



# عیب‌یابی سیستم تعلیق فعال خودرو با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی عملگر هیدرولیکی و ملاحظه اختلال در کنترلر

مجید معاونیان<sup>۱</sup>، مهدی شهاب<sup>۲</sup>، امیر مهدی پاشایی نژاد<sup>۳</sup>

دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده مهندسی مکانیک

Amir\_pashaenezhad@yahoo.com

## چکیده

اهمیت شناسایی عیب به سبب اینکه با شناسایی درست و به موقع عیب می‌توان از کاهش بازده فرآیند و تولید و یا حتی از کار افتادگی یک سیستم جلوگیری کرد، نمود خاصی می‌یابد. در این مقاله عیب‌یابی سیستم تعلیق فعال خودرو با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی عملگر هیدرولیکی و اختلال در کنترلر مورد تحقیق است. ابتدا مدل‌سازی سیستم در محیط شبیه‌سازی نرم افزار MATLAB انجام شده سپس برای کنترلر طراحی شده عیب‌یابی سیستم به همراه پارامترهای کنترلر توسط شبکه‌های عصبی-فازی انجام گرفته است.

واژه‌های کلیدی: عیب‌یابی - سیستم تعلیق فعال - کنترلر - شبکه‌های عصبی - فازی

## مقدمه

امروزه تقاضا برای امنیت و آسایش خاطر و اعتماد بیشتر به وسیله مورد استفاده، بسیار زیاد و از ضروریاتی است که طراح هر سیستمی باید آن را جزء اساسی‌ترین پارامترهای مورد نظر خود قرار دهد و این امر با تشخیص به موقع هر گونه عیب میسر نخواهد شد. پیشرفت تکنولوژی و تقاضا برای راحتی بهتر در رانندگی باعث شده است که اکثر کمپانی‌های خودروسازی از سیستم تعلیق فعال در خودروهای خود استفاده کنند. از نظر کیفیت عملکرد سیستم‌های تعلیق خودرو به سه دسته طبقه‌بندی میشوند. سیستم‌های تعلیق غیرفعال، که از فنر و دمپر معمولی ساخته شده است و با وجود عملکرد مناسب به دلیل داشتن خواص ثابت، نمی‌توان از کنترل فیدبک برای آن استفاده کرد و لذا به خوبی پاسخگوی تغییر شرایط نمی‌باشد. سیستم‌های تعلیق نیمه فعال که در این سیستم‌ها اتلاف انرژی بصورت بلادرنگ کنترل می‌شود. در این نوع سیستم تعلیق از دمپر فعال به عنوان المان کنترل کننده میزان استهلاک سیستم به موازات فنر استفاده می‌شود. در سیستم‌های تعلیق فعال برای کنترل

<sup>۱</sup> - استادیار، عضو هیئت علمی دانشگاه

<sup>۲</sup> - کارشناس ارشد مکانیک

<sup>۳</sup> - کارشناس ارشد مکانیک

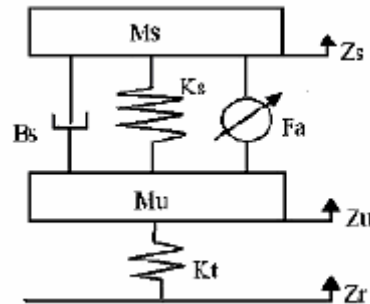
دقیق میزان ارتعاشات خودرو از عملگر هیدرولیکی یا نیوماتیکی استفاده می‌شود که بموازات فنر و دمپر قرار داده می‌شوند و با استفاده از اطلاعات حاصل از ارتعاشات بدنه، استراتژی مناسب کنترل اعمال می‌شود. طراحی سیستم‌های فعال تعلیق خودرو موضوع بسیاری از تحقیقات صنعت خودرو در جهان می‌باشد. در این تحقیقات مدل‌های متنوعی از خودرو شامل  $1/4$  و  $1/2$  و مدل کامل خودرو در نظر گرفته شده است، در حالیکه رفتار غیر خطی عملگر هیدرولیکی سیستم در نظر گرفته نشده است. این در حالیست که آزمایشات عملی اهمیت رفتار غیر خطی عملگر را در تعیین مصالحه مناسب در سیستم تعلیق خودرو نشان می‌دهد. در سیستم تعلیق پارامترهای زیادی از قبیل جابه‌جایی بدنه، جابه‌جایی سیستم تعلیق، شتاب وارد به بدنه، اغتشاشات داخلی ناشی از ترمز، نیروی وارد بر محورها و غیره برای بهینه شدن وجود دارد. از بین پارامترها شتاب وارد به بدنه و جابه‌جایی سیستم تعلیق از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. زیرا شتاب مستقیماً روی آسایش سرنشینان و جابه‌جایی سیستم تعلیق در عمر و سلامت سیستم و همچنین راحتی سرنشین موثر است. کنترلر طراحی شده از نوع کنترلر مقاوم بروش ثنوری فیدبک کمی (QFT) می‌باشد. در این مقاله عیب‌یابی سیستم تعلیق فعال خودرو با مدل  $1/4$  و با در نظر گرفتن اثرات غیر خطی عملگر هیدرولیکی و اختلال در کنترلر مورد تحقیق قرار گرفته است. برای کاهش رفتار غیر خطی از فیدبک موازی استفاده شده است. بهره‌گیری از این روش عملکرد سیستم را خطی نموده و امکان کمی‌سازی عدم قطعیت را به فرم نامعینی ضریبی ایجاد نموده است و عملکرد سیستم حلقه بسته در پاسخ به اغتشاشات تصادفی جاده مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که علیرغم رفتار غیر خطی عملگر با بکارگیری این روش کنترلی به مصالحه مطلوبی بین راحتی سفر و حرکت اجزا سیستم تعلیق می‌توان دست یافت.

از اوایل دهه ۱۹۷۰ مسئله ردیابی و تشخیص عیب در فرآیندهای صنعتی مورد توجه واقع شده و تاکنون تعداد زیادی از روش‌های مبتنی بر مدل‌های تحلیلی و روش‌های مبتنی بر دانش و داده استفاده شده‌اند. تحقیقات اولیه مبتنی بر مدل‌های تحلیلی بوده است. در این روش‌ها با استفاده از ابزارهای ریاضی مدل فرآیند شبیه‌سازی و بر پایه آن کار ردیابی انجام می‌شود. ولی در این میان، عدم قطعیت‌های ناشی از مدلسازی که به واسطه خطی‌سازی، صرفنظرها، تغییرات پارامترهای فرآیند، نویز و اغتشاشات بوجود می‌آید، باعث ناکارآمدی سیستم عیب‌یابی (FDI) شده و موجبات اعلام هشدارهای نادرست در باره وجود عیب را فراهم می‌آورد. عموماً در طراحی سیستم‌های عیب‌یابی با یک چالش روبرو هستیم و آن نیاز به حساسیت بالای سیستم در برابر عیب و همچنین مقاومت بالای آن در برابر عدم قطعیت‌های سیستم می‌باشد. به همین دلیل تحقیقات برای استفاده از شبکه‌های عصبی و منطق فازی شکل گرفت. در حال حاضر روش‌های مبتنی بر مفاهیم محاسبات نرم به عنوان روش‌های قدرتمندی در طراحی سیستم‌های عیب‌یابی محسوب می‌شوند، به همین دلیل در این تحقیق یک روش موثر و کارآمد برای عیب‌یابی سیستم تعلیق فعال خودرو ارائه شده است. بمنظور استفاده از تواناییهای شبکه‌های عصبی در آموزش سیستم وقابلیتهای سیستم فازی در استدلال تقریبی، از سیستم‌های فازی-عصبی و تکنیک‌های خوشه‌سازی فازی، در طراحی سیستم عیب‌یابی استفاده شده است. ورودی به این سیستم، ویژگی‌های استخراج شده از داده‌های باقیمانده بوده و خروجی سیستم موقعیت عیب می‌باشد. [۱ و ۲ و ۳]

## مدل سازی

### مدل سازی سیستم تعلیق خودرو

در این بخش به مطالعه مدل خطی سیستم تعلیق خودرو (مدل  $1/4$ ) می‌پردازیم. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، بدنه خودرو توسط یک جرم قابل ارتجاع (sprung mass)،  $M_s$  و تجهیزات تعلیق بوسیله یک دمپر و فنر با ضرایب  $B_s$  و  $K_s$  به ترتیب، مدل می‌شود. همچنین چرخ خودرو با استفاده از یک جرم غیر قابل ارتجاع (unsprung mass) و یک فنر با ضریب  $K_f$  مدل می‌شود. میزان جابه‌جایی بدنه و چرخ خودرو در راستای عمودی به ترتیب  $Z_s$  و  $Z_u$  می‌باشد.  $Z_r$  ورودی اغتشاشی جاده و  $F_a$  نیروی عملگر هیدرولیکی می‌باشد.



شکل ۱- سیستم تعلیق فعال

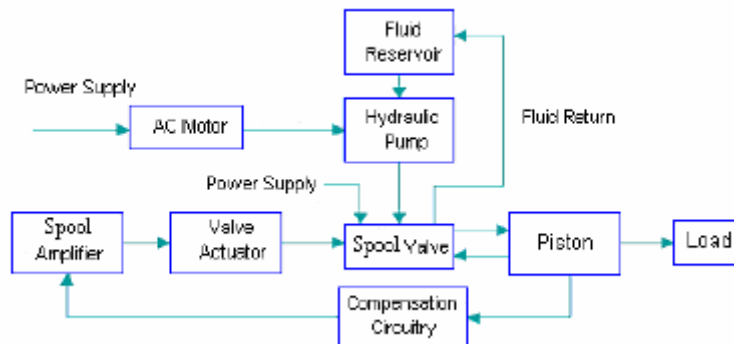
با استفاده از قوانین نیوتن معادلات دیفرانسیل حاکم بر سیستم به شرح زیر می‌باشد:

$$M_s \ddot{Z}_s + K_s(Z_s - Z_u) + B_s(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) - F_a = 0 \quad (1)$$

$$M_u \ddot{Z}_u + K_t(Z_u - Z_r) + K_t(Z_u - Z_s) + B_s(\dot{Z}_u - \dot{Z}_s) + F_a = 0$$

### مدل محرک هیدرولیکی

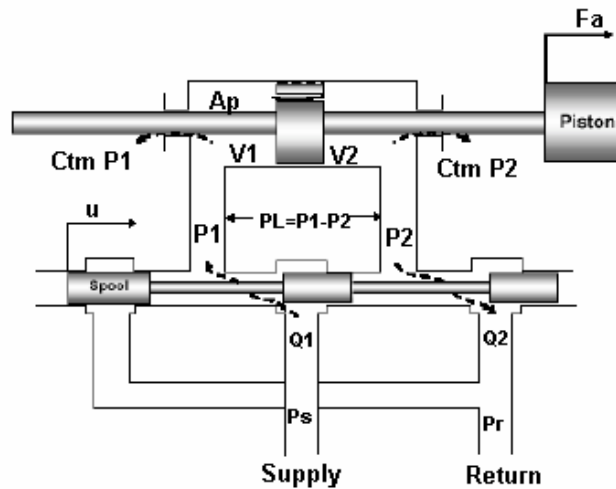
مجموعه کامل محرک هیدرولیکی شامل پنج قسمت مهم می‌باشد که عبارتند از: شیر سوزنی هیدرولیکی برقی (electro hydraulic powered spool valve)، پیستون-سیلندر، پمپ هیدرولیکی، مخزن آب و سیستم لوله‌کشی که در شکل ۲ مشخص است.



شکل ۲- مجموعه کامل محرک هیدرولیکی

برای درایو پمپ هیدرولیکی از طریق یک موتور AC، همچنین جهت کنترل موقعیت شیر سوزنی نیاز به منبع تغذیه می‌باشد. وظیفه پمپ هیدرولیکی حفظ فشار منبع (تولیدی) در سطح بهینه (حدود  $20684 \text{ kN/m}^2$ ) می‌باشد. موقعیت شیر سوزنی میزان سیال ورودی یا خروجی به پیستون-سیلندر را کنترل می‌کند که در حقیقت بیان کننده میزان نیروی ایجاد شده توسط محرک می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است با تغییر موقعیت شیر سوزنی می‌توان اختلاف فشاری در دو طرف  $V_1$  و  $V_2$  ایجاد کرد. این اختلاف فشار در سطح  $A_p$  ایجاد نیروی محرکه  $(F_a)$  لازم را خواهد کرد.  $(F_a = P_L \times A_p)$



شکل ۳- نمودار فیزیکی و متغیرهای محرک هیدرولیکی

بنابراین می‌توان گفت که تغییر نیرو متناسب با تغییر موقعیت شیر سوزنی از مرکزش می‌باشد. موقعیت شیر سوزنی بوسیله یک شیر تیغه‌ای با یک جریان الکتریکی ورودی مستقیم ( $u$ ) کنترل می‌شود. مطابق آزمایشات انجام شده، دینامیک شیر سرو (servo valve) که شامل شیر تیغه‌ای و سوزنی است، دارای سه قطب ناشی از زیرسیستم‌های هیدرولیکی، مکانیکی و الکتریکی می‌باشد. اما قطب غالب مربوط به زیرسیستم هیدرولیکی آن بوده و در نتیجه با یک سیستم درجه یک مدل می‌شود که ثابت زمانی این سیستم درجه یک از طریق آزمایش تعیین می‌شود. [۴]

$$\dot{x}_v = \frac{1}{\tau}(-x_v + u) \quad (2)$$

در رابطه (۲)،  $x_v$  موقعیت شیر،  $\tau$  ثابت زمانی سیستم و  $u$  جریان الکتریکی ورودی به شیر است. معادله دینامیکی حاکم بر رفتار غیر خطی محرک به صورت زیر می‌باشد: [۵]

$$\dot{F}_a = A_p \alpha C_d \omega x_v \sqrt{\frac{P_s - \text{sgn}(x_v) P_L}{\rho}} - A_p \alpha C_{tm} P_L - A_p^2 \alpha (\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) \quad (3)$$

در رابطه (۳)،  $P_s$  فشار منبع،  $A_p$  مساحت پیستون،  $\omega$  پهنای شیر کنترل و  $\rho$  چگالی سیال می‌باشد.  $C_d = 0.7$ ،  $C_{tm} = 15 \times 10^{-12}$  و مقادیر عملی سایر پارامترها در جدول ۱ آمده است. بنابراین اگر محرک هیدرولیکی را به عنوان یک سیستم در نظر بگیریم، ورودی این سیستم  $u$  و خروجی آن  $F_a$  خواهد بود.

### نمایش فضای حالت سیستم

با انتخاب متغیرهای حالت به صورت  $x_1 = Z_s - Z_u$ ،  $x_2 = \dot{Z}_s$ ،  $x_3 = \dot{Z}_u$ ،  $x_4 = Z_u$ ،  $x_5 = P_L$  و  $x_6 = x_v$ ، نمایش فضای حالت سیستم به شکل زیر نشان داده می‌شود:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 - x_4 \\ \dot{x}_2 &= \frac{1}{M_s}(-k_s x_1 - B_s(x_2 - x_4) + A_p x_5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \\
 x_3 &= x_4 \\
 \bullet \\
 x_4 &= \frac{1}{M_u} (k_s x_1 + B_s (x_2 - x_4) - k_t (x_3 - Z_r) - A_p x_5) \\
 \bullet \\
 x_5 &= -\beta x_5 - A_p \alpha (x_2 - x_4) + \gamma x_6 \sqrt{P_s - \text{sgn}(x_6) x_5} \\
 \bullet \\
 x_6 &= \frac{1}{\tau} (-x_6 + u)
 \end{aligned} \tag{۴}$$

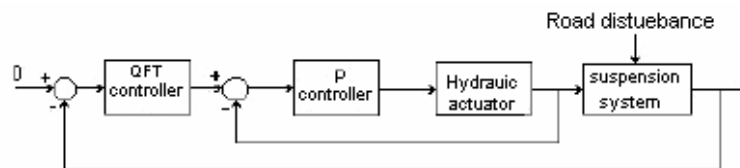
در نمایش فضای حالت سیستم  $\beta = \alpha C_{tm}$  و  $\gamma = \alpha C_d \omega \sqrt{\frac{1}{\rho}}$  می‌باشد. مقادیر عملی پارامترها در جدول زیر آمده است. [۶]

جدول ۱- مقادیر عملی پارامترها

پارامتر	مقدار	واحد	پارامتر	مقدار	واحد	پارامتر	مقدار	واحد
$M_s$	۲۹۰	kg	$A_p$	۰.۰۰۴۴	$m^2$	$\gamma$	۲۱۵۱۶۰	$N/m^{5/2} Kg^{1/2}$
$M_u$	۵۹	Kg	$P_s$	۲۰۶۸۴	$kN/m^2$	$\omega$	۰.۰۰۸	m
$k_s$	۱۶۸۱۲	N/m	$\alpha$	۲۲۷۳۰۰۰	$kN/m^5$	$\rho$	۳۵۰۰	$kg/m^3$
$K_t$	۱۹۰۰۰۰	N/m	$\beta$	۰.۰۳۴	$N/m^2$	$\tau$	۰.۰۰۱	Sec

## طراحی کنترلر

ساختار کنترل را باید به گونه‌ای در نظر گرفت که دینامیک غیرخطی سیستم که از ماهیت فیزیکی محرک هیدرولیکی ناشی می‌شود، کاهش یابد. بدین منظور از دو حلقه فیدبک استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، از حلقه فیدبک داخلی به منظور خطی‌سازی رفتار غیرخطی محرک هیدرولیکی و از حلقه فیدبک خارجی برای کنترل سیستم تعلیق استفاده می‌شود.



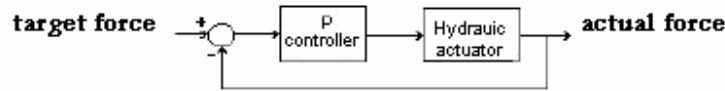
شکل ۴- ساختار کنترلی سیستم

## طراحی حلقه فیدبک داخلی

در حلقه فیدبک داخلی از یک کنترلر تناسبی استفاده شده است. این کنترلر به نحوی عمل می‌کند که خروجی محرک هیدرولیکی، خروجی کنترلر حلقه خارجی<sup>۱</sup> را ردیابی کند. (شکل ۵) در شکل ۵، Target force نیرویی است که ما انتظار

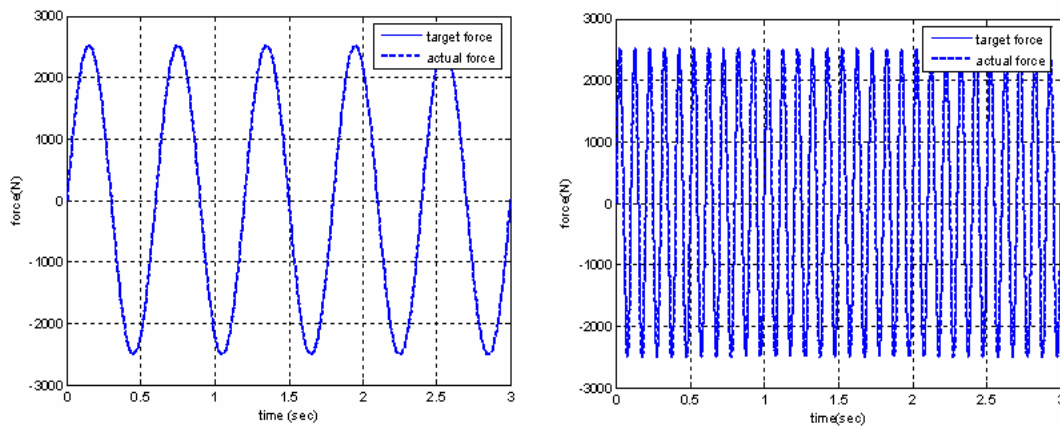
<sup>۱</sup> منظور از کنترلر حلقه خارجی، QFT controller می‌باشد که در شکل ۴ مشخص است.

داریم به سیستم تعلیق اعمال شود (کنترلر QFT این نیرو را ایجاد می‌کند) و **actual force** نیرویی است که در عمل به سیستم تعلیق اعمال می‌شود. در این مقاله بهره کنترلر تناسبی ۰،۰۱ انتخاب شده است.



شکل ۵- ردیابی سیگنال کنترل در حضور محرک هیدرولیکی

در شبیه‌سازی انجام شده در این بخش، از شکل موج سینوسی به جای نیروی اعمالی کنترلر QFT استفاده شده است. به دلیل این‌که خروجی کنترلر QFT به نحوی است که شدت تغییرات آن نسبت به زمان زیاد نیست. به عبارت دیگر منحنی نیروی اعمالی کنترلر QFT، یک منحنی نرم (smooth) است.



شکل ۶- ردیابی نیرو در حلقه داخلی در فرکانس‌های ۱۰ Hz و ۱

## طراحی حلقه فیدبک خارجی

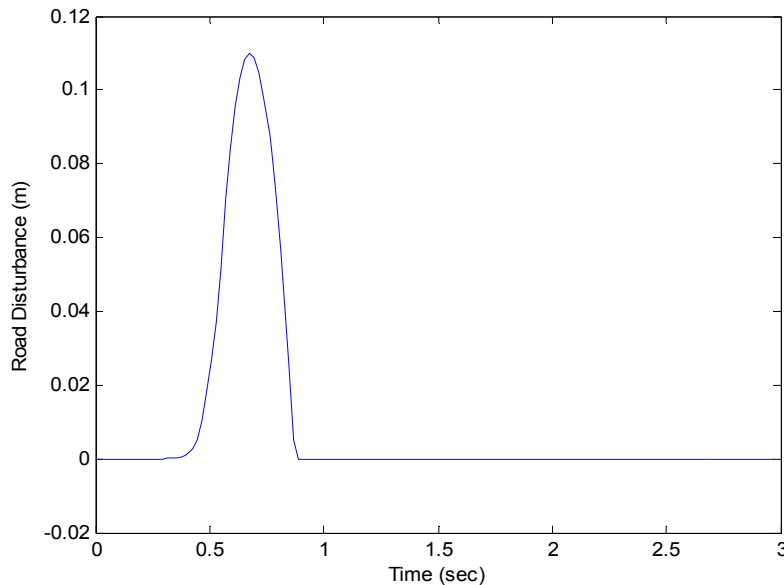
اهداف کنترلر راحتی سرنشین و افزایش عمر سیستم تعلیق می‌باشد راحتی سرنشین با کم کردن شتاب عمودی وارد به بدنه قابل دستیابی است و افزایش عمر سیستم تعلیق با پرهیز از عبور از حد مجاز حرکتی سیستم تعلیق قابل دستیابی است. با طراحی باند مناسب در خروجی سیستم اثر تداخل حلقه از بین رفته و مساله از حالت چند ورودی چند خروجی به صورت یک ورودی یک خروجی تبدیل می‌شود. برای این کار مدل غیر خطی سیستم را توسط تئوری فیدبک کمی به مجموعه سیستم‌های خطی ثابت با زمان تبدیل می‌کنیم. در این روش ایده اصلی، تبدیل تابع تبدیل سیستم مدار بسته به یک ماتریس مسلط قطری می‌باشد [۷]

در نهایت کنترلر طراحی شده بر اساس روش QFT به شکل زیر می‌باشد:

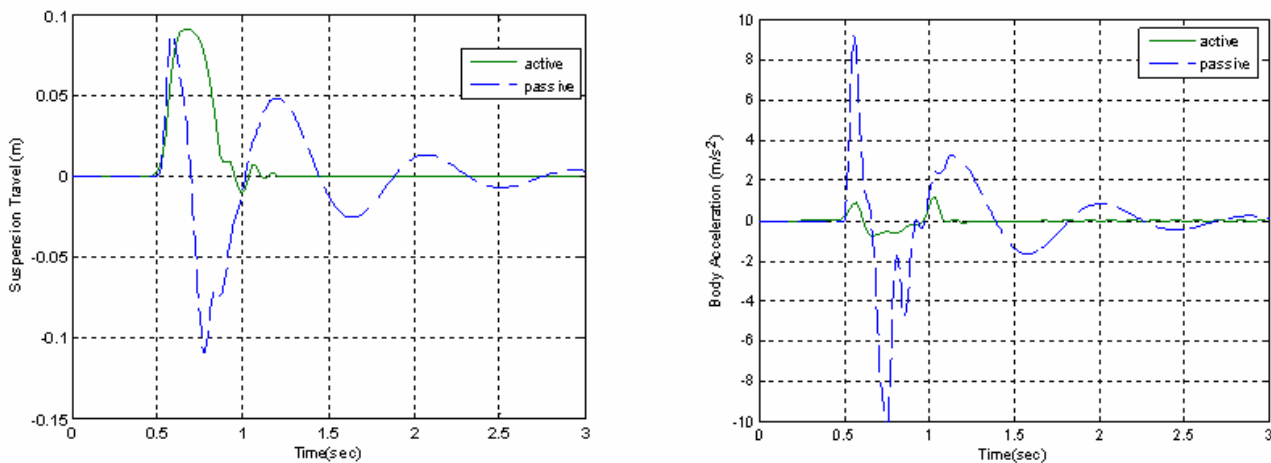
$$K(s) = \frac{47310s^5 + 1348 \times 10^4 s^4 + 116 \times 10^7 s^3 + 4018 \times 10^7 s^2 + 5566 \times 10^8 + 2579 \times 10^9}{s^5 + 4934s^4 + 9564 \times 10^2 s^3 + 1893 \times 10^3 s^2 + 133.5s + 189.3} \quad (5)$$

## نتایج شبیه‌سازی

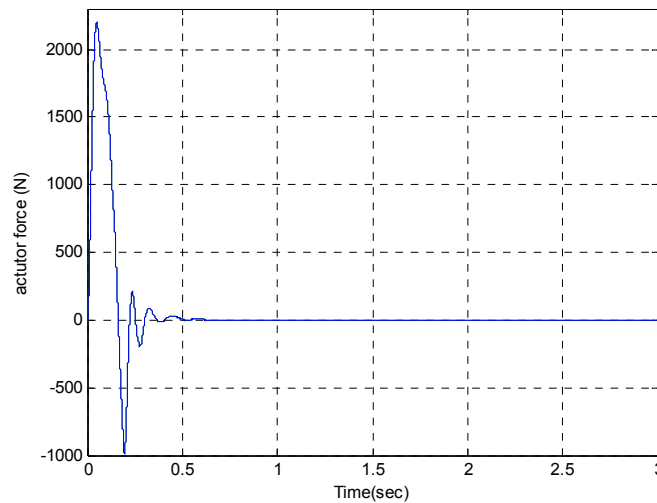
در شبیه‌سازی انجام شده، سیگنال اغتشاشی جاده به شکل مرسوم آن در نظر گرفته شده است که در شکل ۷ نمایش داده شده است. شبیه‌سازی برای دوره زمانی ۳ ثانیه صورت گرفته است. در شکل ۸ شتاب بدنه و انحراف تعلیق ( $Z_s - Z_u$ ) در سیستم فعال با غیر فعال آن مقایسه شده است. در جدول ۲ مقایسه دقیقتری صورت گرفته است. در شکل ۹ سیگنال کنترل (خروجی کنترلر QFT) نمایش داده شده است.



شکل ۷- سیگنال اغتشاشی جاده -  $Z_r$



شکل ۸- مقایسه عملکرد سیستم فعال و غیرفعال



شکل ۹- سیگنال کنترل

جدول ۲- مقایسه دقیق عملکرد سیستم فعال با غیرفعال

	شتاب بدنه ( $m/s^2$ )		انحراف تعلیق (m)	
	مقدار ماکزیمم	زمان نشست (S)	مقدار ماکزیمم	زمان نشست <sup>۱</sup> (S)
فعال	۱،۱۸	۱،۲۵	۰،۰۹۱	۱
غیرفعال	۹،۲	۴،۹	۰،۰۹	۳،۲

### سیستم عیب یاب

رویکرد گسترده و رو به رشد صنایع به استفاده از روشهای نوین تعمیرات و نگهداری، مبین کارآمدی این شیوه‌ها در کاهش هزینه‌ها و افزایش کارآیی و عمر قطعات است. از این رو شایسته است برای کاهش هزینه‌های تعمیرات از روشهای جدید عیب‌یابی و مونیتورینگ استفاده کنیم.

روش عمومی عیب‌یابی بر پایه مدل، در سیستمها به شرح زیر است:

- مدل کردن وضعیت نرمال سیستم (در غیاب هر گونه عیب)
- تولید باقیمانده، یعنی اختلاف سیگنالهای مربوط به سیستم واقعی و مدل اسمی سیستم، که این سیگنالها می‌توانند خروجی سیستم، متغیرهای حالت، پارامترهای سیستم و یا ترکیبی از آنها باشند.
- اگر اختلاف مشاهده شده قابل توجه باشد، اعلام بروز عیب در سیستم

مراحل فوق در طراحی سیستم عیب‌یاب استفاده شده است. وضعیت نرمال سیستم را می‌توان با توجه به شرایط آن و با استفاده از روشهای شناسایی و یا استفاده از مدل شبیه‌سازی شده تعیین کرد. برای تعیین موقعیت و اندازه عیب از سیستم

<sup>۱</sup> منظور از زمان نشست، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا نوسانات متغیر تقریباً میرا شود.



تصمیم‌گیری عصبی-فازی (ANFIS) استفاده شده است. ساختار نرم افزار طراحی شده دارای انعطاف پذیری بالایی است، امکان اعمال تغییرات در اطلاعات پایه ای نرم افزار مانند حدود مجاز، مقادیر نرمال و بحرانی پارامترها وجود دارد. همچنانکه گفته شد اغتشاش جاده بعنوان ورودی و شتاب بدنه، نیروی اعمالی به تایلر و جابجایی سیستم تعلیق خروجیهای سیستم محسوب می شوند که در صورت امکان می توان از سیگنالهای مربوط به سرعت بدنه، سرعت سیستم تعلیق، شتاب سیستم تعلیق نیز استفاده کرد. تعداد خروجیهای سیستم و اینکه کدامیک از آنها تعیین شوند بستگی به عواملی مانند شکل سیگنالهای باقیمانده، امکانات و شرایط اندازه گیری سیگنالها و غیره دارد. استفاده از نمونه های سیگنالهای باقیمانده به عنوان دیتای ورودی به شبکه، باعث حجیم شدن شبکه، طولانی شدن مراحل آموزش شبکه، وابستگی شدید نتایج به دامنه سیگنال و حساسیت زیاد نتایج به نویز می باشد. به همین منظور، برای تشخیص عیوب در پارامترهای سیستم، از ویژگیهای برجسته هر سیگنال به عنوان علائم عیوب از هر باقیمانده استخراج میشود. این ویژگیها که نسبت به بقیه تاثیر بیشتری دارند عبارتند از:

- مقدار بیشینه هر باقیمانده
- مقدار کمینه هر باقیمانده
- مقدار میانگین باقیمانده
- انحراف معیار سیگنال
- چولیدگی (Skewness) سیگنال
- کشیدگی (Kurtosis) سیگنال [8,9]
- استفاده از جعبه ابزار موجک و مشخصه های فرکانس سیگنال (این انتخاب برای بالا بردن میزان دقت سیستم انجام شده است).

در مورد نحوه انتخاب ویژگیهای سیگنالها، می توان از سیگنالهای باقیمانده برای هر یک از پارامترها و توابع عضویت فازی برای سیستم تصمیم گیر بهره گرفت. با داشتن سیگنالهای باقیمانده مربوط به خروجی ها و بسته به تعداد ویژگیهای گرفته شده از هر سیگنال، تعداد ویژگیهای برای هر کدام از پارامترهای سیستم مشخص می شود که در مرحله بعد از آنها برای ساخت سیستم تصمیم گیر و تشخیص عیوب استفاده می کنیم.

برای تشخیص موقعیت و اندازه عیوب، با استفاده از خروجی قسمت قبل (علائم عیوب) یک سیستم مبتنی بر قوانین عصبی-فازی برای تخمین موقعیت عیوب طراحی شده است.

با توجه به اینکه باقیمانده ها را بگونه ای کاملا ساختار یافته و مقاوم نمی توان از فرآیندهای راستین بدست آورد، باید از روشهای پیچیده برای ارزیابی آنها بهره جست. عیبهای همسان شاید نشانه های گوناگونی بر روی باقیمانده ها داشته باشند در این حالت نشانه ها باید به حالت های گوناگون یک عیب بستگی داشته باشند. این نارسایی را می توان با بکارگیری از روشهای پیشرفته دسته بندی مانند دسته بندی های مبتنی بر منطق فازی و شبکه های عصبی بر طرف نمود.

## ساختار سیستم عصبی-فازی ANFIS

بمنظور استفاده از تواناییهای شبکه های عصبی در آموزش سیستم و قابلیت های سیستم فازی در استدلال تقریبی، از سیستمهای عصبی-فازی و تکنیکهای خوشه سازی فازی، در طراحی سیستم عیب یاب استفاده شده است [۱۰]. ابتدا باید یک مجموعه قانون به سیستم معرفی نمود، سپس سیستم در طول آموزش، شکل توابع عضویت در قسمت فرض و نیز پارامترهای قسمت نتیجه قوانین را بهینه می کند.

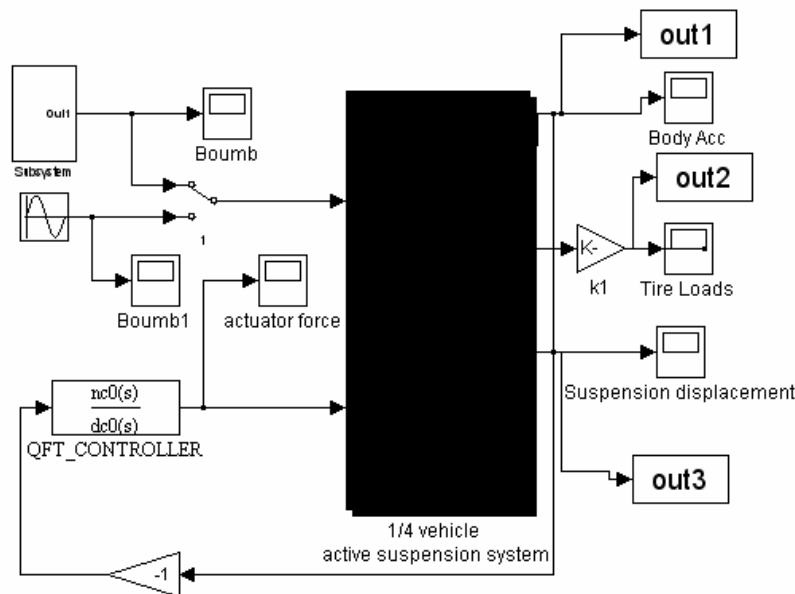
مسئله ای که در مدل ANFIS بایستی مورد توجه قرار گیرد، یافتن داده های مورد نیاز مناسب برای سیستم می باشد، تا بتوان توابع عضویت مناسب و قوانین اگر-آنگاه مناسب برای آن انتخاب نمود. علائم مشخصه عیب که در مرحله قبل بدست آمده

است به عنوان ورودی این سیستم‌های تصمیم‌گیری محسوب می‌شوند. در صورت تعلق این مشخصه‌ها به یک کلاس از عیوب، خروجی سیستم عددی که نمایانگر عیب مربوطه است را مشخص خواهد کرد. [۱۱ و ۱۲]

### شناسایی عیب توسط شبکه‌های عصبی-فازی

ابتدا توسط نرم‌افزار MATLAB مدل سیستم شبیه‌سازی شده سپس از این مدل برای شناسایی و آموزش به شبکه عصبی-فازی استفاده می‌شود. شکل (۱۱) نشان‌دهنده مدل در محیط Simulink می‌باشد. ورودی سیستم، اغتشاش جاده و خروجی‌های آن شتاب بدنه، نیروی اعمالی به تایر و جابجایی سیستم تعلیق می‌باشد. نکته مهم در عیب‌یابی بر مبنای مدل، درستی و جامعیت مدل می‌باشد. به عبارتی هر چه سیستم شبیه‌سازی شده به سیستم واقعی نزدیکتر باشد، عیب‌یابی نیز به همان نسبت دقیقتر انجام خواهد گرفت و هر چه تاثیر پارامترهای بیشتری در مدل در نظر گرفته شود، عیوب قابل تشخیص، افزایش می‌یابند. از آنجا که تفاوت مهم سیستم تعلیق فعال با غیر فعال در وجود کنترلر است لذا عیب‌یابی این سیستم پیچیده‌تر و جامع‌تر می‌باشد زیرا عیوب مربوط به اختلال در کنترلر را هم می‌توان شناسایی نمود که در نوع خود بحث بسیار جدیدی است که در این زمینه کار زیادی انجام نشده است.

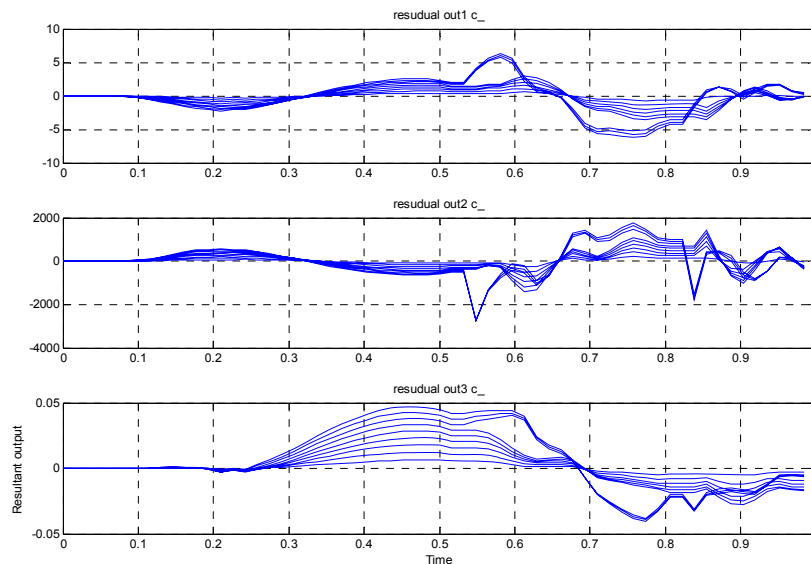
همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود از سه خروجی مدل برای تولید سیگنال‌های باقیمانده استفاده می‌شود. پارامترهای مورد نظر برای عیب‌یابی در این سیستم سختی فنر سیستم تعلیق، سختی تایر، ثابت دمپر جرم معلق و غیر معلق، سطح پیستون، فشار و پارامترهای مربوط به کنترلر (صورت و مخرج کسر تابع تبدیل کنترلر) می‌باشد.



شکل (۱۱) مدل شبیه‌سازی سیستم تعلیق فعال

اطلاعات ورودی به نرم‌افزار شامل انتخاب مدل و ورودی‌های آن، زمان شبیه‌سازی و نمونه برداری، تعیین تعداد و نوع پارامترها، تعیین خروجی‌های سیستم و تعیین ویژگی‌های قابل استفاده از هر سیگنال می‌باشد. از آنجا که عیوب سیستم بسته به نوع پارامترهای مسئله و ماهیت آن، دارای اندازه‌های متفاوت هستند، بازه تغییرات در آنها قابل تنظیم می‌باشد. سیگنال‌های مربوط

به باقیمانده‌ها در بازه تغییرات اعمال شده، به ترتیب برای هر یک از پارامترها رسم میشوند. بعنوان نمونه سیگنالهای باقیمانده برای پارامتر ثابت دمپر در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل (۱۲) - سیگنالهای باقیمانده مربوط به پارامتر ثابت دمپر

تعداد ورودیهای سیستم تصمیم گیر، با توجه به تعداد ویژگیهای استخراج شده از سیگنالها و تعداد خروجی های تعیین شده برای سیستم، مشخص می شوند. تعداد توابع عضویت نیز با توجه به تعداد پارامترهای مسئله و بازه تغییرات اعمال شده برای هر یک از پارامترها تعیین می گردد. نتایج تست سیستم برای ردیابی عیوب در اجزاء سیستم برای تعداد ۸ پارامتر در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- دقت تخمین زده شده برای پارامترهای سیستم

پارامتر	تعداد تغییرات در پارامتر	عیب شناسایی شده	دقت سیستم
پارامتر ۱	۱۰۰	۹۷	٪۹۷
پارامتر ۲	۱۲۵	۱۲۲	٪۹۷/۶
پارامتر ۳	۱۰۰	۹۷	٪۹۷
پارامتر ۴	۱۰۰	۹۹	٪۹۹
پارامتر ۵	۱۲۰	۱۱۴	٪۹۵
پارامتر ۶	۱۱۰	۱۰۸	٪۹۸
پارامتر ۷	۱۱۰	۱۰۶	٪۹۶/۳۶
پارامتر ۸	۱۱۰	۱۰۷	٪۹۷/۲۷
میانگین دقتها = ٪۹۷/۱۵			



## نتیجه گیری

در این مقاله پس از بدست آوردن مدل دینامیکی، کنترلر بهینه مقاوم برای مدل یک چهارم خودرو طراحی شد. با مدلسازی سیستم ۱/۴ خودرو و در نظر گرفتن رفتار غیر خطی عملگر هیدرولیکی سیستم، نشان داده شده است که برای رسیدن به عملکرد مطلوب در سیستم بایستی از ساختار فیدبک موازی بهره برد. در این ساختار از یک کنترل کننده تناسبی در حلقه داخلی استفاده شده است که ردیابی نیروی عملگر را به خوبی نتیجه می دهد و از کنترل کننده QFT در حلقه خارجی استفاده شده است.

در نهایت عیب یابی سیستم تعلیق فعال خودرو با استفاده از شبکه های عصبی فازی مورد بحث قرار گرفته است. عیب یابی سیستم با در نظر گرفتن عیب در کنترلر انجام شده است که در تمامی موارد دقت سیستم بالای ۹۵٪ میباشد. با استفاده از این نرم افزار میتوان تمامی عیوب فیزیکی سیستم شامل سختی فنر، ضریب دمپر، پارگی لاستیک و همچنین عیوب مربوط به اختلال در کنترلر را شناسایی نمود.

## مراجع

- 1- Detlef Nauck, Frank Klawonn, Rudolf Kruse, 1997, Foundations of Neuro-fuzzy systems, John Wiley and Sons Ltd
- 2- Roger Jang, Jyh-shing, 1993, Anfis: Adaptive-Network-Based Fuzzy inference system, IEEE transactions on systems, Man, and cybernetics, vol.23, No.3
- 3- M. sushmita, H. Yoichi, 2000, Neuro-Fuzzy Rule generation: survey in soft computing framework, IEEE transactions on neural networks, vol.11, No.
- 4- A. Alleyne, J. K. Hedrick, "Nonlinear adaptive Control of active suspensions", *IEEE Trans. on Control systems Technology*, Vol.3. No.1. pp.94 -101, 1995.
5. H. E. Merritt, "Hydraulic control systems", New York: Wiley, 1967. 5-
- 6- M.D. Donahue, Implementation of an Active Suspension and Preview Controller for Improved Ride Comfort. University of California at Berkeley: MSc. Theses, 2001.
7. Ching cheng c. et. al, " Quantitative Feedback Design of uncertain Multivariable control systems
8. C.K Sung., C.W.Chen ,2000 ,Locating Defects of a Gear System by the Technique of Wavelet Transform, Mechanism and Machine Theory, New York, McGrawHill
9. Michel Misiti Yves, Misiti Georges Oppenheim, Jean Michel Poggi, 2004, Wavelet Toolbox User's
10. Guide , the Math works, Inc, version 2.2
11. M. sushmita, H. Yoichi, 2000, NeuroFuzzyRule generation : survery in soft computing framework, IEEE transactions on neural networks, vol.11, No.3
12. 11. Roger Jang, Jyhshing, 1993, Anfis : Adaptive -Network - Based Fuzzy inference system, IEEE
13. transactions on systems, Man, and cybernetics, vol 23, No.3
14. 12. Detlef Nauck, Frank Klawonn, Rudolf Kruse, 1997, Foundations of NeuroFuzzysystems, John Wiley and Sons Ltd