

## کنترل و همزمان سازی رفتار آشوبی ژيروسکوپ با دو درجه آزادی به روش کنترل مد لغزشی

جمال قاسمی<sup>۱</sup>، وحدت ناظریان<sup>۲</sup>، خدیجه آقاجانی<sup>۳</sup>

j.ghasemi@umz.ac.ir

۲و۱- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران

۳- مربی دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران

### چکیده

در طراحی زیردریایی ها و هواپیماها، حفظ تعادل با استفاده از ابزاری به نام ژيروسکوپ یا دوران نما امکان پذیر می شود. ژيروسکوپ ها انواع مختلفی دارند که یکی از انواع آنها ژيروسکوپ با دو درجه آزادی است. کنترل و همزمان سازی ژيروسکوپ با دو درجه آزادی، در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. نشان داده می شود که ژيروسکوپ با دو درجه آزادی، سیستمی غیرخطی بوده و حالت های آن خروجی های آشوبی تولید خواهند کرد. لذا در این مطالعه روش کنترل مد لغزشی برای کنترل و همزمان سازی سیستم مذکور ارائه شده است که حاصل کار تعقیب مناسب خروجی آشوبی ژيروسکوپ می باشد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش کنترل مد لغزشی، روشی کارا برای کنترل رفتار آشوبی سیستم مذکور می باشد.

**واژگان کلیدی:** ژيروسکوپ، سیستم غیرخطی، رفتار آشوبی، کنترل مد لغزشی

تاریخ دریافت مقاله : ۹۴/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۴/۰۶/۱۷

## ۱- مقدمه

حفظ تعادل همواره یکی از مهمترین مسایل چالش برانگیز در طراحی‌های مهندسی بوده است. در طراحی زیردریایی‌ها، هواپیماها، فضاپیماها برای تشخیص حرکات زاویه ای و حفظ تعادل از ابزارهای به نام ژيروسکوپ یا دوران نما استفاده می‌شود. همچنین در کشتی‌ها از قطب نماهای مبتنی بر ژيروسکوپ نیز جهت مسیریابی استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه پایداری، بررسی پدیده‌های غیرخطی و تکنیک‌های کاربردی ژيروسکوپ‌ها شده است [۱-۳]. هر متحرک در فضا ۶ درجه آزادی دارد که شامل ۳ حرکت خطی و ۳ حرکت دورانی است. برای مشخص نمودن حرکت دورانی متحرک در فضا از ۳ محور عمود بر هم استفاده می‌شود که عبارتند از: محور رول یا محور طول، محور پیچ یا محور عرضی و محور یاو.

محور ژيروسکوپ را محور چرخش می‌نامند. ژيروسکوپ‌ها از نظر ساختمان به دو دسته "یک درجه آزادی" و "دو درجه آزادی" تقسیم می‌شوند که در این تقسیم بندی‌ها توانایی حرکت روتور نسبت به بدنه یا چارچوب ژيروسکوپ مورد نظر است. اگر روتور علاوه بر حرکت دورانی خود حول محور چرخش بتواند حول یک محور دیگر دوران کند به آن ژيروسکوپ یک درجه آزادی می‌گویند و چنانچه بتواند حول دو محور دیگر دوران کند به آن ژيروسکوپ دو درجه آزادی اطلاق می‌شود. به دلیل دقت و حساسیت کار معمولاً از ژيروسکوپ با ۳ درجه آزادی استفاده نمی‌شود و به جای آن از ۳ ژيروسکوپ با یک درجه آزادی یا ۲ ژيروسکوپ با ۲ درجه آزادی استفاده می‌شود.

در دنیای واقعی بسیاری از پدیده‌های فیزیکی غیر خطی می‌باشند و معادلات حاکم بر آنها را می‌توان با معادلات دیفرانسیل غیر خطی بیان نمود. یکی از روش‌های مواجهه با سیستم‌های غیرخطی، فرایند خطی‌سازی و سپس استفاده از تکنیک‌های کنترل خطی، حول نقطه کار می‌باشد. اما همواره فرایند خطی‌سازی با خطاهایی همراه می‌باشد که به همین دلیل همواره نمی‌توان از آن استفاده نمود. در چنین مواقعی با توجه به حساسیت موضوع، فرایند کنترل در فضای غیرخطی انجام خواهد گرفت.

به رفتارهای پیش بینی نشده و نامنظم بسیاری از سیستم‌های غیرخطی رفتار آشوبی و به سیستم مورد نظر، سیستم آشوبی اطلاق می‌گردد. بررسی رفتارهای غیر

خطی این دسته از سیستم‌ها و تاثیر پارامترهای مختلف و شرایط اولیه بر روی آنها بسیار مهم است. در دو دهه اخیر در زمینه رفتارهای آشوبی در سیستم‌های غیر خطی تحقیقات زیادی انجام شده است. در دهه اخیر، روش‌ها و تکنیک‌های زیادی ارائه و توسعه داده شده‌اند که از آن جمله روش OGY، روش PC، روش فیدبک<sup>۱</sup>، روش تطبیقی<sup>۲</sup>، روش فیدبک تاخیر زمانی<sup>۳</sup>، و مد لغزشی<sup>۴</sup> و تکنیک طراحی بک استپینگ<sup>۵</sup> می‌باشد [۵-۸]. دلیل توجه بسیار زیاد به پدیده‌های آشوبی گستردگی زمینه‌هایی می‌باشد که این پدیده‌ها به وقوع می‌پیوندند که از آن جمله می‌توان به سیستم‌های الکترونیکی [۹]، مخابرات امن [۱۰] و کامپیوتر [۱۱] و... اشاره نمود. در این مقاله کنترل و همزمان‌سازی رفتار آشوبی دو ژيروسکوپ با دو درجه آزادی و با شرایط اولیه متفاوت به روش مد لغزشی مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات زیادی بر روی رفتارهای آشوبی ژيروسکوپ‌ها انجام گرفته است که برای آشنایی با آنها می‌توان به [۱۵-۱۲] مراجعه کرد.

سازماندهی این مقاله به این صورت است که در قسمت ۲ ژيروسکوپ با دو درجه آزادی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در قسمت ۳ روش مد لغزشی و چگونگی اعمال آن بر روی سیستم مذکور توضیح داده خواهد شد. در نهایت مقاله با ارائه نتایج شبیه‌سازی و نتیجه‌گیری به اتمام خواهد رسید.

## ۲- ژيروسکوپ با دو درجه آزادی

ژيروسکوپ با دو درجه آزادی نخستین نوع ژيروسکوپ است و بیشتر در سامانه‌های کنترل آتش، وسایل کنترل موقعیت و قطب نماهای ژيروسکوپی استفاده می‌شود [۱]. این ژيروسکوپ را ژيروسکوپ دو محوره یا ژيروسکوپ سه بدنه‌ای نیز می‌نامند. این نوع ژيروسکوپ افزون بر محور چرخش رتور دارای دو محور دوران دیگر نیز می‌باشد که توسط دو عدد طوقه معلق درونی و بیرونی فراهم شده است و در حالت عادی محور چرخش و این دو محور نسبت به هم متماعد هستند. مجموعه طوقه داخل محور چرخش (که در واقع تکیه‌گاه محور چرخش را فراهم

1- Feedback Control

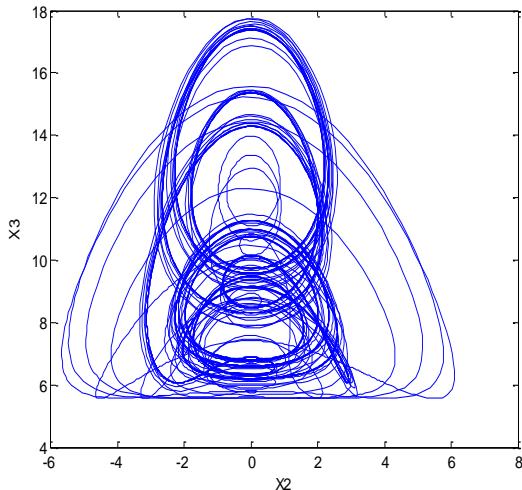
2- Adaptive Control

3- Time\_Delay Feedback

4- Sliding Mode Control

5- Backstopping Design Technique

$\omega_3 = 3, \omega_2 = 2, \omega_1 = 1, C = 0.5, l = 0.25, Mg = 4$   
 $A_1 = A_2 = A_3 = \dots \cdot k \cdot A = \square, \omega_k = 0 (k > 3)$  ،  
 برای نشان دادن رفتار آشوبی ژيروسکوپ با پارامترهای  
 ذکر شده، حالت های  $y$  و  $z$  نسبت به هم با شرایط اولیه  
 $z(0) = 10$  و  $y(0) = -1.2$   $x(0) = -0.5$  در شکل (۲)  
 ترسیم شده اند.



شکل (۲) رفتار آشوبی سیستم ژيروسکوپ با دو درجه آزادی

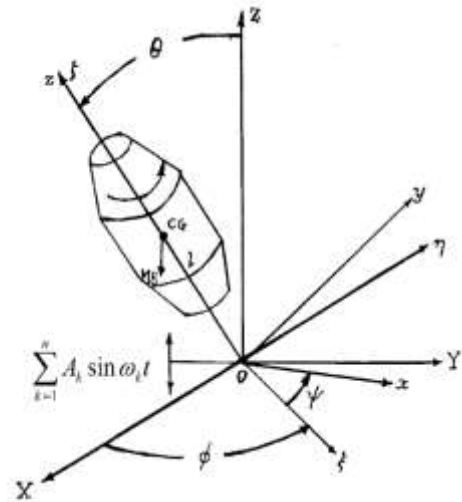
در شکل فوق محورهای افقی و عمودی، به ترتیب مبین  
 حالت های  $y$  و  $z$  را است. با توجه به شکل، رفتار آشوبی  
 سیستم قابل مشاهده است. از آنجاییکه حالت  $x$  مشتق  
 حالت  $y$  است، بنابراین با رسم حالت  $x$  نسبت به  $z$   
 می توان رفتار آشوبی را مشاهده نمود. در یک جمع بندی  
 سیستم ژيروسکوپ مورد مطالعه دارای رفتار آشوبی بوده و  
 بنابراین برای کنترل آن به ناچار باید از روش های  
 غیرخطی مناسب استفاده نمود. یکی از این روش ها، روش  
 کنترل مد لغزشی می باشد که در ادامه به تشریح آن  
 پرداخته خواهد شد.

### ۳- روش کنترل مد لغزشی

در طراحی یک کنترلر مد لغزشی ابتدا باید یک سطح  
 لغزش طراحی کرد. سطح لغزش بیان کننده دینامیک  
 های مطلوب سیستم و تکمیل کننده حرکت سوئیچ کننده  
 قانون کنترل لغزشی (تکمیل قانون کنترل) در تمام نقاط  
 سطح می باشد. هر یک از حالت های بیرون سطح در یک  
 زمان محدود به روی سطح کشیده خواهند شد. معادله  
 ژيروسکوپ مورد نظر در فضای حالت به صورت زیر در نظر  
 گرفته می شود:

$$x = X_1, y = X_2, z = X_3 \quad (۲)$$

می کند) و روتور را مجموعه دوار می گویند. تکیه گاه های  
 طوقه داخلی در طوقه خارجی قرار دارد که می تواند در آن  
 دوران کند. طوقه خارجی نیز به نوبه خود درون تکیه گاه  
 هایی قرار دارد که در بدنه ژيروسکوپ تعبیه شده و  
 می تواند داخل آنها حرکت دورانی داشته باشد. نمودار  
 شماتیک یک ژيروسکوپ با دو درجه آزادی در شکل زیر  
 نشان داده شده است [۱۲].



شکل (۱) شمای یک ژيروسکوپ با دو درجه آزادی

حرکت این سیستم فیزیکی با زوایای اولر،  $\theta, \phi$  و  $\varphi$   
 قابل توصیف می باشد. لرزش پایه با یک هارمونیک  
 چندگانه با معادله  $\sum_{k=1}^n A_k \sin \omega_k t$  قابل بیان می باشد.  
 معادلات حالت سیستم مورد بحث با در نظر گرفتن  
 $x = \theta$  و  $y = \dot{\theta}$  و  $z = \dot{\phi}$  در زیر آورده شده است  
 [۱۴].

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = -\frac{(B_\phi - B_\phi \cos x)(B_\phi - B_\phi \cos x)}{I_1^2 \sin^3 x} \\ -\frac{C}{I_1} y + \frac{Mgl}{I_1} \sin x - \frac{Mg}{I_1} \sum_{k=1}^n A_k \sin \omega_k t \sin x \\ \dot{z} = -\frac{2 \cos x}{\sin x} yz + \frac{B_\phi y}{I_1 \sin x} \end{cases} \quad (۱)$$

در رابطه فوق  $I_1$  ممان اینرسی قطبی،  $Mg$  نیروی  
 گرانش و  $l$  فاصله بین گرانش و نقطه  $O$  می باشد. مقادیر  
 پارامترها برای سیستم ژيروسکوپ مورد مطالعه  
 به این صورت هستند که  $I_1 = 1, B_\phi = 5, B_\phi = 2$

$$S(t) = \sum_{i=1}^n c_i e_i(t) \quad (۷)$$

که در آن  $n$  تعداد متغیرهای حالت می باشد،  $c_i$  ها با توجه به دینامیک سطح لغزش انتخاب می شوند. هر یک از حالات که به سطح لغزش برسند، روی سطح باقی می ماند و اصطلاحاً گفته می شود مد لغزشی اتفاق افتاده است. هنگامی که یک سیستم بر روی مد لغزشی باشد، دینامیک های آن با دینامیک های مد لغزشی کنترل می شود. بنابراین  $c_i$  ها باید طوری انتخاب شوند که مد لغزشی رفتار مطلوبی از سیستم را ارائه دهد [۱۶]. برای بررسی پایداری نیاز به انتخاب تابع لیاپانوف<sup>۳</sup> مناسب می باشد که برقراری شرایط مربوطه، پایداری را تضمین می نماید. تابع لیاپانوف به صورت زیر انتخاب می شود:

$$V = \frac{S^2(t)}{2} \quad (۸)$$

این تابع، معین مثبت است و هدف، این است که مشتقات تابع لیاپانوف، معین منفی باشد و این حالت زمانی محقق می شود که رابطه زیر برقرار گردد:

$$\dot{S}(t) = -K \cdot \text{sgn}(S(t)) \quad (۹)$$

در رابطه فوق،  $K = [k_1 \quad k_2]^T$  بهره ثابت مثبت بوده و  $\text{sgn}(S(t))$  نیز به صورت زیر قابل تعریف است:

$$\text{sgn}(S(t)) = \begin{cases} +1 & \text{if } S(t) > 0 \\ 0 & \text{if } S(t) = 0 \\ -1 & \text{if } S(t) < 0 \end{cases} \quad (۱۰)$$

با مشتق گیری از رابطه (۸) می توان نوشت:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= S(t) \cdot \dot{S}(t) \\ &= -K \cdot S(t) \cdot \text{sgn}(S(t)) \end{aligned} \quad (۱۱)$$

با توجه به وجود سه حالت برای سیستم، مشتق رابطه (۷) نسبت به زمان به صورت زیر است:

با در نظر گرفتن تغییر متغیرهای فوق می توانیم معادله (۱) را به صورت زیر بازنویسی نمود.

$$\begin{cases} \dot{X}_1 = X_2 \\ \dot{X}_2 = F(X) \\ \dot{X}_3 = G(X) \end{cases} \quad (۳)$$

که در آن  $F(X)$  و  $G(X)$  توابع طرف دوم معادله (۱) می باشد. در این تحقیق فرض بر این است که معادله (۳) معادله حاکم بر سیستم اصلی<sup>۱</sup> بوده و هدف طراحی کنترلی می باشد که حالت های مربوط به سیستمی مشابه با سیستم فوق ولی با شرایط اولیه متفاوت را با آن همزمان کند. به سیستم دوم پیرو<sup>۲</sup> نیز اطلاق می شود. معادله سیستم پیرو با در نظر گرفتن تغییر متغیرهای (۴) به صورت (۵) بازنویسی می شود:

$$x = Y_1, y = Y_2, z = Y_3 \quad (۴)$$

$$\begin{cases} \dot{Y}_1 = Y_2 \\ \dot{Y}_2 = F(Y) + U_1 \\ \dot{Y}_3 = G(Y) + U_2 \end{cases} \quad (۵)$$

که در آن  $F(Y)$  و  $G(Y)$  توابع غیرخطی از حالت سیستم و  $U_1$  و  $U_2$  کنترلهای می باشند. طراحی کنترلی به روش مد لغزشی در دو مرحله انجام می پذیرد که عبارتند از:

- ۱- طراحی یک سطح نمایانگر دینامیک های سیستم
  - ۲- تکمیل قانون کنترلی تا اینکه حالات سیستم به روی سطح لغزش کشیده شوند.
- کار اصلی در این روش تعیین قانون کنترل  $u$  می باشد تا اینکه  $Y_i \in R^n$  مقدار مطلوب خود  $X_i \in R^n$  را دنبال نماید. بنابراین خطای حالت را می توان به صورت زیر نشان داد:

$$e_i = Y_i - X_i \quad (۶)$$

با توجه به رابطه (۶)، سطح لغزش در فضای خطای حالت به صورت زیر می تواند در نظر گرفته شود:

شرایط اولیه دو سیستم عبارتند از:

$$X(0) = \begin{bmatrix} -0.5 \\ -1.2 \\ 10 \end{bmatrix}, \quad Y(0) = \begin{bmatrix} -6 \\ -10 \\ 6 \end{bmatrix} \quad (17)$$

همانطور که بیان شده است با توجه به خاصیت آشوبی رفتار سیستم های مذکور پاسخ دو سیستم با یکدیگر اختلاف زیادی داشته و برای همزمان سازی آنها نیاز به فرایند کنترل می باشد. برای گریز از پدیده وزوز<sup>۱</sup> به جای تابع علامت<sup>۲</sup> از تابع اشباع<sup>۳</sup> استفاده شده است، بطوریکه:

$$\text{sat}(S) = \begin{cases} +1 & S(t) > \varepsilon \\ t & -\varepsilon \leq S(t) \leq \varepsilon \\ -1 & S(t) < -\varepsilon \end{cases} \quad (18)$$

نتایج شبیه سازی در شکل های (۳) و (۴) نشان داده شده است. در نتایج ارائه شده کنترلر پس از ۲۰ ثانیه به سیستم اعمال می گردد.

در شکل های (۳) و (۴) نشان داده شده است که پس گذشت حدود ۸ ثانیه از اعمال کنترلر دو سیستم همزمان شده و حالت های سیستم پیرو با خطایی ناچیز (در حد صفر) حالت های سیستم اصلی را تعقیب می کنند. به منظور مقایسه عملکرد روش پیشنهادی، ژيروسکوپ تحت مطالعه این تحقیق با روش PID خود تنظیم (Self Learning) نیز همزمان سازی گردید که خطای خروجی دو روش در شکل (۵) آورده شده است. در این شبیه سازی کنترلر از ثانیه ۲۰ به سیستم اعمال شده و شبیه سازی تا زمان ۴۰ ثانیه انجام شده است.

$$\dot{S}(t) = c_1 \dot{e}_1 + c_2 \dot{e}_2 + c_3 \dot{e}_3 \quad (12)$$

با توجه به رابطه (۶) و معادلات حالت سیستم رابطه (۱۲) را می توان به صورت بازنویسی نمود:

$$\begin{aligned} \dot{S}(t) = & c_1 e_2 \\ & + c_2 [F(Y) - F(X) + U_1] \\ & + c_3 [G(Y) - G(X) + U_2] \end{aligned} \quad (13)$$

با مقایسه رابطه (۱۳) و (۹) می توان رابطه (۱۴) را به سادگی نتیجه گرفت:

$$\begin{aligned} \dot{S}(t) = & \underbrace{c_1 e_2 + c_2 [F(Y) - F(X) + U_1]}_{-k_1 \cdot \text{sgn}(S(t))} \\ & + \underbrace{c_3 [G(Y) - G(X) + U_2]}_{-k_2 \cdot \text{sgn}(S(t))} \end{aligned} \quad (14)$$

از رابطه (۱۴)، سیگنال های کنترلی به صورت زیر به دست خواهند آمد:

$$\begin{aligned} U_1 = & \underbrace{-\frac{k_1}{c_2} \cdot \text{sgn}(S)}_{u_{e1}} \\ & - \underbrace{\frac{c_1}{c_2} e_2 - F(Y) + F(X)}_{u_{eq1}} \end{aligned} \quad (15)$$

و همچنین

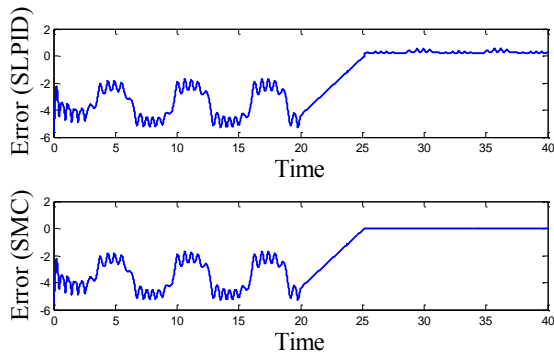
$$\begin{aligned} U_2 = & \underbrace{-\frac{k_2}{c_3} \cdot \text{sgn}(S)}_{u_{e2}} \\ & - \underbrace{G(Y) + G(X)}_{u_{eq2}} \end{aligned} \quad (16)$$

هر کدام از کنترل کننده های ۱۵ و ۱۶ از دو قانون کنترل معادل ( $u_{eq}$ ) و تصحیح کننده ( $u_c$ ) تشکیل شده اند.

#### ۴- نتایج شبیه سازی

در این بخش برای بررسی عملکرد روش کنترل مدل لغزشی بر روی سیستم ژيروسکوپ، دو ژيروسکوپ با دو درجه آزادی و البته با شرایط اولیه نابرابر در نظر گرفته شده است.

- 
- 1- Chattering
  - 2- Signum
  - 3- Saturation



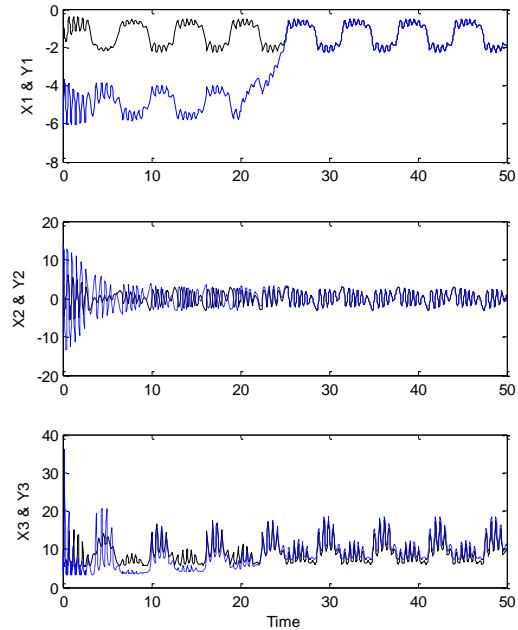
شکل (۵) مقایسه خروجی همزمان شده مربوط به دو ژيروسکوپ با شرایط اولیه نابرابر

### ۵- نتیجه گیری

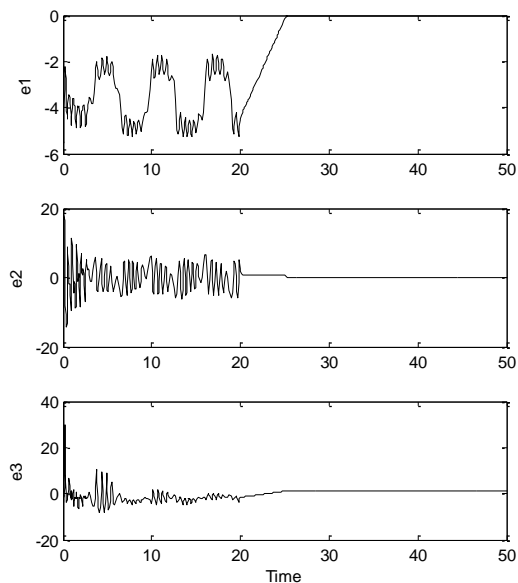
در این تحقیق همزمان سازی دو ژيروسکوپ با دو درجه آزادی و البته با شرایط اولیه نابرابر به روش مد لغزشی مورد بررسی قرار گرفت. رفتار آشوبی این سیستم ها همزمان سازی آنها را مشکل می کند. با شبیه سازی نشان داده شده است که سیستم پیرو با دقت بسیار بالایی سیستم اصلی را تعقیب می کند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش مد لغزشی برای سیستم مذکور روشی کارآمد می باشد و با خطایی بسیار ناچیز می تواند عمل همزمان سازی را انجام دهد.

### ۶- مراجع

- [1] Yau, H. T., "Synchronization and anti-synchronization coexist in two-degree-of-freedom dissipative gyroscope with nonlinear inputs" Vol. 9, pp. 2253-2261, 2008.
- [2] Ge, Z. M., Lee, J. K., "Bifurcation and chaos in a rate gyro harmonic excitation", J. Sound Vib. Vol. 194, pp. 107-117, 2005.
- [3] Chen, H. K., Ge, Z. M., "Bifurcation and chaos of two-degree-of-freedom dissipative gyroscope", Chaos Solitons Fractals, Vol. 24, pp. 125-136, 2005
- [4] Pecora, L. M., Carroll, T. L., "Synchronization in chaotic systems," Phys Rev Lett, vol. 64, pp. 821-824, Feb 19 1990.
- [5] Pecora, L. M., Carroll, T. L., Johnson, G. A., Mar, D. J., Heagy, J. F., "Fundamentals of synchronization in chaotic systems, concepts, and applications," Chaos, vol. 7, pp. 520-543, 1997.



شکل (۳) حالت های همزمان شده مربوط به دو ژيروسکوپ با شرایط اولیه نابرابر



شکل (۴) خطای بین حالت های همزمان شده مربوط به دو ژيروسکوپ با شرایط اولیه نابرابر

همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است، اگر چه روش با زمانی تقریباً نزدیک به هم (حدود ۸ ثانیه) اقدام به همزمان سازی دو سیستم نموده اند، اما روش پیشنهادی با خطایی بسیار ناچیز ( $MSE=0.0001$ ) موفق به ردیابی شده است. این در حالی است که روش PID خود تنظیم با خطایی نسبتاً بیشتر ( $MSE=0.0171$ ) موفق به ردگیری شده است.

conference of mechanical engineering, and European conference on Control, Tenerife, Spain, 2010.

[16] Slotine, J. J., Sastry, S. S., "Tracking control of non-linear systems using sliding surfaces with application to robot manipulators," in American Control Conference, 1983, 1983, pp. 132-135.

[6] Lü, J. and Lu, J., "Controlling uncertain Lü system using linear feedback," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 17, pp. 127-133, 2003.

[7] Park, J. H. and Kwon, O. M., "A novel criterion for delayed feedback control of time-delay chaotic systems," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 23, pp. 495-501, 2005.

[8] Xiao-Qun, W., Jun-An, L., "Parameter identification and backstepping control of uncertain Lü system," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 18, pp. 721-729, 2003.

[9] Roy, R., Murphy, T. W., Maier T. D., Gills, Z., Hunt, E. R., "Dynamical control of a chaotic laser: Experimental stabilization of a globally coupled system," *Physical Review Letters*, vol. 68, pp. 1259-1262, 1992.

[10] Yang, T., "A survey of chaotic secure communication systems," *International Journal of Computational Cognition* vol. 2, pp. 81-130, 2004.

[11] Xiao, M., Cao, J. "Delayed feedback-based bifurcation control in an Internet congestion model," *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 332, pp. 1010-1027, 2007.

[12] Chen, H.-K., Ge, Z.-M., "Bifurcations and chaos of a two-degree-of-freedom dissipative gyroscope," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 24, pp. 125-136, 2005.

[13] Ge, Z. M., Chen, H. K., Chen, H. H., "The regular and chaotic motions of a symmetric heavy gyroscope with harmonic excitation," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 198, pp. 131-147, 1996.

[14] Ge, Z. M. and Lee, J. K., "Chaos synchronization and parameter identification for gyroscope system," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 163, pp. 667-682, 2005.

[15] Khalilzadeh, A. R., Ziabari, M. T., "Control of chaos in nonlinear gyros via optimal backstepping method," presented at the Proceedings of the European conference of chemical engineering, and European conference of civil engineering, and European