

کاهش ارتعاشات بدنه خودرو ناشی از اغتشاش جاده با استفاده از کنترل کننده تطبیقی عصبی - فازی

سپیده حیدری^۱، امین رضائی^۲، مجید نصریان^۳

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابرکوه، heydari.shamila@yahoo.com

۲- دانشگاه تربیت مدرس، ramezani@modares.ac.ir

۳- دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهریز، Naserian2010@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۱

چکیده

در این مقاله ابتدا مدل خطی سیستم تعلیق خودرو انتخاب و شبیه‌سازی و داده‌های لازم جهت آموزش از آن استخراج می‌گردد. در راستای تحقق هدف سیستم تعلیق، با استفاده از روش‌های مرسوم یک کنترل‌کننده PID برای سیستم تعلیق طراحی و از آن جهت آموزش کنترل‌کننده تطبیقی عصبی - فازی (ANFIS) استفاده شود. این سیستم ANFIS با استفاده از خطای خروجی کنترل‌کننده PID به صورت بر خط آموزش می‌بیند و پس از آموزش، کنترل‌کننده از مدار خارج و کنترل‌کننده تطبیقی عصبی - فازی به تنهایی کار کنترل سیستم را به عهده می‌گیرد. در صورت تغییر پارامترهای سیستم تحت کنترل، کنترل‌کننده مجدداً وارد مدار شده و شبکه با استفاده از خطای جدید بار دیگر آموزش می‌بیند. از ویژگی‌های مهم این روش عدم نیاز به مدل ریاضی اجزای سیستم نظیر عملگر، فنر و کمک فنر که همگی غیرخطی هستند و عدم نیاز به ژاکوبین سیستم می‌باشد. در انتهای کار نتایج عملکرد کنترل‌کننده (ANFIS) که با یک کنترل‌کننده PID آموزش می‌بیند با یک کنترل‌کننده تناسبی - مشتقی خالص مقایسه می‌شود.

کلید واژه: سیستم تعلیق، کنترل‌کننده ANFIS.

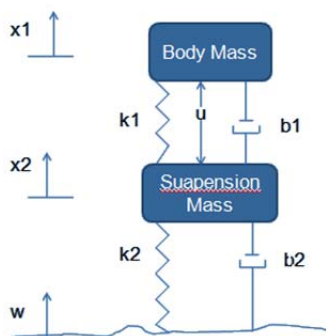
مقدمه

یکی از روش‌های کنترل، کنترل یکپارچه بر روی سیستم ABS و سیستم تعلیق خودرو با کاهش همزمان زمان و فاصله توقف می‌باشد. در این راستا می‌توان از توانایی یادگیری ساختار مربوط به شبکه عصبی فازی T-S استفاده کرد.

برای کاهش زمان محاسباتی الگوریتم‌ها بهره‌گیری از قوانین فازی مفید واقع می‌شود [۳] و [۷]. روش دیگر پیشنهادی برای بهبود عملکرد سیستم تعلیق فعال خودرو، استفاده از منطق فازی برای تنظیم پارامترهای PID و تابع عضویت ورودی کنترل‌کننده فازی بهینه شده با تکنیک DARLA می‌باشد [۲]. همچنین استفاده از کنترل مد لغزشی و مشاهده‌گر اغتشاش برای کنترل سیستم تعلیق نیز کاربرد داشته

سیستم تعلیق، مجموعه فنرها، کمک فنرها و تمام سازوکارهایی است که برای ایجاد راحتی سفر و فرمانپذیری خودرو به کار می‌روند. هر سیستم تعلیق دو هدف کلی دارد: ۱- راحتی سرنشینان ۲- فرمانپذیری و کنترل خودرو. جهت بهبود عملکرد سیستم‌های تعلیق، روش‌های کنترلی متفاوت پیشنهاد شده است که با توجه به وجود عدم قطعیت‌ها و ناشناخته بودن برخی عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم روش‌های کنترلی هوشمند با دارا بودن توانایی لازم در بر خورد با عدم قطعیت بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پژوهش‌های زیادی در جهت کنترل سیستم تعلیق خودرو صورت گرفته است.

است. سیستم‌های تعلیق خودرو یک عملگر هیدرولیکی یا نیروی u را به بدنه خودرو اعمال می‌کند تا از نوسانات خودرو جلوگیری کند. ناهمواری را با ورودی اغتشاشی w نمایش داده‌ایم.



شکل ۱- مدل یک چهارم سیستم تعلیق خودرو

در این سیستم مقادیر پارامترهای فیزیکی را این گونه در نظر می‌گیریم:

$$M_1 = 2500 \text{ kg} \text{ جرم بدنه خودرو}$$

$$M_2 = 320 \text{ kg} \text{ جرم اکسل و سیستم تعلیق}$$

$$K_1 = 80000 \text{ N/m} \text{ ضریب سختی فنر سیستم تعلیق}$$

$$K_2 = 500000 \text{ N/m} \text{ ضریب سختی تایر خودرو}$$

$$b_1 = 350 \text{ N.s / m} \text{ ضریب استهلاک ویسکوز سیستم تعلیق}$$

$$b_2 = 15020 \text{ N.s / m} \text{ ضریب استهلاک تایر خودرو}$$

معادلات حاکم بر سیستم، معادلات نیوتن می‌باشد که با توجه به شکل می‌توان معادلات دینامیکی را به شکل زیر نوشت:

$$\begin{aligned} M_1 \ddot{x}_1 &= -b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_1(x_1 - x_2) + u \\ M_2 \ddot{x}_2 &= b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) \\ &+ b_2(\dot{w} - \dot{x}_2) + k_2(w - x_2) - u \end{aligned} \quad (1)$$

شبیه سازی با کنترل کننده PID

برای طراحی کنترل کننده ANFIS- که یک مدل داده محور می‌باشد- به یک مجموعه n بعدی به عنوان ورودی و یک مجموعه m بعدی متناظر با مجموعه ورودی به عنوان خروجی نیاز است. برای به دست آوردن این اطلاعات در گام اول باید مدل سیستم را شبیه‌سازی کنیم. با استفاده از Simulink در نرم‌افزار Matlab ابتدا سیستم را با کنترل کننده PID شبیه

است [۳]. بهینه‌سازی چند هدفه سیستم‌های تعلیق فعال و نیمه فعال با استفاده از الگوریتم تکاملی صورت گرفته است. هدف این است که به طور همزمان تکان خوردن‌ها و به حداقل رساندن تغییرات شتاب را در فضای داخل خودرو کم شود [۴]. یکی دیگر از روش‌ها به مرور و بررسی هوش محاسباتی مورد بحث سیستم‌های کنترل تعلیق خودرو فعال بر روی مشکلات مطرح شده در پیاده سازی به وسیله خواص نامشخص و غیر خطی خود پرداخته است، حالت سیستم‌های استنتاج فازی، شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک و ترکیب آن برای مسائل مربوط به کنترل تعلیق را جستجو می‌کند [۵].

تطبیق فازی - عصبی مدل لغزشی ANFSMC برای کنترل سیستم تعلیق فعال کامل خودرو می‌باشد. ANFSMC برای تخمین online دینامیک و ارائه پاسخ فیدبک تطبیق داده می‌شود [۶]. در [۸] یک کنترل کننده فازی با کار بروی داده باز خورد بر اساس اندازه‌گیری جرم معلق سرعت تعلیق طراحی شده است. شبکه عصبی RBF خود تنظیم (HSFRBNF) با استفاده از یک تابع اساسی شعاعی شبکه عصبی برای تنظیم نرخ یادگیری و توزیع وزن از یک کنترل کننده فازی خود سازماندهی در زمان واقعی استفاده می‌کند، به عنوان یک جایگزین برای به دست آوردن پارامترها از طریق آزمون و خطا [۹].

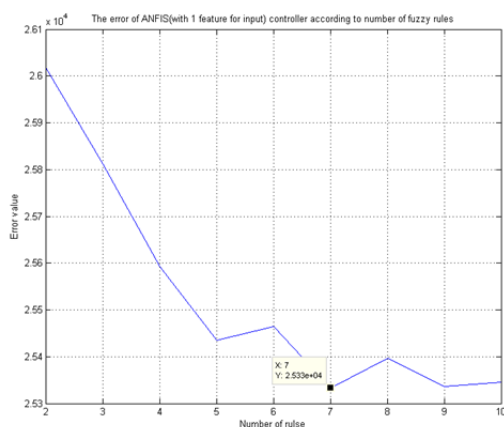
کارهایی که در زمینه سیستم تعلیق انجام شده و مبتنی بر روش‌های هوشمند بوده، کنترل کننده عصبی و کنترل کننده فازی را به صورت جداگانه مورد بررسی قرار داده‌اند، و تا کنون کارهای ترکیبی بیشتر از نوع T-S فازی دیده شده‌اند. در این مقاله مدل دینامیکی خودرو طراحی و داده‌های لازم از آن استخراج می‌گردد و در ادامه طراحی و نتایج شبیه سازی کنترل کننده PID و کنترل کننده ANFIS و مقایسه خروجی دو کنترل کننده انجام گرفته است. نتایج نشان دهنده برتری کنترل کننده ANFIS نسبت به کنترل کننده رقیب می‌باشد.

مدل سازی سیستم تعلیق خودرو

شکل (۱) سیستم تعلیق فعال یک خودرو را نمایش می‌دهد. در این مدل که به مدل یک چهارم خودرو مشهور

شبیه سازی با کنترل کننده ANFIS

در این قسمت به طراحی این کنترل کننده داده محور پرداخته می شود و آن را جایگزین کنترل کننده PID می کنیم. اولین گام، استخراج داده می باشد. در ابتدا ورودی و خروجی کنترل کننده ای که در بخش (۳) طراحی شد را برای طراحی شبکه ANFIS استفاده می کنیم. اصلی ترین پارامتر در طراحی شبکه ANFIS، تعداد قاعده ها می باشد. اصولاً برای انتخاب بهینه تعداد قاعده ها به این صورت عمل می شود که خطای شبکه را به ازای تعداد قاعده های مختلف رسم می کنیم و تعداد قاعده مربوط با کمترین خطا را انتخاب می نماییم.



شکل ۳- مقدار خطای کنترل کننده ANFIS با یک ورودی برای آموزش شبکه فازی- عصبی با توجه به تعداد قاعده ها

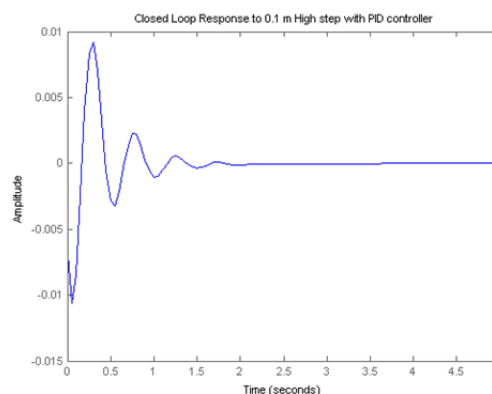
همان طور که در شکل (۳) مشخص است مقدار قاعده بهینه ۷ می باشد که در اعداد قبل از آن *underfitting* و بعد از آن *overfitting* خطا افزایش می یابد.

با توجه به نمودار خطا بر حسب تعداد قاعده ها در کنترل کننده ANFIS با یک ورودی، می بینیم که کمترین خطا در تعداد قاعده ۷ اتفاق می افتد که این مقدار برابر ۲۵۳۳۰ است. حال این کنترل کننده طراحی شده را به جای کنترل کننده کلاسیک PID قرار داده و نتایج خروجی سیستم تعلیق فعال را مشاهده می کنیم. همان گونه که در فصول قبل نیز توضیح داده شد، معیار کارایی کنترل کننده را x_1-x_2 در نظر گرفته ایم. همچنین اغتشاش ورودی به سیستم تعلیق فعال را به صورت شیب دار در نظر می گیریم که یک نوع اغتشاش متداول در

سازی می کنیم.

سپس برای مدل کردن ناهمواری در جاده از تابع پله با ارتفاع ۰/۱ متر استفاده شده است.

با تنظیم ضرایب PID دنبال کنترل کننده ای هستیم که پاسخ دلخواه را برای ما ایجاد کند. بنابراین لازم است با چند بار سعی و خطا و انتخاب ضرایب مختلف KI، KP، KD به پاسخ مطلوب برسیم. هدف ما رسیدن به زمان خیز سریع، حداقل جهش و خطای حالت ماندگار صفر است. با تنظیم مقدار مطلوب ضرایب PID که با رسم نمودار *root locus* به دست می آید، نتیجه زیر حاصل می گردد.

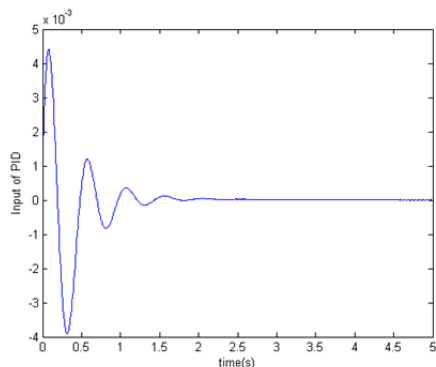


شکل ۲- خروجی کنترل کننده PID با استفاده از ضرایب مطلوب

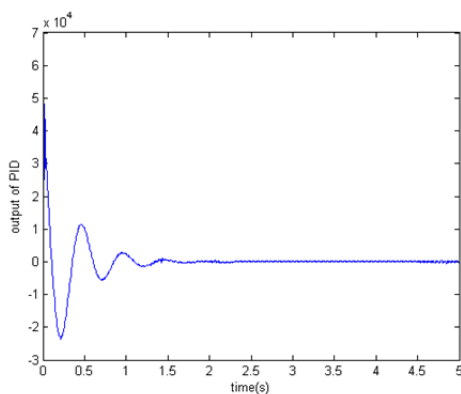
همان طور که از شکل ها برمی آید مقدار جهش و زمان نشست به مقدار مطلوب، رسیده است. حال با توجه به شرایط محیطی متفاوتی که سیستم با آن روبرو است و همچنین پدیده فرسودگی که در تمام سیستم های صنعتی وجود دارد، نیاز به کنترل کننده ای داریم که نسبت به این تغییرات مقاوم بوده و همچنین از پایداری نسبی مطلوبی نیز برخوردار باشد. که کنترل کننده ANFIS، گزینه مناسبی برای جایگزین شدن به جای کنترل کننده PID می باشد. برای راستی آزمایی این موضوع اغتشاشات مختلف به سیستم وارد می کنیم و خروجی سیستم را با دو کنترل کننده ذکر شده در بالا، با هم مقایسه کنیم.

کاهش ارتعاشات بدنه خودرو ناشی از ...

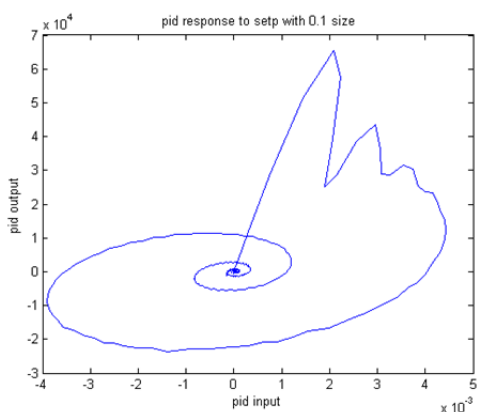
(x_1-x_2) برای آموزش شبکه ANFIS کافی نمی‌باشد لذا از متغیر زمان نیز به عنوان ورودی شبکه استفاده می‌کنیم.



شکل ۶- نمودار ورودی کنترل کننده PID بر حسب زمان



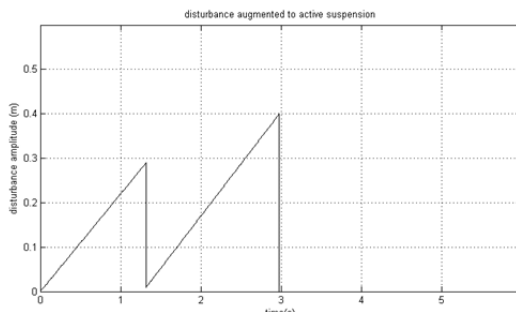
شکل ۷- نمودار خروجی کنترل کننده PID بر حسب زمان



شکل ۸- خروجی کنترل کننده PID بر حسب ورودی

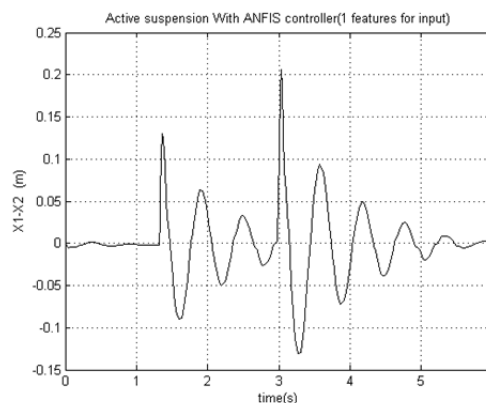
حال با استفاده از دو ورودی (مقدار ورودی کنترل کننده PID و همچنین مقدار زمان در هر Iteration) کنترل کننده جدید را مجدداً طراحی می‌کنیم.

جاده‌ها می‌باشد. که این اغتشاش در شکل زیر نشان داده شده است. در انتها نیز از اغتشاش تابع پالس نیز استفاده می‌کنیم.



شکل ۴- اغتشاش در نظر گرفته شده برای سیستم

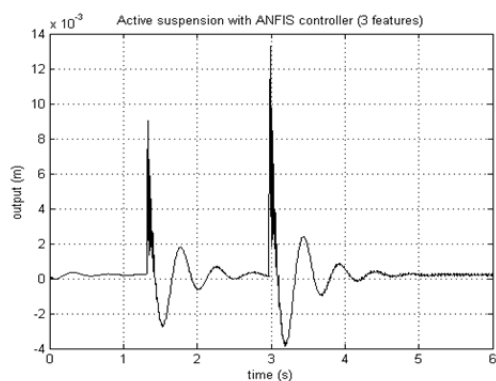
همان‌گونه که در شکل (۴) دیده می‌شود، مقدار بیشینه خروجی سیستم $0/2$ می‌باشد که نسبت به بیشینه تابع اغتشاش ورودی که $0/4$ می‌باشد مقدار زیادی است. یعنی این سیستم نتوانسته که تغییرات اعمال شده به وسیله نقلیه را به خوبی میرا کند و همچنین نوسانات سیستم نیز زیاد می‌باشد که این به معنی آن است که احتمال ناپایدار شدن سیستم زیاد می‌باشد و خروجی سیستم با کنترل کننده طراحی شده در بالا چه از نظر سرعت میرایی سیستم و چه از نظر مقدار خطا، در مقایسه خروجی سیستم با کنترل کننده PID بسیار بدتر می‌باشد.



شکل ۵- خروجی سیستم تعلیق فعال با کنترل کننده ANFIS و یک ورودی برای آموزش شبکه فازی-عصبی

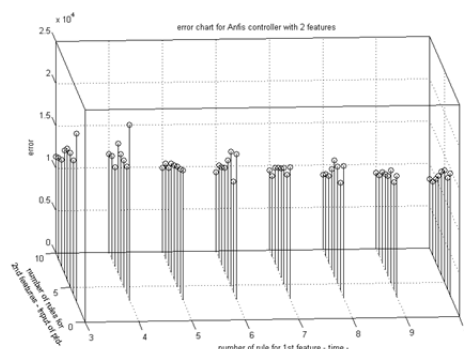
همچنین اگر به شکل (۸) دقت شود، متوجه می‌شویم که رفتار این نمودار- خروجی بر حسب ورودی کنترل کننده PID- به شدت پیچیده است. در نتیجه استفاده از یک ورودی

اگر به شکل (۱۰) توجه شود در می‌یابیم که خروجی سیستم با این کنترل‌کننده بسیار بهتر از حالت قبل می‌باشد. مقدار بیشینه سیستم تقریباً ۰/۰۲ می‌باشد که در مقایسه با حالت قبل بسیار کاهش یافته است ولی در خروجی سیستم خطای ماندگار وجود دارد. همچنین با توجه به مقایسه خطای کنترل‌کننده در دو حالت بررسی شده در بالا، برتری این کنترل‌کننده نسبت به حالت قبل قابل پیش بینی بود. حال برای از بین بردن این خطای جزئی نیز از ۳ ورودی $X1, X2, time$ به عنوان بردارهای ویژگی برای کنترل‌کننده ANFIS استفاده شده است. اگر روال را مانند دو مرحله قبل ادامه دهیم، $3 \times 3 \times 3$ قاعده فازی برای طراحی استفاده شده و تعداد دفعات عبور از روی داده‌ها ۳ بار می‌باشد. ولی از آنجا که نمودار ۴ بعدی می‌شود قابل رسم نمی‌باشد. بعد از آموزش شبکه می‌بینیم که این خطا به مقدار ۶۳۹۰ تقلیل می‌یابد. که این عدد تقریباً معادل ۰/۰۷ مقدار خروجی است که این مقدار، مقدار قابل قبولی می‌باشد. با استفاده از این شبکه ANFIS به جای کنترل‌کننده PID به نتیجه مطلوب می‌رسیم. اغتشاش سیستم را به صورت موج دندان ازه (شکل ۴) در نظر گرفته شده است.



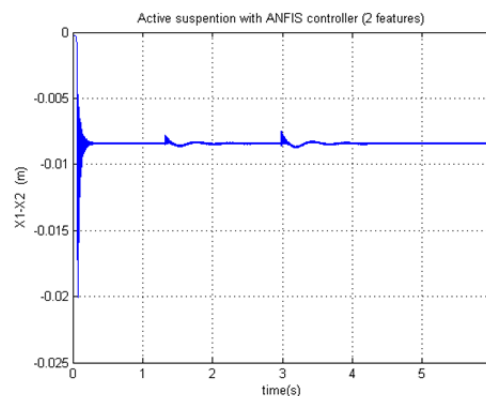
شکل ۱۱- خروجی سیستم تعلیق فعال به ورودی دندان ازه با کنترل‌کننده ANFIS و ۳ ورودی برای آموزش شبکه فازی-عصبی

در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) خروجی سیستم، با دو نوع کنترل‌کننده ANFIS و PID مشاهده می‌شود. این دو نمودار مربوط به پاسخ سیستم با این دو نوع کنترل‌کننده به تغییر



شکل ۹- مقدار خطای کنترل‌کننده ANFIS با دو ورودی برای آموزش شبکه فازی-عصبی با توجه به تعداد قاعده‌ها برای هر ویژگی ورودی

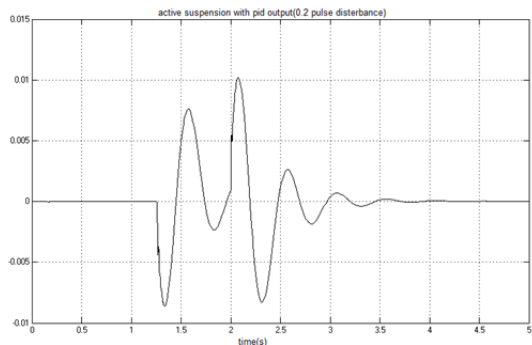
با توجه به نمودار خطا بر حسب تعداد قاعده‌ها در کنترل‌کننده ANFIS با دو ورودی، می‌بینیم که کمترین خطا در تعداد قاعده 10×10 اتفاق می‌افتد که این مقدار برابر است با ۸۰۹۷ ولی با توجه به اینکه تعداد کل قاعده‌ها زیاد می‌باشد در نتیجه پیاده سازی عملی و همچنین کار با چنین کنترل‌کننده‌ای در صنعت بسیار مشکل می‌شود، در نتیجه با کمی پذیرش خطای بیشتر تعداد قاعده مناسب را 8×8 انتخاب می‌کنیم که خطای این کنترل‌کننده با این تصمیم جدید ۱۰۳۰۵ می‌باشد. حال این کنترل‌کننده طراحی شده را به جای کنترل‌کننده کلاسیک PID قرار داده و نتایج خروجی سیستم تعلیق فعال را مشاهده می‌کنیم. معیار کارایی کنترل‌کننده را $x1-x2$ در نظر گرفته‌ایم.



شکل ۱۰- خروجی سیستم تعلیق فعال با کنترل‌کننده ANFIS و دو ورودی برای آموزش شبکه فازی-عصبی

کاهش ارتعاشات بدنه خودرو ناشی از ...

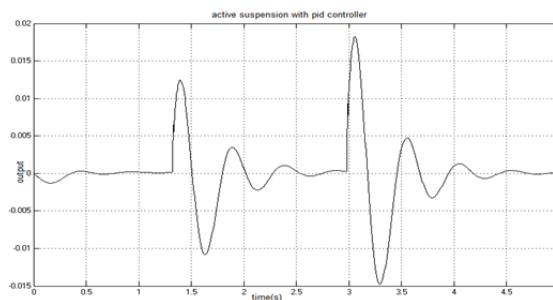
همان‌طور که در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) مشخص است، overshoot سیستم با کنترل کننده فازی-عصبی تقریباً نصف این مقدار در حالت کار با کنترل کننده PID می‌باشد. که این از مزایای اصلی کنترل کننده‌های فازی-عصبی است.



شکل ۱۵- پاسخ سیستم تعلیق فعال با کنترل کننده PID به تابع پالس به اندازه ۰/۲ متر و مدت ۱ ثانیه

در اندازه‌گیری و همچنین کنترل فرایندهای صنعتی مشکلات فراوانی وجود دارد و این سیستم‌ها در طول زمان در حال تغییرات می‌باشند. این تغییرات دلایل عمده‌ای از جمله تغییر شرایط آب و هوایی، تغییر کیفیت محصول ورودی و پدیده فرسوده شدن و پیری فرایند می‌باشد. با توجه به دلایلی که گفته شد، پارامترهای سیستم در حال تغییر می‌باشند. در کنترل کننده‌های مدل محور، در زمان طراحی کنترل کننده از پارامترهای نامی سیستم استفاده می‌شود. ولی به دلایل گفته شده در بالا این پارامترها تغییر یافته و کنترل کننده بر اساس آن تغییر نکرده است. این امر موجی می‌شود که کارایی کنترل کننده کاهش یابد. ولی کنترل کننده‌های فازی-عصبی با توجه به الگوریتم‌های آموزش و همچنین ماهیت این نوع شبکه‌ها تا حدود زیادی نسبت به این تغییرات مقاوم می‌باشند در ادامه پاسخ سیستم تعلیق فعال، با دو نوع کنترل کننده ANFIS و PID آورده شده است. دمپر b2 بنا به هر یک از دلایل گفته شده در بالا مانند فرسودگی یا تعویض دمپر جدید با دمپر قبلی پارامتر آن ۳۰٪ تغییر کرده است.

اغتشاش ورودی است.

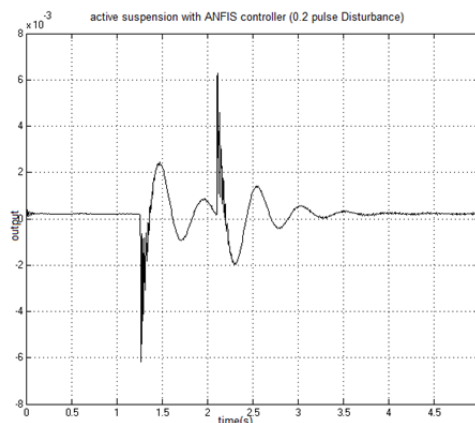


شکل ۱۲- خروجی سیستم تعلیق فعال به ورودی دندان اره با کنترل کننده PID

اگر دو پاسخ فوق را با یکدیگر مقایسه کنیم متوجه می‌شویم که سیستم با کنترل کننده ANFIS با سه ورودی سریع‌تر از سیستم با کنترل کننده PID می‌باشد. همچنین از نظر پایداری سیستم و همچنین مقدار زمان نشست وضعیت بهتری دارد. از طرفی سرعت میرا کردن اغتشاش نیز بالاتر است.

مقایسه کنترل کننده PID با کنترل کننده ANFIS:

حال از تابع پالس استفاده می‌کنیم که این تابع تقریباً شبیه اغتشاشات جاده‌ای می‌باشد. در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) خروجی سیستم، با دو نوع کنترل کننده ANFIS و PID مشاهده می‌شود. این دو نمودار مربوط به پاسخ سیستم با دو نوع کنترل کننده به تابع پالس به عنوان اغتشاش ورودی است.

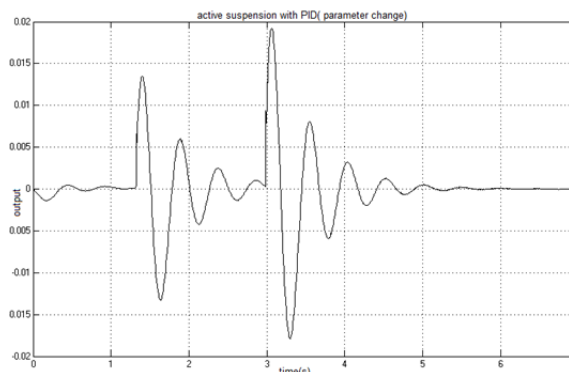


شکل ۱۴- پاسخ سیستم تعلیق فعال با کنترل کننده ANFIS به تابع پالس به اندازه ۰/۲ متر به مدت ۱ ثانیه

بودن کنترل کننده ANFIS این کنترل کننده نسبت به تغییرات پارامتر و اغتشاش تا حدود زیادی مقاوم می باشد. در روش های هوشمند اثبات پایداری بر اساس ریاضی امکان پذیر نیست یا اگر اثبات پایداری شود به سختی و در یک محدوده ی خاص انجام می گردد. ما با استفاده از تکرار شبیه سازی، محدوده ای را برای پایداری سیستم بر حسب پارامترها پیدا کردیم.

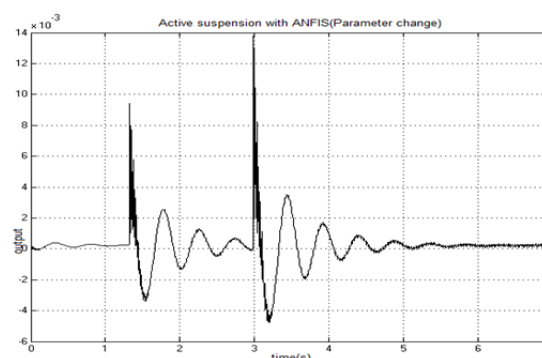
مراجع

1. Shun, fengsu & ming, chang-chen & wei, yenwang, 2012, "Hierarchical T-S fuzzy – neural control of anti – lock braking system and active suspension in a vehicle", Elsevier, Automatica 48 (2012)1698-1706.
2. Ebrahimi, N & Gharaveisi, A, 2012, " optimal Fuzzy Supervisor controller for an active suspension system", international journal of soft computing and engineering CIJSCE, ISSN 2231-2307, volume-2, Issue-4, September 2012.
3. Ahmad Ansari, faraz & Taparia, Rajshree, 2013, " modeling, Analysis and control of active suspension system using sliding mode control and Disturbance observer", international jornal of scientific and Research publications, volume3, Issue1, January 2013.
4. Bourmis Trou, A & Storey, I & Subic, A, 2010, "Multiobjective optimization of active and semi – Active Suspension system with application of Evolutionary Algorithm ", pp.47-85.
5. Cao, Jiangtao & liu, Hong hai& li, ping & Brown, David. J, 2008, "State of the Art in Vehicle active suspension andaptive control systems Based on Intelligent Methodologies", IEEE trnsactions on intelligent transportation systems, vol. 9, no. 3 ,September 2008
6. Qamar, shahid & khan, Tariq & khan, lai, 2012, " adaptive neuro – fuzzy sliding mode control based strategy for active suspension control", 2012 10 th international IEEE conference on frontiers of in formation technology.
7. Chen, mingchang & yen wang, wei, fengsu, shun & Hsingchien, Yi, 2012, " Robust T-S fuzzy – neural control of uncertain active suspension system, international journal of fuzzy syetem", vol. 12, No. 4 ,December 2010.
8. Devdutt & Aggarwal, M.L, 2012, " Fuzzycontrol of semi –active quarter car



شکل ۱۶- پاسخ سیستم تعلیق فعال با کنترل کننده PID با $b_2=10020$

همان طور که در شکل (۱۶) مشاهده می شود، مقدار نوسانات سیستم نسبت به حالت نامی قبل افزایش چشم گیری داشته است در صورتی که اگر به شکل (۱۷) دقت کنیم، می بینیم که پاسخ کنترل کننده ANFIS نسبت به PID بسیار بهتر می باشد. همچنین از تابع نشان داده شده در شکل (۴) به عنوان اغتشاش در سیستم تعلیق فعال استفاده شده است.



شکل ۱۷- پاسخ سیستم تعلیق فعال با کنترل کننده ANFIS با $b_2=10020$

نتیجه گیری

در این مقاله مدل دینامیکی انتخاب و شبیه سازی شد. یک کنترل کننده PID طراحی و از خطای کنترل کننده جهت آموزش کنترل کننده ANFIS استفاده شد. در انتهای کار نتایج کنترل کننده ANFIS با کنترل کننده PID مقایسه شد. هدف رسیدن به زمان خیز سریع – حداقل جهش بود که این نتایج حاصل شد. در بررسی نتایج مشاهده گردید که: همواره Overshoot در کنترل کننده ANFIS نسبت به PID بهتر است. به دلیل تطبیقی

Organizing Fuzzy and Radial Basis –Function Neural – Network Controller For Active Suspension Systems", InternationnalJornal of Innovative Computing in Formation and control, volume7.Number6, June 2011.

suspension system with MR damper ", proceedings of the national confence on trends and advances in mechaniclengineering, YMCAUniversity of Scince& Technology, Faridabad,Haryana,Cot 19-20,2012.

9. Lin, Jeen&Itan,Ruey, 2011, "Hybrid Self-