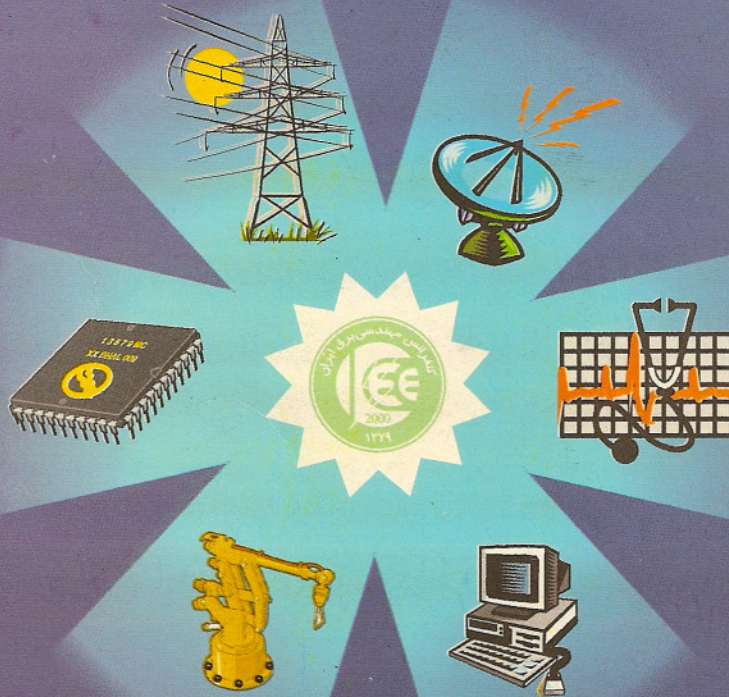




دشتمین

# کنفرانس مهندسی برق ایران

۲۸ تا ۳۰ اردیبهشت ۱۳۷۹ - دانشکده برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان



مجموعه مقالات

قدرت

جلد دوم

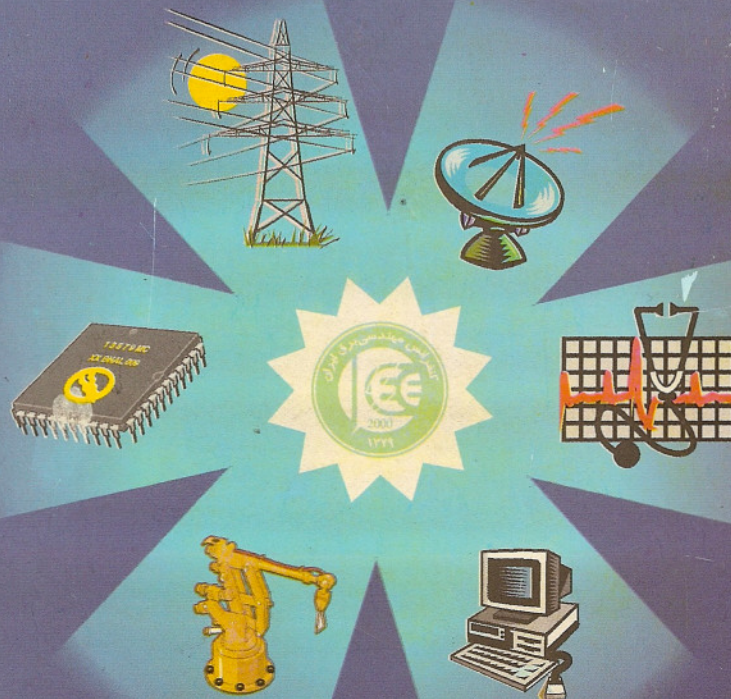
# ICEE 2000



**The Eighth**

**Iranian Conference on Electrical Engineering**

**May 17-19, 2000 – ISFAHAN, IRAN**



**PROCEEDINGS**

**Power**

**Volume 2**

**ICEE 2000**



## کنترل گشتاور در خودروی برقی با دو محرکه الکتریکی بخش اول: کنترل گشتاور یاو<sup>۱</sup> در خودرو با استفاده از منطق فازی

<p><b>شاهرخ فرهنگی</b> استادیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده فنی - دانشگاه تهران</p>	<p><b>رضا کاظمی</b> سر مهندس ارشد دینامیک خودرو مرکز تحقیقات (R &amp; D) شرکت ایران خودرو</p>	<p><b>ابوالفضل حلوائی نیاسر</b> کارشناسی ارشد کنترل گروه مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده فنی - دانشگاه تهران</p>
--	---	--

### چکیده

در این مقاله، مسأله کنترل حرکت در یک خودروی برقی مجهز به دو موتور الکتریکی بررسی شده است. این دو موتور می توانند روی جفت چرخ جلو یا عقب خودرو قرار گیرند. با استفاده از ساختار فوق، دیگر احتیاجی به ادوات انتقال نیرو، جعبه دنده و دیفرانسیل نداریم. در این خودرو، مهمترین مسأله، کنترل سرعت یاو (نرخ یاو) می باشد. نشان داده شده است که ایجاد گشتاورهای متفاوت روی دو موتور، سبب افزایش نرخ یاو بویژه روی سطوح جاده ائی لغزنده می شود. لذا وجود یک سیستم کنترل مناسب که بتواند دو موتور را با هم هماهنگ کند اجتناب ناپذیر می باشد. با توجه به ساختار غیرخطی سیستم از یک کنترل کننده فازی جهت کنترل استفاده شده است. کنترل کننده مزبور، گشتاور تفاضلی بین دو چرخ عقب، جهت هدایت خودرو در مسیر مطلوب را تعیین می کند. مدل خودروی استفاده شده خودرو، یک مدل سه درجه آزادی بوده و از ساده سازیهای مرسوم در آن اجتناب شده است. برای شبیه سازی تایر نیز از یک مدل غیرخطی بهره برده شده است. در شرایط نامناسب جاده مثل لغزندگی سطح جاده و همچنین در حالت ایجاد خطا و اختلال در کار موتور، گشتاور یاو تولید شده، ممکن است خودرو را در وضعیت خطرناکی قرار دهد. لذا عکس العمل کنترلی سریع و مناسب در مقابل این اغتشاشات باید انجام شود. نتایج شبیه سازی قابلیت کنترل کننده فازی را در مواجهه با این شرایط نامناسب بخوبی نشان داده اند.

**کلید واژه ها:** خودروی برقی، گشتاور یاو، کنترل فازی

### ۱- مقدمه

در چند دهه اخیر، خودروهای برقی بدلائیل گوناگون مورد توجه دوباره قرار گرفته اند که از جمله می توان به کاهش آلودگی هوای شهرهای بزرگ، حفظ محیط زیست، صرفه جویی در مصرف انرژی، افزایش راندمان، کاهش وابستگی به سوختهای فسیلی و همچنین امکان ساخت سیستمهای کنترل پیشرفته و مطمئن که باعث افزایش قابلیت و کاهش قیمت این سیستمها می گردد اشاره کرد [۱]. تحقیقات گسترده ای در قسمتهای مختلف خودروی برقی انجام گرفته است که می توان به مسائل بهینه سازی باطری، سیستم کنترل گشتاور کارآ، طراحی بدنه آئرو دینامیکی مناسب و ... اشاره کرد [۲].

از دیدگاه مهندسی برق و کنترل خودروهای برقی دارای دو مزیت عمده نسبت به خودروهای احتراق داخلی می باشند: (الف) موتورهای الکتریکی دارای دینامیک سریعی بوده و با دقت قابل قبولی، گشتاور مطلوب را تولید می کنند. لذا پیاده سازی سیستمهای نظیر سیستم ترمز ضد قفل (ABS) و سیستم تنظیم لغزش (ASR) براحتی قابل

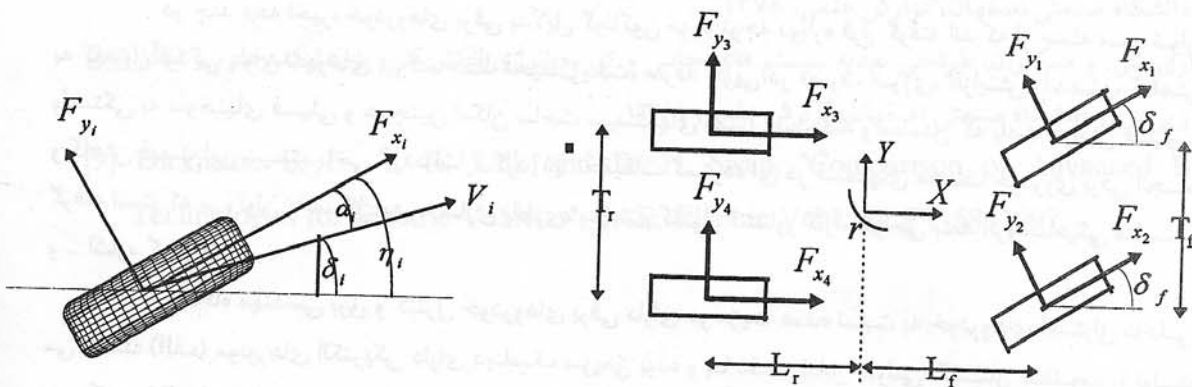
<sup>1</sup> Yaw Motion Control

اجراست. (ب) در خودروهایی نظیر (4WD) یا (2WD) که گشتاور محرک به هر چرخ یا تعدادی از چرخها اعمال می شود، کنترل گشتاور هر چرخ برآحتی امکانپذیر است. در این نوع خودروها، تعدادی از اجزای مکانیکی حذف می شود. با حذف این اجزا بخصوص دیفرانسیل، کنترل هماهنگ چرخها بعنوان مهمترین مسأله مطرح می شود و کنترل کننده گشتاور باید این کار را انجام بدهد. جهت کنترل مستقل موتورها باید از دینامیکهای جانبی و پیچشی خودرو استفاده کرد. در این مقاله به بررسی کنترل حرکت در یک خودروی 2WD خواهیم پرداخت. فرض می شود که فقط چرخهای جلو، فرمان پذیر بوده که آن هم توسط راننده خودرو اعمال می شود. چرخهای عقب، هرکدام توسط یک جفت دنده با نسبت ثابت و معلوم به دو موتور الکتریکی متصل می باشند ولی این چرخها فرمان پذیر نبوده و همواره در راستای محور  $x$  شاسی ماشین حرکت می کنند.

روشهای متفاوتی جهت کنترل حرکت در خودروهای 2WD ارائه شده است که در اکثر این روشها، با یک سری ساده سازی، معادلات دینامیکی غیرخطی خودرو را بفرم معادلات خطی درآورده و سپس از روشهای کنترل کلاسیک و خطی نظیر کنترل بهینه (LQR)، فیدبک حالت و یا حتی از کنترل کننده های PI استفاده می کنند [3 و 4 و 5]. در این مقاله هیچ یک از ساده سازیهای مرسوم در مقالات مشابه انجام نشده است و مدل بصورت کاملاً غیرخطی در نظر گرفته شده است. لذا برای کنترل ان باید از روشهای کنترل غیرخطی استفاده نمود. بدلیل وابستگی زیاد معادلات دینامیکی خودرو به شرایط هوا و جاده و در نتیجه تغییر پارامترهای این معادلات در یک محدوده نسبتاً وسیع، باید از روشهای کنترل مقاوم استفاده نمود. روش کنترل فازی بعنوان یک روش ساختار متغیر در دهه اخیر بطور گسترده، جهت کنترل سیستمهای غیرخطی و فرایندهای صنعتی پیچیده بکار گرفته شده است که در ادامه به آن می پردازیم در بخش ۲، مدل دینامیکی خودرو و تاثیر آن بررسی شده است. در بخش ۳ یک کنترل کننده فازی جهت کنترل نرخ یاو طراحی شده است. در بخش ۴ رفتار خودرو در چند مانور استاندارد یکبار بدون وجود کنترل کننده و یکبار با وجود آن، شبیه سازی و نتایج با هم مقایسه شده اند. نتایج بدست آمده از شبیه سازی بر قابلیت کنترل کننده فازی صحه می گذارند.

## ۲- مدل دینامیکی خودرو

مدلهای مختلفی جهت نمایش دینامیکهای خودرو وجود دارند که ما در این مقاله از یک مدل سه درجه آزادی استفاده خواهیم کرد [6 و 7]. این مدل، خواص دینامیکی خودرو را تا حد زیادی دربر دارد. بردار حالت را بصورت  $x = [V_x, V_y, r]$  در نظر می گیریم که در آن  $V_x$  و  $V_y$  به ترتیب سرعت طولی، سرعت جانبی و سرعت پیچشی خودرو می باشند. در شکل (۱) مدل خودرو به همراه جهتهای قراردادی آن نمایش داده شده است. برای نوشتن معادلات حرکت خودرو، دستگاه مختصات محلی  $\{X_i, Y_i, Z_i\}$  را در نظر می گیریم که  $X_i$ ،  $Y_i$  و  $Z_i$  در راستای محورهای طولی، عرضی و قائم بر خودرو می باشند.



شکل (۱): مدل خودرو

شکل (۲): مدل تاثیر

معادلات دینامیکی خودرو عبارتند از:

$$\dot{V}_x = V_y \cdot r + \frac{1}{m} [(F_{x_1} + F_{x_2}) \cdot \cos(\delta) - (F_{y_1} + F_{y_2}) \cdot \sin(\delta) + (F_{x_3} + F_{x_4}) - F_{dx}] \quad (1)$$

$$\dot{V}_y = -V_x \cdot r + \frac{1}{m} [(F_{x_1} + F_{x_2}) \cdot \sin(\delta) - (F_{y_1} + F_{y_2}) \cdot \cos(\delta) + (F_{y_3} + F_{y_4}) - F_{dy}] \quad (2)$$

$$\begin{aligned} r = \frac{1}{I_z} [ & L_f (F_{x_1} + F_{x_2}) \cdot \sin(\delta) + L_f (F_{y_1} + F_{y_2}) \cdot \cos(\delta) - L_r (F_{y_3} + F_{y_4}) \\ & - \frac{T_f}{2} (F_{x_1} - F_{x_2}) \cdot \cos(\delta) + \frac{T_f}{2} (F_{y_1} - F_{y_2}) \cdot \sin(\delta) - \frac{T_r}{2} (F_{x_3} - F_{x_4}) ] \end{aligned} \quad (3)$$

که در آن  $\delta$  زاویه فرمان چرخهای جلو بوده و  $F_{T_i}$  نیز نیروهای عمودی وارد بر تایرها می باشد.  $F_{x_i}$  نیروی اصطکاک طولی تایر است و با توجه به اینکه فقط دو چرخ عقب توسط موتورهای الکتریکی تحریک می شوند و همچنین با فرض ثابت بودن سرعت دورانی چرخها یا تغییرات آرام آنها ( $\dot{\omega}_i \approx 0$ ) که  $\dot{\omega}_i$  سرعت دورانی چرخ  $i$  ام می باشد) داریم:

$$F_{x_1} = F_{x_2} = 0 \quad (4)$$

$$F_{x_4} = \frac{T_{RN}}{r_w}, \quad F_{x_3} = \frac{T_{LN}}{r_w} \quad (5)$$

$F_{y_i}$ ، نیروی اصطکاک جانبی تایر  $i$  ام بوده و از رابطه

$$F_{y_i} = f_i(\alpha_i), \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

بدست می آیند.  $\alpha_i$  لغزش تایر  $i$  ام بوده و با فرض برابر بودن لغزش جفت تایر چپ و راست روی محورهای عقب و جلوی خودرو داریم:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \delta - \tan^{-1} \left( \frac{V_y + L_f \cdot r}{V_x - \frac{T_f \cdot r}{2}} \right), \quad \alpha_3 = \alpha_4 = -\tan^{-1} \left( \frac{V_y - L_r \cdot r}{V_x + \frac{T_r \cdot r}{2}} \right) \quad (7)$$

برای زوایای لغزش کوچک،  $F_{y_i}$  را می توان توسط رابطه  $F_{y_i} = C_{\alpha_i} \cdot \alpha_i$  بدست آورد که  $C_{\alpha_i}$  ضریب اصطکاک جانبی تایر  $i$  ام بوده و تابعی از شرایط جاده و نوع لاستیک می باشد. اندازه گیری  $C_{\alpha_i}$  با استفاده از روابط بسیار مشکل و عملاً غیر ممکن است. بنابراین باید آنرا بطریقی تخمین بزنیم که در مراجع مختلف روشهایی پیشنهاد شده است. نیروهای مقاوم  $F_{dx}$  و  $F_{dy}$  عبارتند از:

$$F_{dx} = C_x \cdot V_x^2, \quad F_{dy} = C_y \cdot V_y^2 \quad (8)$$

برای شبیه سازی تایر از یک مدل غیر خطی استفاده شده است [A]. شکل (۲) مدل نیروهای وارد بر تایر را نشان می دهد که در آن  $F_{x_i}$  و  $F_{y_i}$  نیروهای اصطکاک طولی و جانبی تایر بوده و  $F_{T_i}$  بار عمودی تایر بوده و از روابط زیر بدست می آیند:

$$F_{x_1} = \frac{mgL_r}{2(L_f + L_r)} - \frac{ma_x h}{2(L_f + L_r)} - \frac{ma_y L_r h}{T_f(L_f + L_r)}$$

$$F_{x_2} = \frac{mgL_r}{2(L_f + L_r)} - \frac{ma_x h}{2(L_f + L_r)} + \frac{ma_y L_r h}{T_f(L_f + L_r)}$$

$$F_{x_3} = \frac{mgL_f}{2(L_f + L_r)} + \frac{ma_x h}{2(L_f + L_r)} + \frac{ma_y L_f h}{T_f(L_f + L_r)}$$

$$F_{x_4} = \frac{mgL_r}{2(L_f + L_r)} + \frac{ma_x h}{2(L_f + L_r)} - \frac{ma_y L_f h}{T_f(L_f + L_r)} \quad (9)$$

در روابط فوق  $a_x, a_y$  شتابهای طولی و جانبی خودرو بوده و عبارتند از:

$$a_x = \dot{V}_x - V_y \cdot r, \quad a_y = \dot{V}_y - V_x \cdot r \quad (10)$$

با جایگذاری روابط (۴) و (۵) در معادلات (۱) تا (۳)، عبارتهای  $(T_L + T_R)/r_w$  و  $(T_L - T_R)/r_w$  در معادلات (۱) ظاهر می شوند که با اعمال مناسب  $T_L$  و  $T_R$  توسط کنترل کننده می توان نرخ یاو را بنحو مناسبی کنترل نمود. نرخ یاو مرجع  $r_{ref}$  به زاویه فرمان چرخهای جلو و سرعت خودرو وابسته بوده و از رابطه زیر بدست می آید:

$$r_{ref} = \frac{g \cdot V \cdot \delta}{g \cdot L + K_{us} \cdot V^2} \quad (11)$$

که در آن  $K_{us} = 4.5$  ضریب فرمان پذیری نام دارد و  $L = L_f + L_r$  فاصله مرکز محورهای جلو و عقب خودرو می باشد. در جدول (۱) پارامترهای مدل مورد استفاده، آورده شده است.

جدول (۱): پارامترهای خودرو

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
جرم خودرو	$m = 1208 \text{Kg}$	ممان اینرسی حول محور z	$I_w = 2.11 \text{Kg}m^2$
فاصله مرکز ثقل از محور جلو	$L_f = 1.249 \text{m}$	فاصله مرکز ثقل از محور عقب	$L_r = 1.251 \text{m}$
ضریب مقاومت هوا در راستای طولی	$C_x = 0.3$	ضریب مقاومت هوا در راستای جانبی	$C_y = 0.15$
طول محور جلو	$T_f = 1.321 \text{m}$	طول محور عقب	$T_r = 1.321 \text{m}$
ارتفاع مرکز ثقل از سطح	$h = 0.55 \text{m}$	شعاع تایر	$r_w = 0.30 \text{m}$
ممان اینرسی چرخ غیر محرک	$I_w = 2.11 \text{Kg}m^2$	ممان اینرسی چرخ محرک	$J_w = 8I_w$

### ۳- طراحی کنترل کننده فازی

بطور کلی یک روش مهندسی خوب و کارا باید بتواند از تمام اطلاعات موجود سیستم بطور مؤثر استفاده کند. منابع اطلاعاتی برای سیستم از دو منبع بدست می آید: ۱- سنسورها، که اطلاعات عددی راجع به سیستم به ما می دهند. ۲- فرد خبره که اطلاعات او از سیستم بصورت متغیرهای زبانی است. کنترل کننده های معمولی فقط می توانند از اطلاعات نوع ۱ استفاده کنند در صورتیکه کنترل کننده های فازی از اطلاعات نوع ۲ براحتی استفاده می کند [۹]. دلایل استفاده گسترده از کنترل کننده های فازی عبارتند از:

(الف) کنترل فازی یک روش غیر وابسته به مدل سیستم است و این خصوصیت در مورد سیستمهایی که دارای نامعینی زیاد بوده و یا بفرم بسیار پیچیده می باشند، بسیار کاراست.

(ب) کنترل فازی یک روش غیرخطی و ساختار متغیر بوده و برای سیستمهای غیر خطی مؤثر می باشد.

(ج) در مقایسه با کنترل کننده های معمولی، مخصوصاً نوع مقاوم آنها که از ریاضیات پیچیده برخوردار می باشند کنترل فازی روشی قابل فهمی می باشد زیرا از اطلاعات انسانی جهت کنترل استفاده می کند.

(د) کنترل فازی از لحاظ زمان یادگیری، کوتاه و از لحاظ پیاده سازی، ارزان بوده و براحتی با استفاده از

چیپهای VLSI فازی ویا نرم افزارهای دیگر قابل پیاده سازی می باشد.

در روش‌های معمولی کنترل نرخ یاو، بخاطر ساده‌سازی انجام گرفته در بدست آوردن معادلات دینامیکی سیستم، کنترل کننده طراحی شده در محدوده کوچکی از ناحیه کار خودرو بطور مؤثر کار می‌کند [۱۱ و ۱۰]. بدیهی است که با خارج شدن از این محدوده کاری (که در یک خودرو امری معمول است)، عمل کنترل دچار اختلال خواهد شد. لذا بدلیل فوق و همچنین بدلیل خواص کنترل کننده فازی که قبلاً ذکر شد از کنترل کننده فازی جهت کنترل نرخ یاو خودرو استفاده خواهیم کرد. مراحل طراحی کنترل کننده فازی عبارتند از:

۱- انتخاب متغیرهای ورودی: از متغیرهای  $e$  و  $\dot{e}$  (که  $e = r - r_{ref}$  است) بعنوان ورودیهای کنترل کننده فازی استفاده می‌کنیم.

۲- عمل فازی سازی<sup>۱</sup> ورودیها: جهت استنتاج فازی متغیرهای ورودی را باید بصورت متغیر فازی در آوریم که برای اینکار از تابع Singleton استفاده خواهیم کرد.

۳- انتخاب متغیرهای خروجی: هدف از کنترل در این سیستم، بدست آوردن مقادیر مناسب جهت گشتاورهای  $T_L$  و  $T_R$  می‌باشد. اگر  $T_L$  و  $T_R$  را بعنوان متغیرهای خروجی در نظر بگیریم، نوشتن پایگاه قوانین بخاط بالا بودن تعداد درجات آزادی مشکل و گیج کننده است. لذا ما هم دقیقاً همان کاری را می‌کنیم که دیفرانسیل مکانیکی خودرو انجام می‌دهد. متغیر جدید  $T_{diff}$  را بعنوان خروجی کنترل کننده فازی انتخاب می‌کنیم که رابطه آن با گشتاورهای  $T_L$  و  $T_R$  بصورت زیر است:

$$T_L = T_{ref} - T_{diff} / 2 \quad , \quad T_R = T_{ref} + T_{diff} / 2$$

که در آن  $T_{ref}$  گشتاور اعمالی به سیستم توسط راننده است که از طریق پدال گاز یا ترمز اعمال می‌شود. کنترل کننده فازی با تنظیم پیوسته  $T_{diff}$  سعی در صفر کردن خطای  $e$  دارد.

۴- عمل فازی زدایی<sup>۲</sup> متغیر خروجی: برای تبدیل متغیر خروجی کنترل کننده فازی به یک متغیر فیزیکی، عمل فازی زدایی را روی  $T_{diff}$  انجام می‌دهیم. روش مرکز مساحت<sup>۳</sup> یک روش کارا برای این منظور است.

۵- بدست آوردن پایگاه قوانین: پایگاه قوانین مهمترین قسمت یک کنترل کننده فازی می‌باشد و نوشتن قوانین صحیح و دقیق تأثیر بسزایی در عملکرد سیستم دارد. در نوشتن پایگاه قوانین شخص باید حس درستی از رفتار سیستم داشته باشد. جدول (۲) پایگاه قوانین را براساس متغیرهای ورودی و خروجی نشان می‌دهد. متغیرهای زبانی NB, PS, ZE, NS, NB به ترتیب بیانگر مقادیر خیلی منفی، کمی منفی، صفر، کمی مثبت و خیلی مثبت می‌باشند. در شکل (۳- a, b) مجموعه‌های فازی مربوط به این عبارات زبانی برای متغیرهای ورودی و خروجی نشان داده شده است.

۶- عملیات استنتاج: برای انجام عملیات استنتاج از قاعده max-min استفاده می‌کنیم.

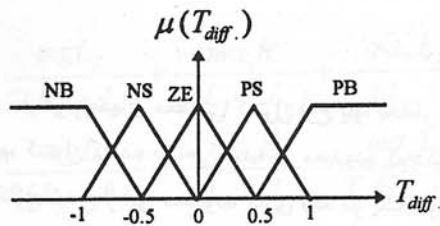
جدول (۲): پایگاه قوانین

	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZE
NS	NB	NB	NS	ZE	PS
ZE	NB	NS	ZE	PS	PS
PS	NS	ZE	PS	PB	PB
PB	ZE	PS	PB	PB	PB

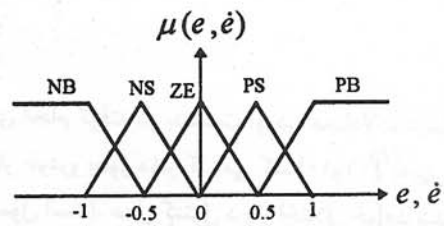
<sup>1</sup> Fuzzification

<sup>2</sup> Defuzzification

<sup>3</sup> Center Of Area

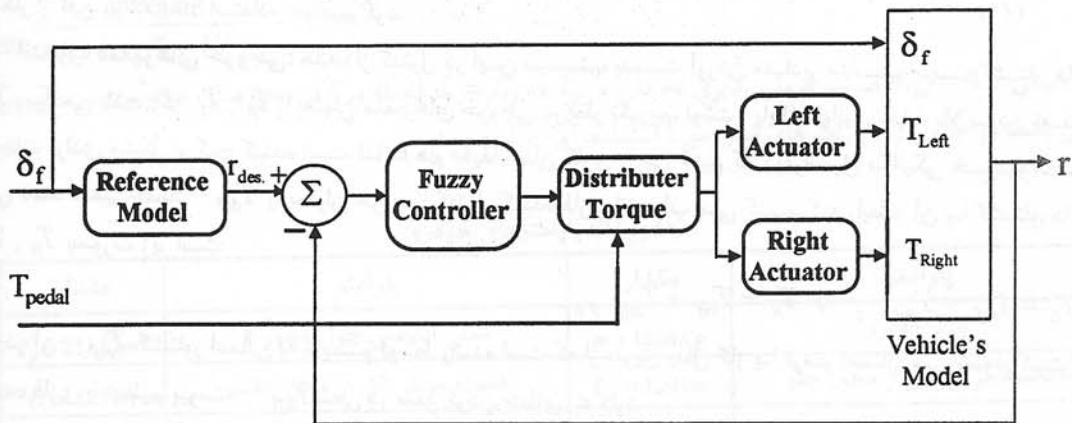


شکل (۳-ب): مجموعه های فازی خروجی



شکل (۳-ا): مجموعه های فازی ورودی

شکل (۴) بلوک دیاگرام کلی سیستم کنترل را نمایش می دهد. در این شکل، بلوکهای عملگر چپ و راست شامل موتورهای القایی سه فاز و سیستم کنترل آنها می باشند که در مقاله قبلی به آن پرداخته شد.



شکل (۴): بلوک دیاگرام کلی سیستم خودرو

#### ۴- شبیه سازی

مطابق با بلوک دیاگرام شکل (۴)، رفتار خودرو در چند مانور استاندارد آزمایش شده است. در آزمایش اول، خودرو یک مانور تغییر مسیر (Lane Change) انجام می دهد. شکل های (۵) و (۶) تغییرات نرخ یا واقعی  $r$  و نرخ یا مرجع  $r_{des}$  را یک بار با اعمال کنترل کننده فازی به خودرو و یک بار بدون اعمال آن نمایش می دهند. شکل (۷)، تلاش کنترلی در حالت اعمال کنترل کننده را نشان می دهد. در شکل (۸) نیز، مسیر حرکت خودرو در هر دو حالت نمایش داده شده است.

در آزمایش دوم، خودرو یک مانور تغییر مسیر دوگانه (Double Lane Change) را می خواهد انجام بدهد. شکل های (۹) و (۱۰)،  $r$  و  $r_{des}$  را قبل و بعد از اعمال کنترل کننده و شکل (۱۱)، تلاش کنترلی و در شکل (۱۲) مسیر حرکت خودرو قبل و بعد از اعمال کنترل کننده نمایش داده شده اند.

در آزمایش سوم، خودرو در حال انجام مانور تغییر مسیر از یک محیط با سطح جاده خشک (ضریب اصطکاک بالا) وارد یک محیط با سطح جاده ای خیس (ضریب اصطکاک پایین) می شود. شکل های (۱۳)، (۱۴)، (۱۵) و (۱۶)،  $r$  و  $r_{des}$  و  $T_{diff}$  و مسیر حرکت خودرو را قبل و بعد از اعمال کنترل کننده نمایش می دهند.

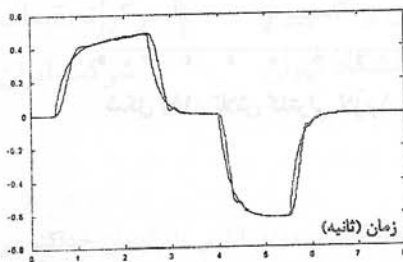
در تمام این آزمایشها، گشتاور  $T_{pedal} = 500 \text{ N.M}$  بوده و زاویه هدایت چرخ های جلو  $\delta_r$  را با سعی و خطا به نحوی تعیین می کنیم که خودرو بتواند مسیر دلخواه را طی کند. سرعت اولیه خودرو  $V_x = 20 \text{ m/s}$  و  $V_y = 0$  می باشد. در سه آزمایش فوق توجه به این نکته ضروری است که مسیر پیموده شده توسط خودرو با اعمال کنترل کننده فازی، همان مسیر مطلوب است زیرا  $r$ ،  $r_{des}$  را به خوبی ردیابی می کند.



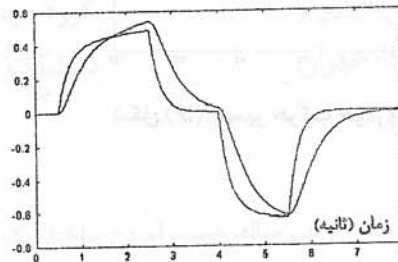
## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله مساله کنترل حرکت در یک خودروی مجهز به دو موتور الکتریکی مستقل از هم بررسی شد. معادلات دینامیکی به کار رفته برای خودرو و تایر کاملاً غیرخطی بود. برای پیمودن یک مسیر مطلوب توسط خودرو باید  $r_{des}$  را ردیابی کند و برای این منظور از یک کنترل کننده فازی استفاده کردیم. مزیت این کنترل کننده بخاطر مقاومت و ساختار غیرخطی آن می باشد. در نهایت قابلیت این کنترل کننده در چند مانور و شرایط مختلف جاده ای با شبیه سازی نشان داده شد. نکته مهم در استفاده از کنترل کننده فازی، نوشتن قواعد فازی به طور معقول و دقیق می باشد که برای رهایی از این مشکل، به جای کنترل کننده فازی می توان از یک کنترل کننده فازی- تطبیقی استفاده نمود که قواعد فازی در جهت کاهش خطای سیستم تغییر می یابند. برای افزایش قابلیت کنترل کننده می توان از کنترل کننده فازی- عصبی نیز استفاده نمود که در آن قواعد فازی با استفاده از شبکه های عصبی پیاده سازی می شوند این کنترل کننده قابلیت یادگیری بالایی دارد.

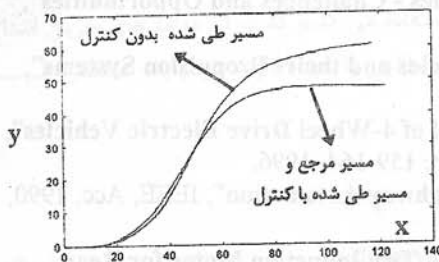
## ۶- شکل ها



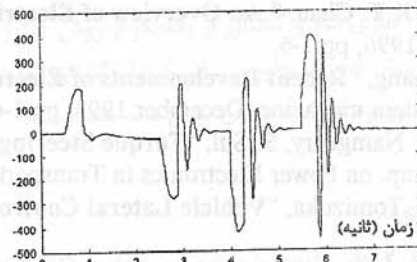
شکل (۶):  $r, r_{des}$  با اعمال کنترل کننده



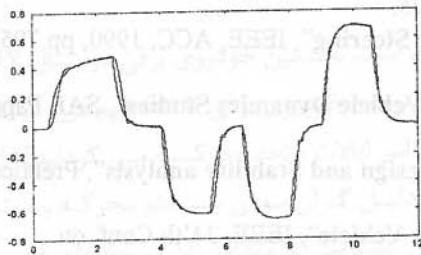
شکل (۵):  $r, r_{des}$  بدون وجود کنترل کننده



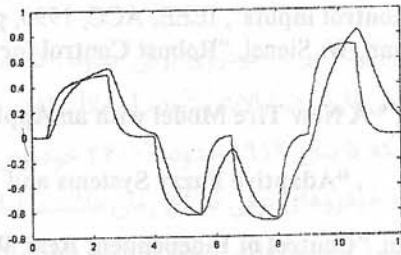
شکل (۸): مسیر حرکت خودرو در هر دو حالت



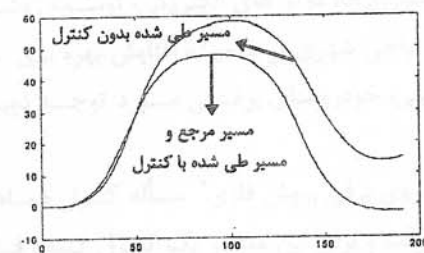
شکل (۷): تلاش کنترلی لازم ( $T_{diff}$ )



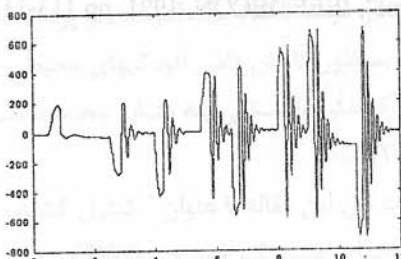
شکل (۱۰):  $r, r_{des}$  با اعمال کنترل کننده



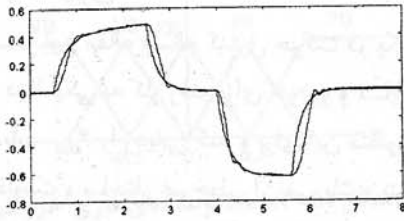
شکل (۹):  $r, r_{des}$  بدون وجود کنترل کننده



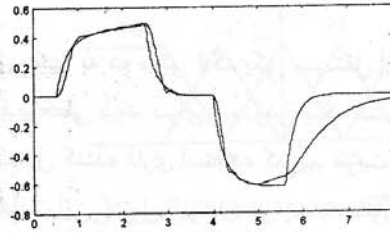
شکل (۱۲): مسیر حرکت خودرو در هر دو حالت



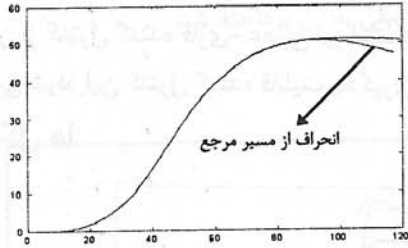
شکل (۱۱): تلاش کنترلی لازم ( $T_{diff}$ )



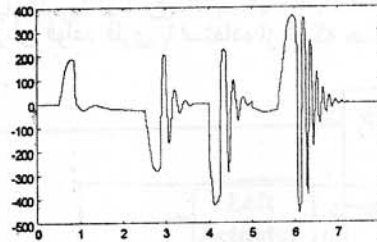
شکل (۱۴):  $r, r_{des}$ , با اعمال کنترل کننده



شکل (۱۳):  $r, r_{des}$ , بدون وجود کنترل کننده  
(در هنگام تغییر ضریب اصطکاک سطح جاده)



شکل (۱۶): مسیر حرکت خودرو در هر دو حالت



شکل (۱۵): تلاش کنترلی لازم ( $T_{diff}$ )

## ۷-مراجع

- [1]. C.C. Chan, K.T. Chau, "An Overview of Electric Vehicles - Challenges and Opportunities", IEEE, IECON, 1996, pp.1-6.
- [2]. Liuchen Chang, "Recent Developments of Electric Vehicles and their Propulsion Systems", IEEE, AES, System magazine, December 1993, pp.1-6.
- [3]. U-Chang, E. Namgeory, S. Sul, "Torque Steering Control of 4-Wheel Drive Electric Vehicles", IEEE, Inter. Symp. on Power Electronics in Transportation, pp. 159-164, 1996.
- [4]. H. Peng, M. Tomizuka, "Vehicle Lateral Control for Highway Automation", IEEE, Acc, 1990, pp.788-794.
- [5]. J. Langheim, J. Fetz, "Driving Behaviour of Vehicle With Two Induction Motor for Rear Wheels", 11'th Electric Vehicle Sympos. (EVS-11), 1992, Italy, pp.5\_10/1-5\_10/11.
- [6]. N. Matsumoto, M. Tomizuka, "Vehicle Lateral Velocity and Yaw Rate control with two Independent control inputs", IEEE, ACC, 1990, pp.1868-1875.
- [7]. J. Ackermann, W. Sienel, "Robust Control for Automatic Steering", IEEE, ACC, 1990, pp.795-800.
- [8]. E. Bakker, "A New Tire Model with an Application in Vehicle Dynamics Studies", SAE Paper, 890087, 1989.
- [9]. Li-X, "Adaptive Fuzzy Systems and Control; Design and Stability analysis", Prentice-Hall, 1994.
- [10]. P. Sharvin, "Control of Independent Rear Wheel Drive Vehicle", IEEE, 34'th Conf. on Decision and Control, 1995, pp. 4380-4384.
- [11]. N. Matsumoto, h. Kuraoka, M. Ohaba, "An Experimental Study on Vehicle Lateral and Yaw Motion Control", IEEE, IECON, 1991, pp.113-118.