰ (۱۳۹۹): ۱۵۷–۱۶۸.
- [11] V. B. Kolmanovskii . "Stability of functional differential equations. " London: Academic Press , 1986.
- [12] X. Li and C. E. de Souza . "CRITERIA FOR ROBUST STABILITY OF UNCERTAIN LINEAR." Department of Electrical and Computer Engineering, The University of NewcAStle, (1996): 137–142.
- [13] J. Kim. "Delay and its time-derivative dependent robust stability of time-delay linear systems with uncertainty." *IEEE Trans. Automat*, (2001): 789–792.
- [14] K. Gu. "A further refinement of discretized Lyapunov function method for the stability of time delay systems". *International Journal of Control*, (2001): 967–976.
- [15] D. Yue and S. Won. "An Improvement on delay and its time-derivative dependent robust stability of time-delay linear systems with uncertainty." *IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL*, vol. 47,(2002): 407–408.
- [16] Q. L. Han. "On robust stability of neutral systems with time-varying discrete delay. " *Automatica* , vol. 40, (2004): 1087–1092.
- [17] C. H. Lien and J.-D. Chen. "Discrete-delay-independent and discrete-delay-dependent criteria for a class of neutral systems." *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*, vol. 125, (2003): 33-41.
- [18] J. H. Park and O. Kwon. "On new stability criterion for delay-differential systems of neutral type. " *Applied Mathematics and Computation* , vol. 62, (2005): 627–637.
- [19] Y. He, M. Wu, J.-H. She and G.-P. Liu. "Delay-dependent robust stability criteria for uncertain neutral. " *Systems & Control Letters* , vol. 51, (2004): 57–65.
- [20] W. Chartbupapan, O. Bagdasar and K. Mukdasai. "A Novel Delay-Dependent Asymptotic Stability Conditions for Differential and Riemann-Liouville Fractional Differential Neutral Systems with Constant Delays and Nonlinear Perturbation. " *Mathematics*, vol. 8, no. 82(2020): 1-10.
- [21] Z. S. Aghaya, . A. Alfi and J. T. Machado. "Robust stability of uncertain fractional order systems of neutral type with distributed delays and control input saturation. " *Journal Pre-proof*, 2020.
- [22] F. Du and J.-G. Lu. "Finite-time stability of neutral fractional order time delay systems with Lipschitz nonlinearities. " *Applied Mathematics and Computation*, vol. 375, (2020): 2-17.

- [23] C. H. Lien and J.-D. Chen. "Discrete-delay-independent and discrete-delay-dependent criteria for a class of neutral systems. " *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*, vol. 125, (2003): 33-41.
- [24] M. Liu, I. Dassios and F. Milano. "On the Stability Analysis of Systems of Neutral Delay Differential Equations. " *Circuit Systems and Signal Processing* , vol. 38, (2019): 1639–1653.
- [25] T. Wu, L. Xiong, J. Cao and H. Zhang. "Stochastic stability and extended dissipativity analysis for uncertain neutral systems with semi-Markovian jumping parameters via novel free matrix-based integral inequality. " *Robust Nonlinear Control*, (2019): 1-21.
- [26] W. Chen, S. Xu, Y. Li and Z. Zhang. "Stability analysis of neutral systems with mixed interval time-varying delays and nonlinear disturbances. " *Journal of the Franklin Institute*, 2020.
- [27] عبدالله عباسی و سمانه سادات آقا عمو. "طراحی کنترل تطبیقی L_1 برای پایدارسازی سیستم‌های آشوبناک با وجود نامعینی در مدل. " *مجله مدل سازی در مهندسی*، ۱۶، ۵۲ (۱۳۹۷): ۱۷۱-۱۸۱.
- [28] ع. ابویی، م. ر. جاهد مطلق، م. م. عارفی و ز. رحمانی چراتی، "کنترل لغزشی -تطبیقی سیستم فوق آشوب لورنز با در نظر گرفتن عدم قطعیت، اغتشاش، ورودی های کنترلی غیر خطی و ناشناخته بودن پارامتر های سیستم "، *مجله کنترل*، ۴، ۴ (۱۳۷۳): ۶۲-۷۳.
- [29] M.T. Ziabari, A. Moarefianpur and M. Morvarid. "Fuzzy stability and synchronization of new 3D chaotic systems. " *International Journal of Information Engineering and Electronic Business* , vol. 6, no. 5 (2014): 53.
- [30] A. Boulkroune, A. Bouzeriba and T. Bouden. "Fuzzy generalized projective synchronization of incommensurate fractional-order chaotic systems. " *Neurocomputing*, vol. 173, (2016): 606-614.
- [31] S. Vaidyanathan, V.T. Pham and C.K. Volos. "Adaptive Backstepping Control, Synchronization and Circuit Simulation of a Novel Jerk Chaotic System with a Quartic Nonlinearity. " in *Advances and Applications in Chaotic Systems*, Springer International Publishing, (2016): 109-135.
- [32] S. Mohammadpour and T. Binazadeh. "Observer-based synchronization of uncertain chaotic systems subject to input saturation. " *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, vol. 40, no. 8 (2017): 2526-2535.
- [33] S. Mohammadpour and T. Binazadeh. "Robust adaptive synchronization of chaotic systems with nonsymmetric input saturation constraints. " *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, vol. 13, no. 1(2018): 011005.
- [34] L. Cao, and X. Chen. "Input-output linearization minimum sliding mode error feedback control for synchronization of chaotic system. " *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, vol. 229, no. 8 (2015): 685-699.
- [35] علی فیاضی، حسین احمدی نوبری و حسن فاتحی مرج. "همزمان سازی سیستم های مرتبه کسری آشوبی جنسیو تسی و کولت با استفاده از کنترل کننده تطبیقی مرتبه کسری. " *مجله کنترل*، دوره ۵، ۴ (۱۳۹۳): ۱-۱۱.
- [36] H.T. Yau, S.Y. Wu, C.L. Chen and Y.C. Li. "Fractional-order chaotic self-synchronizationbased tracking faults diagnosis of ball bearing systems. " *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 6 (2016): 3824-3833.
- [37] H. Jahanshahi, A. Yousefpour and J. M. Munoz-Pacheco. "A new multi-stable fractional-order four-dimensional system with self-excited and hidden chaotic attractors: Dynamic analysis and adaptive synchronization using a novel fuzzy adaptive sliding mode control method. " *Appl. Soft Comput*, vol. 87, (2020): 105943.
- [38] F. Min, C. Li, L. Zhang and C. Li. "Initial value-related dynamical analysis of the memristor-based system with reduced dimensions and its chaotic synchronization via adaptive sliding mode control method. " *Chin. J. Phys*, vol. 58, (2019): 117–131.
- [39] A. Khan and R. K. Shikha. "Combination synchronization of Genesio time delay chaotic system via robust adaptive sliding mode control. " *Int. J. Dyn. Control*, vol. 6, no. 2 (2018): 758–767.
- [40] W. Tai, Q. Teng, Y. Zhou, J. Zhou and Z. Wang. "Chaos synchronization of stochastic reaction-diffusion time-delay neural networks via non-fragile output-feedback control. " *Appl. Math. Comput*, vol. 354, (2019): 115–127.
- [41] Weiwei Zhang, Jinde Cao, Ranchao Wu, Fuad E. Alsaadi and Ahmed Alsaedi. "Lag Projective Synchronization of Fractional-Order Delayed Chaotic Systems. " *Journal of the Franklin Institute*, vol. 356, no. 3 (2018): 1522-1534.

- [42] L. Wang, T. Dong and M.-F. Ge. "Finite-time synchronization of memristor chaotic systems and its application in image encryption. " *Applied Mathematics and Computation*, vol. 347, (2019): 293-305.
- [43] O. MOFID, M. MOMENI, S. MOBAYEN and A. FEKIH. "A Disturbance-Observer-Based Sliding Mode Control for the Robust Synchronization of Uncertain Delayed Chaotic Systems. " *IEEE Access*, vol. 9, (2021): 16546-16555.
- [44] Y. Xu, C. Xie, D. Tong. "Adaptive synchronization for dynamical networks of neutral type with time-delay. " *Optic*, vol. 125, (2014): 2014380–385.
- [45] Q. Zhu, W. Zhou, D. Tong, J. Fang. "Adaptive synchronization for stochastic neural networks of neutral-type with mixed time-delays. " *Neurocomputing*, vol. 99, (2013): 477–485.
- [46] Z.S. Aghayan, A. Alfi, J.A. Tenreiro Machado. "Robust stability analysis of uncertain fractional order neutral-type delay nonlinear systems with actuator saturation. " *Applied Mathematical Modelling*, vol. 90, (2021): 1035–1048.
- [47] Zare, Assef, Mirrezapour, Seyede Z, Hallaji, Majid, Shoeibi, Afshin, Jafari, Mahboobeh, Ghassemi, Navid, Alizadehsani, Roohallah and Mosavi, Amir. "Robust Adaptive Synchronization of a Class of Uncertain Chaotic Systems with Unknown Time-Delay. " *Applied Sciences*, vol. 10, no. 24 (2020): 8875.
- [48] J.H. Park, S.M. Lee, O.M. Kwon. "Adaptive synchronization of Genesio–Tesi chaotic system via a novel feedback control. " *Physics Letters A*, vol. 371, (2007): 263–270.