

## استفاده از کنترلر فازی در سیستم کروز<sup>۱</sup>

سید حسین منوری<sup>۲</sup>، محمود سعادت فومنی<sup>۳</sup>

دانشکده فنی مهندسی \_ دانشگاه سمنان

Hossein\_Monavari@yahoo.com

### چکیده

سیستم کنترل کروز سیستمی است که برای ثابت نگه داشتن سرعت خودرو در مسافت‌های طولانی و یکنواخت بر روی خودروها نصب می‌شود و برای جلوگیری از خستگی راننده در کنترل پدال گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. عوامل متعددی همچون وزش باد و یا شیب‌های جاده ممکن است باعث تغییر سرعت خودرو گردند که کنترلر طراحی شده باید بر این اغتشاشات فائق آید. در این مقاله ابتدا مدل ساده‌ای از قوای محرکه خودرو تهیه گردیده تا حرکت خودرو در جهت طولی با توجه به وضعیت جاده شبیه‌سازی شود. مقادیر مورد نیاز در این مدل از آزمایش‌های تجربی بر روی یک خودروی خاص بدست آمده است. سپس نحوه عملکرد دو کنترلر PID و فازی در کنترل کروز مورد مقایسه قرار گرفته است.

### واژه‌های کلیدی: کنترل کروز - کنترلر PID - کنترلر فازی

### معرفی علامتها

$S_V$ : سرعت خودرو،  $S_W$ : سرعت باد،  $A_f$ : سطح عمود بر جریان هوا،  $M_V$ : جرم خودرو،  $\alpha$ : شیب جاده،  $\rho_{air}$ : چگالی هوا،  $C_D$ : ضریب درگ،  $C_r$ : ضریب اصطکاک چسبندگی،  $S_{Vd}$ : سرعت طراحی،  $\eta_i$ : راندمانها،  $R_W$ : شعاع دینامیکی چرخ،  $bmp$ : فشار موثر متوسط ترمزی،  $\forall_d$ : حجم جابجایی سیلندر،  $BSFC$ : مصرف مخصوص سوخت

### مقدمه

سیستم کنترل کروز، سیستمی است که بر روی خودروها نصب می‌شود و برای ثابت نگه داشتن سرعت خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از این سیستم بر روی خودروهای معمولی، طراحی و تولید شده توسط کمپانی میتسوبیشی است. البته سیستم برای اولین بار توسط کمپانی جنرال موتورز و سپس فورد بر روی اتومبیل‌های گران قیمت نصب گردیده و نام اصلی آن تامپومات است. این سیستم با استفاده از تنظیم دریچه گاز، سرعت خودرو را ثابت نگه داشته و راننده را از کنترل پدال گاز در اتوبانهای طولانی راحت می‌سازد. برای حفظ ایمنی، چنانچه پای راننده بر روی پدالهای ترمز و گاز قرار گیرد سیستم از مدار خارج می‌گردد.

منطق فازی فن آوری نوینی برای ارزیابی راه حلهای جدید جهت طراحی سیستمهای کنترل غیر خطی و چند پارامتری است که بجای ارزیابی یک مدل ریاضی برای فرآیند از دانش انسانی و نتایج آزمایشی حاصل از عملکرد صحیح فرآیند برای ایجاد و تبیین استراتژی کنترلی مناسب استفاده می کند که حاصل آن در اغلب موارد عملکردی سریعتر و دقیقتر از شیوه های کنترلی مرسوم می باشد. بعلاوه استفاده از منطق فازی در طراحی سیستمهای کنترلی و پیاده سازی آنها بر روی میکروکنترلرهای استاندارد باعث صرفه جویی در حجم کدهای کنترلی ایجاد شده و بدنبال آن افزایش سرعت و کارایی سیستم می شود.

## تهیه مدلی از خودرو

گام اول برای طراحی کنترلر سرعت خودرو، مدل کردن خودرو در شرایط جاده و بدست آوردن معادلات حاکم بر آن است. نیروهای اعمال شده بر خودرو در حالت شتابگیری شامل: مقاومت هوا، نیروی مقاومت غلتشی، نیروی شیب جاده و نیروی لازم برای شتابگیری خودرو خواهد بود. با در نظر گرفتن سرعت باد، روابط حاکم بصورت زیر بدست خواهد آمد:

$$F = F_R + M_V \cdot \dot{S}_V \quad (1)$$

$$F_R = F_D + F_r + F_S \quad (2)$$

$$F_R = \frac{1}{2} \rho_{air} \cdot C_D \cdot A_f \cdot (S_V - S_W)^2 + C_r \cdot M_V \cdot g \cdot \cos \alpha + M_V \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

$$F = (C_r \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot M_V \cdot g + \frac{1}{2} \rho_{air} \cdot C_D \cdot A_f \cdot (S_V - S_W)^2 + M_V \cdot \dot{S}_V \quad (4)$$

در روابط فوق (F) نیروی اعمال شده بر سر چرخ است که توسط موتور خودرو تأمین می گردد. با توجه به اجزای قوای محرکه (شکل (۱)) این نیرو به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$T_e = \left( \frac{W_D}{W_e} \right) \cdot \frac{T_W}{\eta_G \cdot \eta_P \cdot \eta_D \cdot \eta_W} \quad (5)$$

$$T_W = F \cdot R_W \quad (6)$$

$$T_e = \left\{ \left( \frac{W_D}{W_e} \right) \cdot \frac{R_W}{\eta_t} \right\} \cdot F \quad (7)$$

با داشتن نسبت تبدیلهای گیربکس و دیفرانسیل، روابط زیر بدست خواهد آمد:

$$\frac{W_e}{W_D} = N_G \cdot N_D = N_t \quad (8)$$

$$S_V = R_W \cdot N_t \cdot W_e \quad (9)$$

$$S_V (km/hr) = \left( \frac{2\pi R_W}{60 N_t} \right) \cdot 3.6 N_e (rpm) \quad (10)$$

رابطه زیر نشان می دهد که با کمک فشار موثر متوسط ترمزی می توان گشتاور را در موتورهای چهار زمانه محاسبه کرد:

$$T_e = \frac{bmep \cdot \nabla_d}{4\pi} \quad (11)$$

در این رابطه فشار موثر متوسط ترمزی خود تابعی از دور موتور و موقعیت دریچه گاز است که این مقادیر از آزمایشات تست موتور بصورت داده های حقیقی در دسترس می باشد. در نتیجه گشتاور تولیدی موتور تابعی از میزان بازشدگی دریچه گاز و دور موتور است:

$$T_e(N, \theta) = T_{e_{\max}}(N) \cdot f(\theta) \quad (12)$$

که در آن  $f(\theta)$  یک تابع همواره بین صفر و یک است که از طریق تجربی بدست می آید. در این مقاله این توابع مستقیماً از نتایج تست موتور بدست می آید تا از خطاهای احتمالی در مدل‌های تئوری تا حد امکان کاسته شود. با اعمال روابط بدست آمده و با استفاده از دیاگرام بلوکی شکل (۲) مدل خودرو بدست خواهد آمد.

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می شود ورودی سیستم شامل: موقعیت دریچه گاز، شرایط جاده و هوا (رابطه ۴) و مشخصات خودرو است و خروجی سیستم شامل: سرعت خودرو و در نتیجه دور موتور (رابطه ۱۰) می باشد.

مدل خودرو، دقیقاً شرایطی را که راننده در خودرو حس می کند و با آن روبرو است، شبیه سازی می کند. بدین صورت که راننده با اعمال فشار بر پدال گاز در دنده ای خاص و درجاده و شرایط آب و هوایی روبرو با آن، انتظار رسیدن به سرعت بالاتر را دارد و نحوه شتابگیری را حس می کند. این جزییات در مدل خودرو کاملاً لحاظ شده و قابل رویت است. با استفاده از مدل خودرو می توان، اثر تغییر در پارامترهای مختلف خودرو را بر نحوه عملکرد آن مورد بررسی قرار داد که این پارامترها می تواند شامل تغییرات ضریب درگ، وزن خودرو، راندمان سیستمهای انتقال قدرت، شعاع دینامیکی چرخ و غیره باشد. با این روابط نیروهای مقاوم و محرک خودرو را در شبیه‌های مختلف می توان محاسبه و نمایش داد (شکل ۳).

## طراحی کنترل کننده

حال با داشتن مدل خودرو می توان قدم در طراحی کنترلی برداشت که هدف مورد نظر ما را تامین کند. این کنترلر است که سرعت مطلوب را با تنظیم دریچه گاز میسر خواهد کرد. دیاگرام بلوکی شکل (۴) راهنمایی برای رسیدن به این هدف است.

دیاگرام بلوکی (شکل ۴) یک کنترلر حلقه بسته یا همراه با فیدبک است که وظیفه ثابت نگه داشتن سرعت را در نقطه طراحی بر عهده دارد. کنترلر می تواند شامل کنترلر خطی PID یا کنترلر فازی باشد. کنترلر فازی یکی دیگر از کنترلرها است که در دهه های اخیر مورد استفاده قرار می گیرد که بدلیل دقت بالا و قیمت نسبتاً ارزان آن و هماهنگی بیشتر با ذهن انسان نسبت به کنترلرهای دیگر، مورد توجه است. سعی بر آن شده تا علاوه بر طراحی کنترلر فازی، اهمیت و برتری این کنترلر، در مقایسه با کنترلر PID نشان داده شود.

یکی از مهمترین قسمت‌های طراحی سیستمهای کنترلی خطی PID، تعیین مناسب پارامترهای کنترلر است. تنظیم سیستم و رسیدن به بهترین رفتار، تعریفی است که همه عوامل مثبت مورد نظر از قبیل افزایش پایداری سیستم و کاهش مقدار خطای حالت ماندگار سیستم در آن نهفته است. کنترلر PID شامل سه قسمت تناسبی، مشتق گیر و انتگرال گیر می باشد. بنابراین برای طراحی این کنترلر نیاز به تعیین ثابتهای کنترلرهای تناسبی ( $K_p$ )، مشتق گیر ( $K_D$ ) و انتگرال گیر ( $K_I$ ) است. با توجه به مشاهده رفتار سیستم و بهینه سازی، ثابتهای سیستم بصورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$K_p = 0.15 \quad , \quad K_D = 4.5 \quad , \quad K_I = 0.0001 \quad (13)$$

شکل (۵) کنترلر PID را بر روی خودرو مورد نظر نشان می دهد. از روی شکل، ورودیها و خروجیهای کنترلر و سیستم را می توان مشاهده کرد.

سیستمهای فازی، سیستمهای مبتنی بر دانش یا قواعد می باشند. قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر - آنگاه فازی تشکیل شده است. یک قاعده اگر - آنگاه فازی یک عبارت اگر - آنگاه بوده که بعضی کلمات آن بوسیله توابع تعلق پیوسته مشخص شده اند. بطور خلاصه، نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی بدست آوردن مجموعه ای از قواعد اگر - آنگاه فازی از دانش افراد خبره یا دانش حوزه مورد بررسی می باشد. در شکل (۶) ساختار منطق فازی سیستم کنترل کروز ارایه شده است.

این سیستم از دو متغیر، ورودی شتاب و خطای سرعت و یک متغیر خروجی تحت عنوان موقعیت دریچه گاز تشکیل شده است که هر کدام از آنها دارای پنج حالت و تابع عضویت هستند. سیستم منطق فازی فوق همچنین دارای یک بلوک قوانین و استنتاج فازی با هفده قانون که شامل کلیه قوانین لازم جهت تعریف استراتژی و نحوه عملکرد سیستم است، می باشد. قوانین بر اساس دانش مهندس طراح سیستم، بصورت جدول (۱) تعریف شده است.

جدول (۱) قوانین فازی استفاده شده در کنترلر فازی

Error	VP	P	P	P	P	P	Z.	Z.	Z.	Z.	Z.	N	N	N	N	N	VN
Acceleration	-	VP	P	Z.	N	VN	VP	P	Z.	N	VN	VP	P	Z.	N	VN	-
Throttle	VP	N	Con.	P	P	VP	VN	N	Con.	P	VP	VN	N	N	Con.	P	VN

توضیح اینکه در قوانین، شتاب و خطای سرعت با منطق and با هم ترکیب شده اند. علائم مورد استفاده در جدول (۱) بصورت زیر تعریف شده اند:

VP = خیلی زیاد، P = مثبت و زیاد، Zero = صفر، VN = خیلی کم، N = منفی و کم، Constant = ثابت  
مقدار خطا از رابطه ۱۴ محاسبه می شود:

$$error = \left( \frac{S_{vd} - S_v}{S_{vd}} \right) \times 100 \quad (14)$$

شکل (۷) کنترلر فازی را بر روی خودرو مورد نظر نشان می دهد. از روی شکل می توان ورودیها و خروجیهای کنترلر و سیستم را مشاهده کرد.

### بررسی پاسخ سیستم

نحوه عملکرد کنترلرها، برای خودرو پیکان 1600cc مدل آوینجر، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج برای سرعت طراحی 100 km/hr، شیب صفر درصد جاده، جریان ساکن هوا و همراه بودن دو سرنشین در خودرو هر یک به وزن میانگین 75 kg بدست آمده، بطوریکه سیستم کنترل در دنده 4 از سرعت 60 km/hr کنترلر خودرو را در دست گرفته است. راندمان کلی سیستم انتقال قدرت شامل گیربکس، گاردان، دیفرانسیل و چرخها 62 درصد در نظر گرفته شده است. در ادامه اثر تغییرات شیب جاده و سرعت باد نیز مورد بحث قرار گرفته است.

در شکل (۸) زمان نشست و پاسخ سیستم برای کنترلرهای PID و فازی در شرایط فوق مشخص شده است. قابل ذکر است که زمان نشست بر اساس زمان دستیابی به 3% پاسخ مطلوب سیستم بیان شده است. شکل (۹) نمودار تغییرات موقعیت دریچه گاز نسبت به زمان را در این شرایط نشان می دهد.

اما برای اینکه نحوه عملکرد کنترلر دقیقتر بررسی شود، خودرو را در شرایط واقعی یک جاده قرار داده و پاسخ سیستم، مورد ارزیابی قرار می گیرد. برای این امر پروفیلی از جاده بصورت شکل (۱۰) و پروفیلی از سرعت باد بصورت شکل (۱۱) به سیستم اعمال می شود. البته این پروفیلها بر مبنای طول مسیر طراحی شده اند، اما برای مشاهده دقیقتر عملکرد سیستم در بعد زمان رسم شده اند.

شکل (۳) که نمودار شیب روی خودرو را نشان می داد، توجیه انتخاب حداقل و حداکثر 0.5 درصد شیب جاده، در پروفیل جاده را برای سرعت طراحی 100km/hr نشان می دهد.

پاسخ سیستم را در برابر پروفیل جاده (شکل (۱۰)) با سرعت اولیه 80km/hr و 120km/hr، می توان در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) مشاهده کرد. شکل‌های (۱۴) و (۱۵) پاسخ سیستم را در برابر پروفیل سرعت باد (شکل (۱۱)) با سرعت اولیه 80km/hr و 120km/hr نشان می دهد.

برای مشاهده دقت و سرعت عمل کنترلر فازی، پاسخ سیستم، با سرعت اولیه 100km/hr تحت اثر پروفیل شیب و سرعت باد در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) رسم شده اند.

اما اگر هر دو پروفیل جاده و سرعت باد (شکل‌های (۱۰) و (۱۱)) بر سیستم اعمال شود، پاسخ سیستم به صورت شکل (۱۸) خواهد بود. تغییرات در پیچ گاز در این شرایط بصورت شکل (۱۹) می باشد.

پروفیل‌های مختلفی برای تست نحوه عملکرد کنترلرها، بر سیستم اعمال شده که نمونه ای از آن ارائه شد. با اعمال این پروفیلها سعی بر آن بود تا اثرات نویز بر کنترلر کروز طراحی شده بررسی شود. با توجه به پاسخهایی که در قسمتهای قبل ذکر شد و نیز آزمایشات متعدد دیگر در این مورد، مشخص شد که اگر شدت نویزها زیاد باشد (تغییرات در ورودی سیستم شدید و ناگهانی باشد) کنترلر PID قادر به پایدار نگه داشتن سیستم نخواهد بود. به بیان دیگر با اعمال نویزهای شدید، کنترلر PID در زمان کوتاهی قادر به پایدار نگه داشتن سیستم نخواهد بود، چنانچه در شکل (۱۸) به وضوح قابل مشاهده است. از دیگر معایب کنترلر PID، زمان نشست زیاد آن است. نقطه ضعف دیگر این کنترلر (PID) کند بودن آن است یعنی دیر به پاسخ مطلوب می رسد (زمان خیز زیاد است).

اما در کنترلر فازی، با وجود overshoot که حدود 1km/hr است، سیستم بدون offset و به سرعت به تعادل می رسد. این کنترلر در نویزهای شدید عملکرد بسیار مطلوبی از خود نشان می دهد و سیستم را به سرعت در وضعیت متعادل، ثابت نگه می دارد. از طرف دیگر کنترلرهای فازی ارزانتر از کنترلرهای PID هستند. بنابراین از لحاظ اقتصادی به صرفه تر می باشند.

## نتیجه گیری

- استفاده از کنترلرهای فازی نسبت به کنترلرهای PID، در کنترل کروز دارای مزیت‌های زیر می باشند:
- ۱- سیستم بسیار سریع عمل می کند (Rising time سیستم کم و بسیار مطلوب است).
  - ۲- سیستم سریع به پاسخ مطلوب می رسد (Settling time سیستم بسیار کم است).
  - ۳- سیستم در مقابل تغییرات ناگهانی (Noise) بسیار مطلوب عمل می کند.
  - ۴- سیستم دارای دقت بالایی است.
  - ۵- این سیستمها ارزانتر و از لحاظ اجرایی میسرترند.

## سپاسگزاری

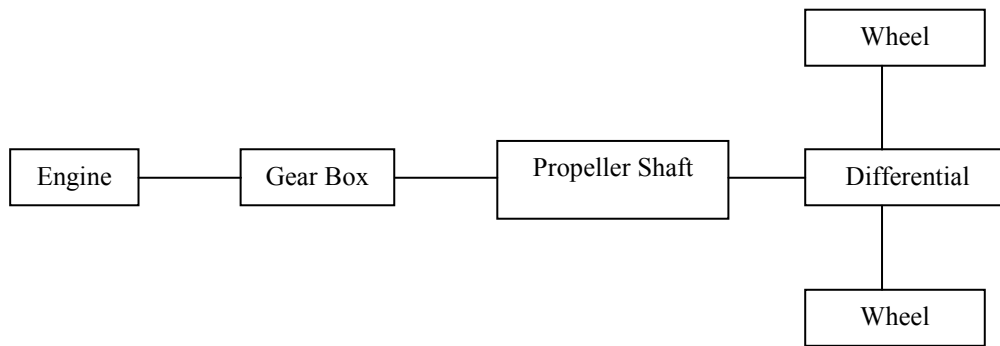
از مسئولان محترم شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (IPCO) بدلیل حمایت از این طرح و همکاریشان در تهیه نتایج تجربی مورد نیاز، صمیمانه تشکر می نمایم. در ضمن انجام این پروژه، در قالب طرح تحقیقاتی مصوب شورای پژوهشی دانشگاه سمنان امکان پذیر گردیده است. بدینوسیله نگارندهگان این مقاله از بودجه و امکانات این دانشگاه تشکر می نمایند.

## منابع و مراجع

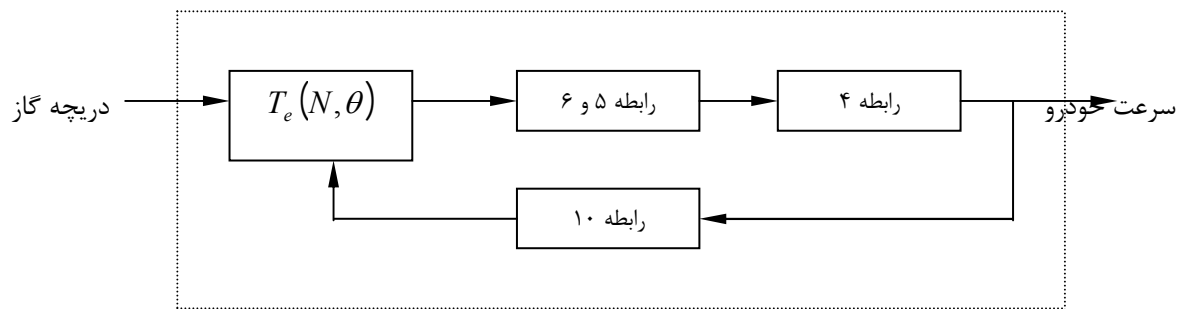
- [۱] لی وانگ، ترجمه محمد تشنه لب، نیما صفارپور، داریوش افیونی (۱۳۷۸)، "سیستمهای فازی و کنترل فازی"، نشر دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
- [2] Thomas D. Gillespie, Fundamentals Of Vehicle Dynamics, second printing 1992
- [3] <http://www.FuzzyTech.com>
- [4] Li-Xin Wang, A Course in Fuzzy Systems And Control, Prentice Hall International inc., 1997
- [5] H. S. Tan, Y. K. Chin, Vehicle Traction Control: Variable-Structure Control Approach, Journal of Dynamics System, Measurement, and Control, Vol. 113, June 1991
- [6] R. Jang, C. T. Sun, E. Mizutani, Neuro- Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice-Hall, 1997



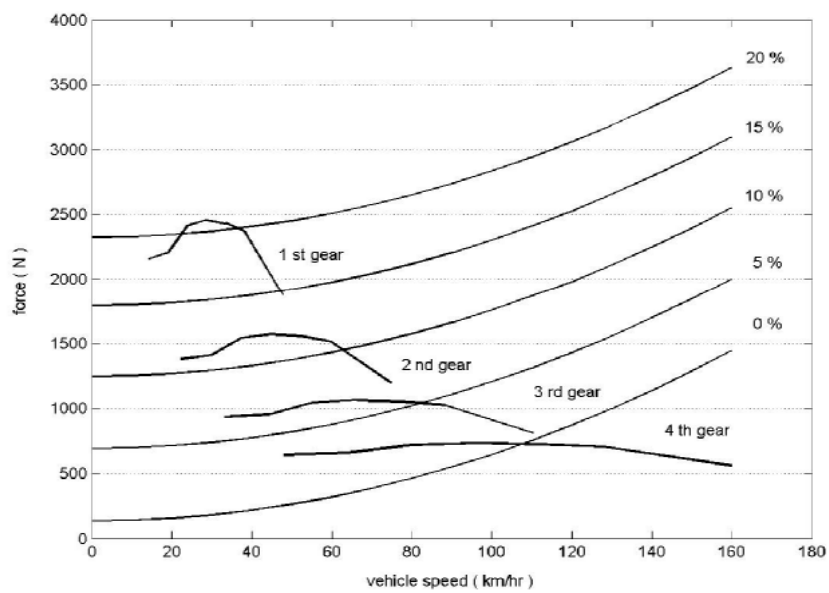
۷- شکلها و نمودارها



شکل ۱- اجزای انتقال قدرت و تولید توان در یک خودرو بصورت شماتیک

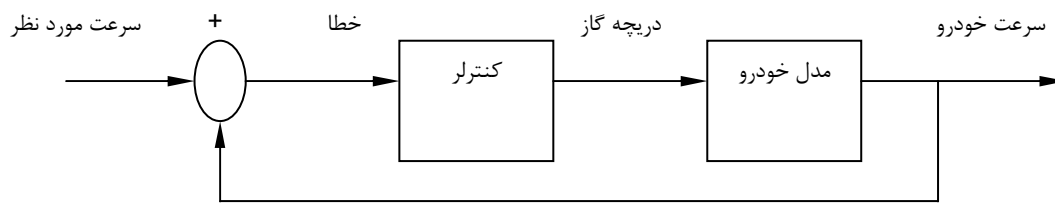


شکل ۲- دیاگرام بلوکی مدل خودرو

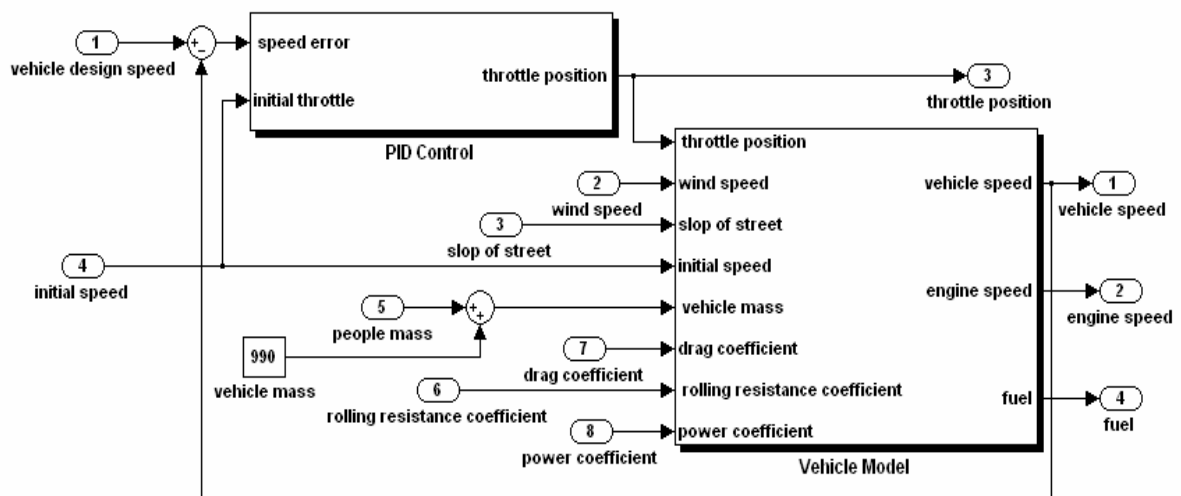


شکل ۳- نمودار شیب روی خودرو در دنده های مختلف

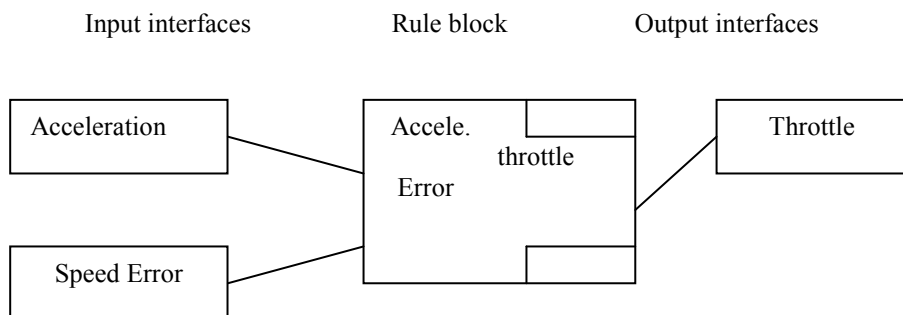




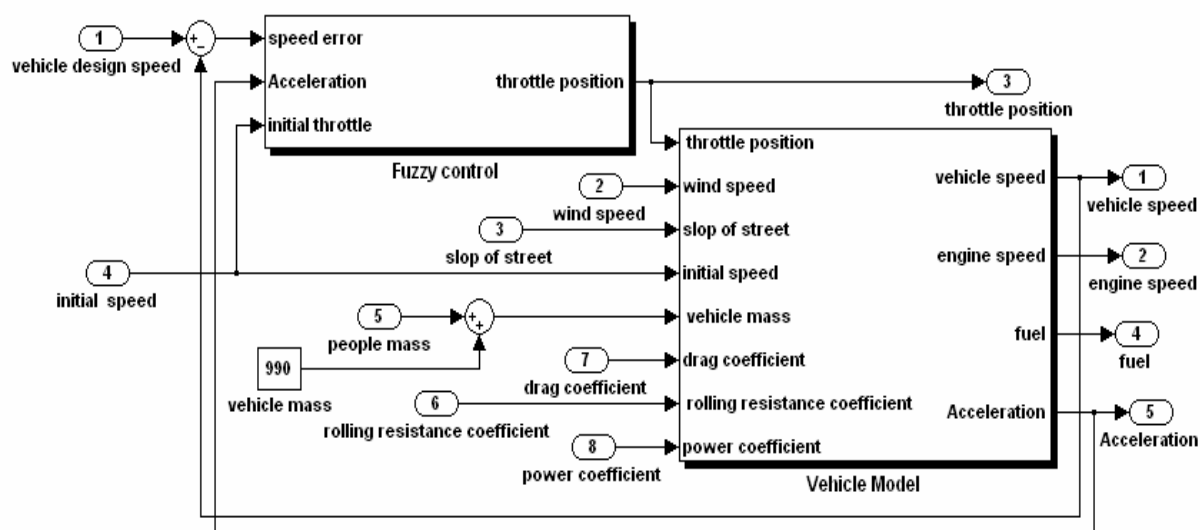
شکل ۴- دیاگرام بلوکی کنترل حلقه بسته



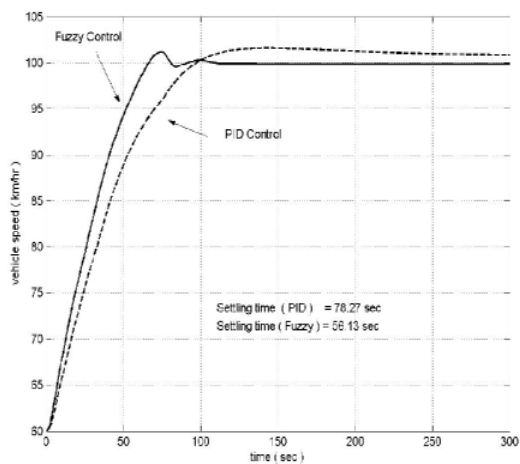
شکل ۵- مدل تهیه شده از کنترلر PID بر روی خودرو



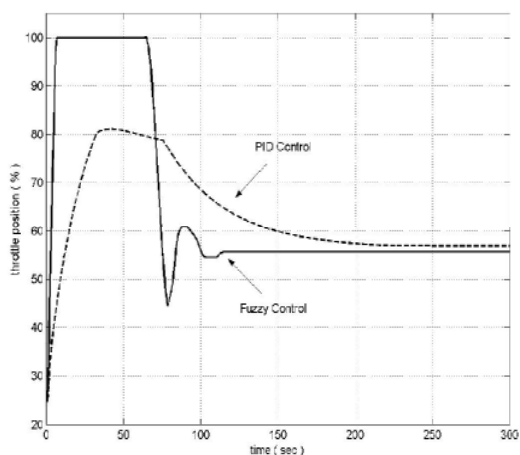
شکل (۶) ساختار منطق فازی سیستم کنترل کروز



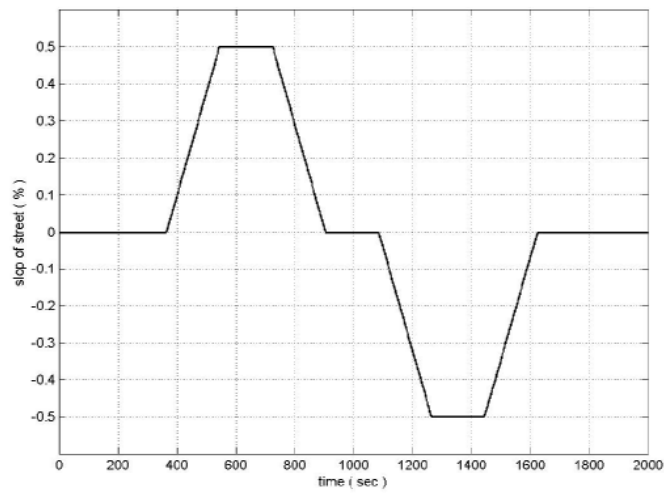
شکل ۷- مدل تهیه شده از کنترلر Fuzzy بر روی خودرو



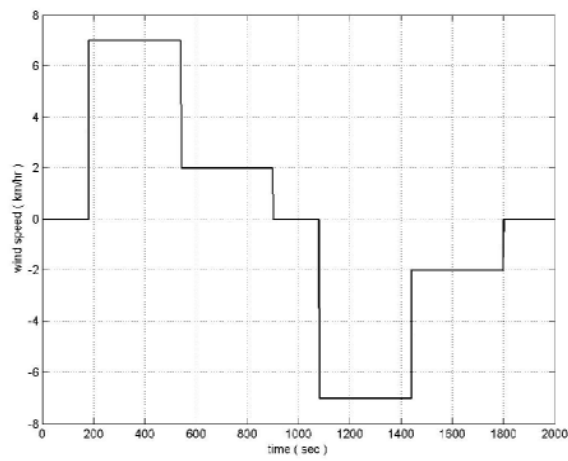
شکل ۸- نمودار تغییرات سرعت خودرو نسبت به زمان



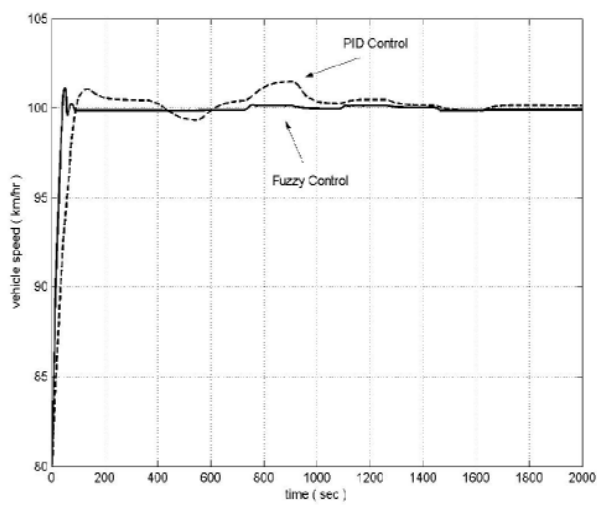
شکل ۹- نمودار تغییرات موقعیت دریچه گاز نسبت به زمان



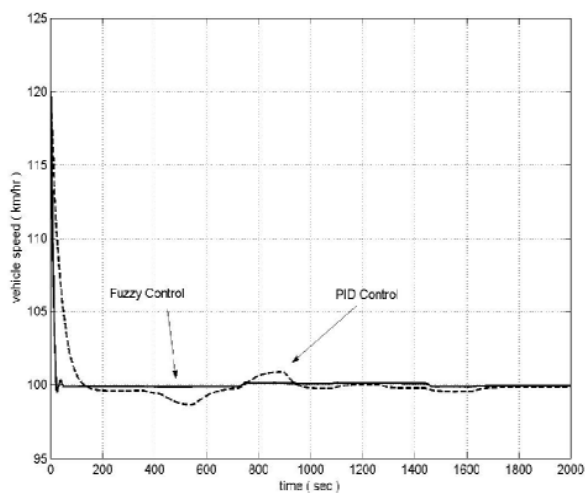
شکل ۱۰- تغییرات شیب جاده در مسیر نسبت به زمان



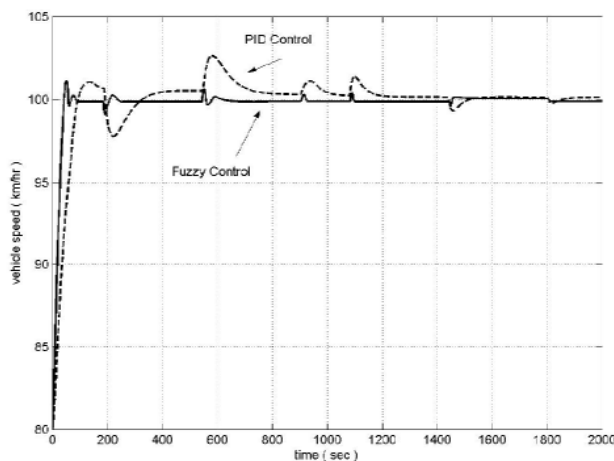
شکل ۱۱- تغییرات سرعت باد در مسیر نسبت به زمان



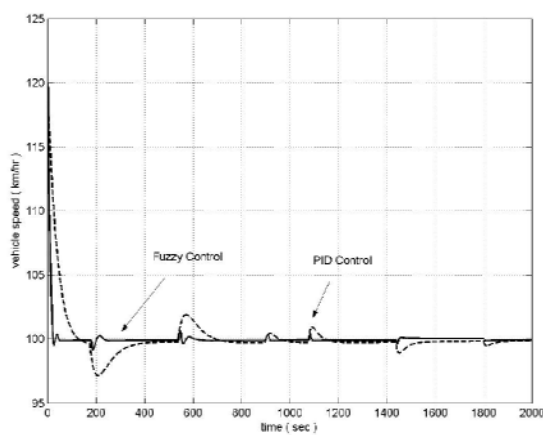
شکل ۱۲- نمودار تغییرات سرعت خودرو نسبت به زمان  
با سرعت اولیه ۸۰ کیلومتر بر ساعت برای پروفیل جاده شکل (۱۰)



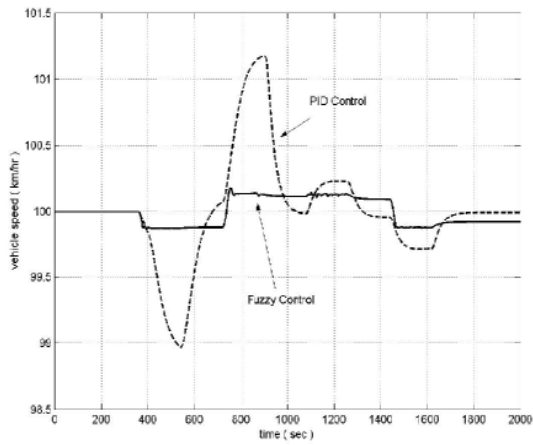
شکل ۱۳- نمودار تغییرات سرعت خودرو نسبت به سرعت اولیه ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت برای پروفیل جاده شکل (۱۰)



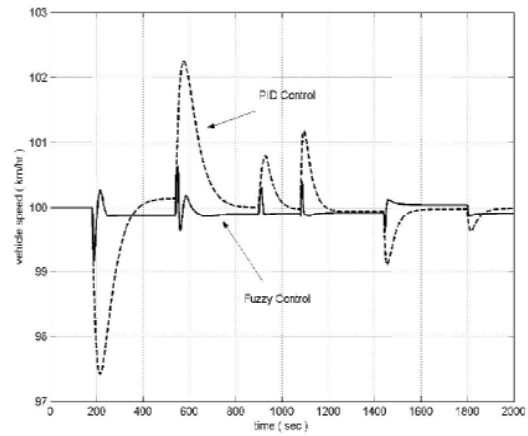
شکل (۱۴) نمودار تغییرات سرعت خودرو نسبت به زمان با سرعت اولیه ۸۰ کیلومتر بر ساعت برای پروفیل سرعت باد شکل (۱۱)



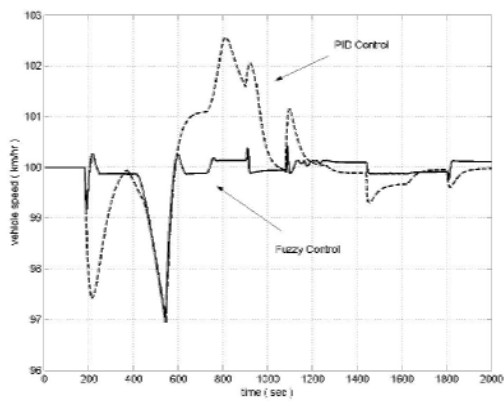
شکل (۱۵) نمودار تغییرات سرعت خودرو نسبت به زمان با سرعت اولیه ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت برای پروفیل سرعت باد شکل (۱۱)



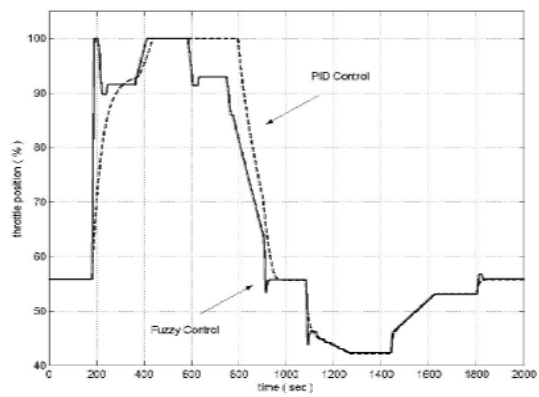
شکل ۱۷- نمودار تغییرات سرعت خودرو نسبت به زمان با سرعت اولیه ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت برای پروفیل جاده شکل (۱۰)



شکل ۱۶- نمودار تغییرات سرعت خودرو نسبت به زمان با سرعت اولیه ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت برای پروفیل سرعت باد شکل (۱۱)



شکل ۱۸- نمودار تغییرات سرعت خودرو نسبت به زمان با اعمال پروفیل‌های جاده و سرعت باد شکل‌های (۱۰) و (۱۱)



شکل ۱۹- نمودار تغییرات دریچه گاز نسبت به زمان با اعمال پروفیل‌های جاده و سرعت باد شکل‌های (۱۰) و (۱۱)