

طراحی و شبیه‌سازی زمان واقعی سیستم ترمز ضدقفل پیش‌بین فازی

مجتبی بهنام تقدسی^۱، وحید جوهری مجد^۲، حمیدرضا مؤمنی^۳

گروه مهندسی کنترل، دانشگاه تربیت مدرس

majd@modares.ac.ir

چکیده

در این مقاله یک کنترلر فازی پیش‌بین برای سیستم ترمز ضدقفل، طراحی گردیده که با استفاده از دو متغیر ضریب لغزش چرخ و تغییرات آن، فشار روغن ترمز را بگونه‌ای تغییر می‌دهد که تحت وضعیت‌های مختلف جاده‌ای، ضریب اصطکاک طولی بین تایرها و سطح جاده در نزدیکی مقدار بیشینه خود قرار گیرد. شبیه‌سازی‌ها بر روی یک مدل ¼ خودرو که در محیط کارگاه زمان واقعی نرم افزار مطلب انجام گرفته نشان می‌دهد که کنترلر فازی طراحی شده توانسته در تغییر وضعیت جاده از خشک به یخی، ضریب لغزش چرخ را به سمت ضریب لغزش قلّه سوق دهد.

واژه‌های کلیدی: سیستم ترمز ضدقفل - کنترلر فازی پیش‌بین - کارگاه زمان واقعی

۱- مقدمه

عیب ترمزهای معمولی اینست که راننده هیچ کنترل دقیقی بر روی فشار ترمز اعمال شده به چرخها ندارد و در صورت لغزنده بودن جاده ویا در مواقع ترمز اضطراری، فشرده شدن بیش از حد پدال ترمز باعث اعمال گشتاور ترمز بیش از حد نیاز به چرخها شده و این امر باعث قفل شدن چرخها می‌گردد. در این حالت علاوه بر اینکه مسافت توقف خودرو افزایش می‌یابد، پایداری جانبی و فرمانپذیری خودرو نیز بطور کامل از بین می‌رود که این امر بسیار خطرآفرین می‌باشد.

سیستم ترمز ضدقفل (Anti-lock Braking System) یک سیستم ایمنی خودرو است که هرگاه لغزش چرخها بیش از حد مجاز گردد، بصورت اتوماتیک وارد عمل شده و کنترل فشار ترمز را بعهد می‌گیرد بنحوی که اولاً مسافت ترمز حداقل گشته و ثانیاً فرمانپذیری و پایداری جانبی خودرو حفظ گردد.

بطور کمی، هدف سیستم ترمز ضدقفل را می‌توان بیشینه کردن اصطکاک طولی بین تایرها و سطح جاده در نظر گرفت. این اصطکاک، خود تابعی از عوامل مختلف می‌باشد که مهمترین آنها ضریب لغزش و وضعیت جاده می‌باشد. هر وضعیت جاده‌ای دارای یک محدوده لغزشی است که در آن محدوده بیشترین اصطکاک طولی بین تایر و جاده برقرار است. لغزشی که در آن بیشترین اصطکاک طولی بین تایر و جاده وجود دارد را لغزش قلّه یا لغزش بهینه می‌نامند. هدف ترمز ضدقفل تنظیم لغزش چرخها حول لغزش قلّه می‌باشد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد

۲- استادیار دانشگاه

۳- دانشیار دانشگاه

برای سیستم ترمز ضدقفل، تا کنون شیوه‌های کنترلی متنوعی ارائه شده است که از آن میان می‌توان به کنترلگرهای غیر خطی [1]، تطبیقی [2,3,4]، مقاوم [2]، عصبی [5]، فازی [6,7,8,9] و فازی تطبیقی [4,5] اشاره نمود. به عنوان نمونه در مرجع [6] کنترلگری فازی طراحی گردیده که در آن از ورودیهای لغزش، تغییرات لغزش، تغییرات شتاب و خروجی لحظه قبل کنترلگر استفاده نموده و با استفاده از استنتاج فازی توانسته لغزش را کنترل نماید. همچنین در مرجع [7] کنترلگری فازی طراحی گردیده که در آن از لغزش استفاده کرده و طی الگوریتمی وضعیت جاده را تخمین و سپس توسط یک مدل فازی ممدانی فرمان فشار را صادر می‌نماید. مرجع [8] از یک کنترلگر فازی با ورودیهای سرعت زاویه‌ای چرخ، شتاب چرخ و نیز تفاضل فشار روغن استفاده کرده و بدون محاسبه لغزش توانسته سیستم را کنترل نماید. همچنین در مرجع [9] نیز از یک کنترلگر فازی با ورودیهای خطا، نرخ خطا و انتگرال خطا استفاده شده و سپس با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی پیشرفته S.A. (Simulated Annealing) یک کنترلگر بهینه فازی بدست آمده است. در مرجع [5] یک کنترلگر فازی-عصبی طراحی شده است که در آن ابتدا با استفاده از یک بهینه‌ساز عصبی، لغزش بهینه تشخیص داده شده و سپس با استفاده از یک کنترلگر فازی با ورودی خطا، لغزش حول لغزش بهینه کنترل می‌گردد.

۲- دینامیک سیستم

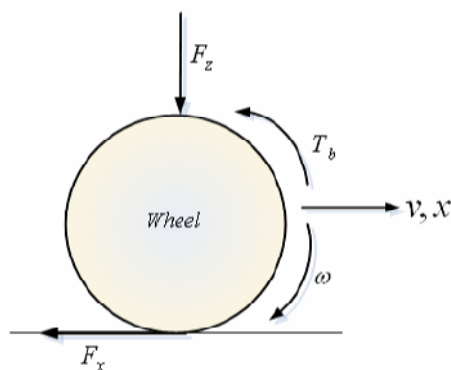
رابطه (۱) دینامیک چرخشی چرخ i ام ($i=1, \dots, 4$) خودرو را با فرض نداشتن حرکت عرضی نشان می‌دهد [6,1].

$$J\dot{\omega}_i = -T_{bi} \text{sign}(\omega_i) + R_e F_{xi} + T_{ei} - F(\omega) \quad (1)$$

که در آن J ممان اینرسی چرخ، ω سرعت زاویه‌ای چرخ، T_{bi} گشتاور ترمز چرخ i ام، R_e شعاع مؤثر گردش چرخ، F_{xi} نیروی اصطکاک چرخ و جاده، T_{ei} گشتاور موتور روی چرخ i ام که در هنگام ترمز، صفر در نظر گرفته می‌شود و $F(\omega)$ نیروی اصطکاک چرخ نسبت به محور خود می‌باشد که بصورت زیر مدل می‌گردد:

$$F(\omega) = B_r R_e F_{zi} \quad (2)$$

در رابطه (۲) B_r ضریب اصطکاک چرخش چرخ است که می‌تواند تابعی از ω باشد و F_{zi} نیروی عمودی وارد بر چرخ می‌باشد. جهت و نقطه اثر نیروهای وارد بر چرخ در حین ترمز در شکل (۱) نشان داده شده اند.



شکل ۱- جهت و نقطه اثر نیروهای وارد بر چرخ

رابطه (۳) دینامیک طولی (Longitude Dynamic) خودرو را نشان می‌دهد.

$$M\dot{v} = -\sum_{i=1}^4 F_{xi} - F_a(v) \quad (3)$$

در رابطه فوق v سرعت طولی خودرو، M جرم خودرو و F_a نیروی اصطکاک آبرو دینامیک می‌باشد که خود بصورت رابطه (۴) مدل می‌شود [6].

$$F_a(v) = B_v v^2 \quad (4)$$

که در آن B_v ضریب اصطکاک کشش (Drag) آبرو دینامیک می‌باشد.

نیروی اصطکاک بین چرخ و جاده که در روابط (۱) و (۳) استفاده شده است عبارتست از:

$$F_{xi} = \mu(\lambda_i)F_{zi} \quad (5)$$

در رابطه (۵) λ_i ضریب لغزش چرخ‌ها و μ ضریب اصطکاک طولی بین تایر و سطح جاده می‌باشد. همچنین معادلات نیروی عمودی (F_z) وارد بر محورهای چرخهای جلو و عقب خودروی در حال حرکت در مسیر مستقیم بواسطه انتقال وزن در اثر شتاب طولی خودرو از روابط (۶) و (۷) بدست می‌آیند [6].

$$F_{zf} = \frac{bMg}{a+b} + \frac{(F_{xf} + F_{xr})h}{a+b} \quad (6)$$

$$F_{zr} = \frac{aMg}{a+b} - \frac{(F_{xf} + F_{xr})h}{a+b} \quad (7)$$

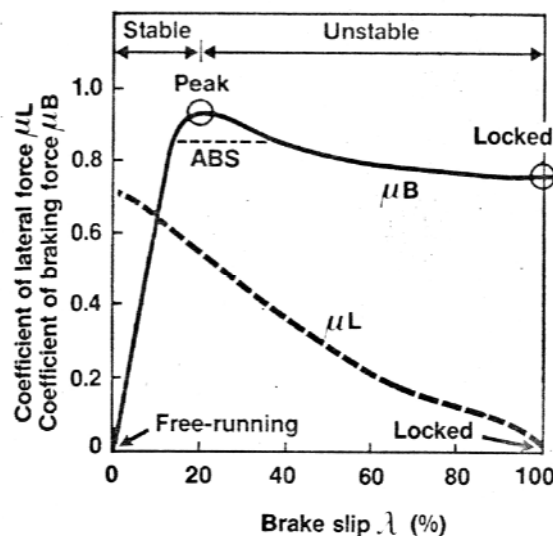
که در آنها h ارتفاع مرکز ثقل خودرو از سطح زمین، g شتاب جاذبه زمین، a و b به ترتیب فواصل مرکز ثقل از محورهای چرخهای جلو و عقب و F_{xf} و F_{xr} به ترتیب نیروهای اصطکاک بین جاده و چرخهای جلو و عقب می‌باشند.

برای بدست آوردن ضریب لغزش λ از رابطه زیر استفاده می‌گردد [5,6]:

$$\lambda = \frac{v - R_e \omega}{v} \times 100 \% \quad (8)$$

در رابطه فوق v سرعت طولی خودرو، ω سرعت زاویه‌ای چرخ و R_e شعاع مؤثر چرخ می‌باشند. سرعت زاویه‌ای چرخ معمولاً بطور مستقیم توسط حساسه مربوط اندازه‌گیری می‌شود، اما برای بدست آوردن سرعت طولی خودرو به علت گران بودن حساسه‌های سرعت طولی می‌توان از حساسه شتاب طولی خودرو استفاده نموده و از آن انتگرال‌گیری کنیم، در این صورت به سرعت طولی اولیه نیازمند خواهیم بود که می‌توان آنرا برابر با سرعت طولی چرخ ($R_e \omega$) قبل از فعال شدن ترمز دانست زیرا در وضعیت قبل از ترمزگیری عموماً لغزش برابر با صفر است.

شکل (۲) یک نمونه منحنی ضرایب اصطکاک طولی و جانبی بین چرخ و جاده بر حسب ضریب لغزش را نشان می‌دهد که در آن محدوده کاری ترمز ضدقفل نیز نشان داده شده است، همچنانکه مشهود است در حالت قفل‌شدگی ($\lambda = 100\%$)، ضریب اصطکاک جانبی چرخ و جاده صفر شده و لذا پایداری جانبی خودرو کاملاً از بین می‌رود.



شکل ۲- منحنی تغییرات ضرایب اصطکاک طولی و جانبی بین چرخ و جاده بر حسب ضریب لغزش

۳- ارزیابی منطق کنترلی

بدلیل انعطاف‌پذیری سیستم‌های فازی، در این مقاله برای کنترل سیستم ترمز ضدقفل، از دو کنترلگر فازی استفاده کرده‌ایم که توسط جعبه ابزار فازی نرم‌افزار مطلب آنها را تولید و در محیط کارگاه زمان واقعی شبیه‌سازی نموده‌ایم. در ادامه به تشریح کنترلگرهای فازی طراحی شده خواهیم پرداخت.

۳-۱- طراحی کنترلگر فازی سنتی

کنترلگر فازی اول یک کنترلگر مدل سوگنو (TSK) مرتبه صفر می‌باشد که با الهام از مرجع [5] و برای ایجاد امکان مقایسه با کنترلگر فازی پیش‌بین طراحی گردیده است. این کنترلگر از تنها متغیر خطای بین ضریب لغزش مطلوب (λ_{ref}) و ضریب لغزش واقعی به عنوان ورودی استفاده می‌کند. معادله نگاشت مدل TSK مرتبه صفر برای یک سیستم با n ورودی و یک خروجی بصورت زیر است [6,10]:

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M (\sum_{i=1}^n C^l) [\prod_{i=1}^n a_i^l(x_i)]}{\sum_{l=1}^M [\prod_{i=1}^n a_i^l(x_i)]} \quad (9)$$

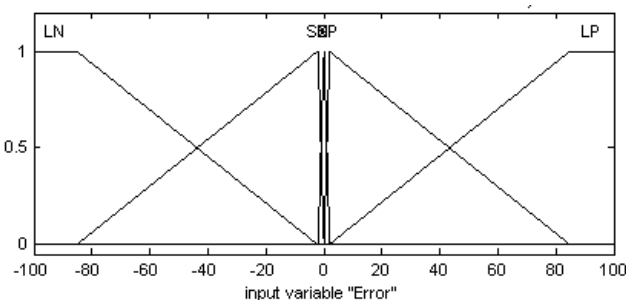
در رابطه فوق M تعداد قواعد فازی، x_i ورودی i ام و مقدار $a_i^l(x_i)$ تابع عضویت ورودی i ام مقدم قاعده l ام و C^l ضریب ثابت تالی قاعده l ام می‌باشد. در استنتاج فازی فوق از عملگر ضرب و جمع جبری به ترتیب برای اشتراک و اجتماع فازی استفاده شده است.

خطای ورودی به کنترلر فازی طبق رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$Error = \lambda_{ref} - \lambda \quad (10)$$

کنترلگر فازی طرح شده قابلیت تنظیم ضریب لغزش چرخ حول هر ضریب لغزش دلخواه تعیین شده توسط کاربر (λ_{ref}) را داراست.

شکل (۳) مجموعه توابع عضویت در نظر گرفته شده برای ورودی خطا را نشان می‌دهد که در آن ۵ بازه فازی برای خطا در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- مجموعه توابع عضویت بکار رفته برای ورودی خطا

خروجی کنترلگر فازی عددی است که میزان گشتاور ترمز اعمالی به چرخها (T_b) را تعیین می‌کند. مجموعه قواعد بکاررفته در کنترلگر فازی فوق عبارتند از:

1. If (Error is LN) Then (Pressure is Dump1)
2. If (Error is SN) Then (Pressure is Dump2)
3. If (Error is Z) Then (Pressure is Hold)
4. If (Error is SP) Then (Pressure is Build2)
5. If (Error is LP) Then (Pressure is Build1)

ضرایب توابع تالی خروجی نیز در جدول (۱) آمده است که لازم بذکر است این ضرایب بصورت تجربی بدست آمده‌اند.

جدول ۱- ضرایب ثابت مربوط به تالی قواعد کنترلر فازی

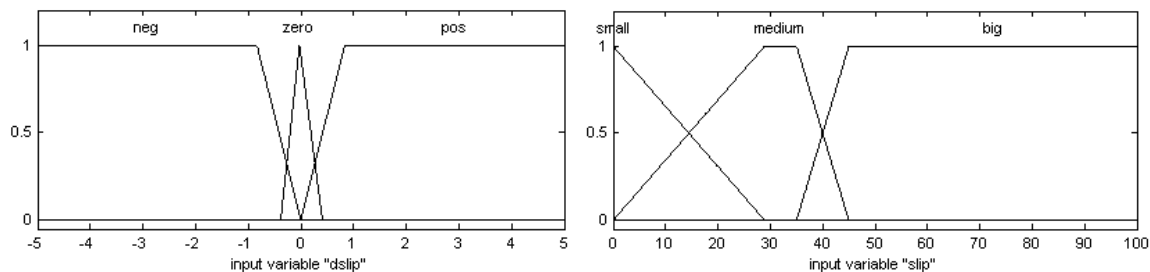
Dump1	Dump2	Hold	Build2	Build1
0	0	200	4000	5000

۳-۲- طراحی کنترلر فازی پیش‌بین

این کنترلر نیز از همان مدل فازی TSK مرتبه صفر جهت استنتاج فازی استفاده می‌کند با این تفاوت که در این کنترلر از دو متغیر لغزش (Slip) و تغییرات لغزش (dslip) به عنوان ورودیهای کنترلر فازی استفاده شده است. در استنتاج فازی فوق از عملگر ضرب و جمع جبری به ترتیب برای اشتراک (t-norm) و اجتماع (s-norm) فازی و از عملگر جمع وزن‌دار بعنوان فازی‌زدا (Defuzzifier) استفاده شده است.

همانطور که می‌دانیم اگر فرمان افزایش فشار صادر گردد، باعث افزایش لغزش گشته و اگر به موقع فرمان کاهش فشار صادر نگردد موجب قفل شدن چرخ خودرو می‌گردد. همچنین توقع ما اینست که اگر چرخ قفل شده است به محض صدور فرمان کاهش فشار، چرخ از حالت قفل شدگی خارج گردد، اما بدلیل لختی‌های سیستم مکانیکی من جمله اصطکاک ایستایی، این اتفاق سریعاً رخ نداده و با یک تأخیر همراه است. برای بهبود بخشیدن به این امر، از یک نوع پیش‌بینی در صدور فرمان افزایش و کاهش فشار استفاده می‌کنیم بدینصورت که اگر لغزش در یک محدوده متوسطی واقع شده باشد ولی تغییرات لغزش مثبت باشد (لغزش رو به افزایش) آنگاه پیش‌بینی می‌کنیم که تا لحظاتی بعد لغزش به بیش از لغزش قلّه رسیده و وضعیّت چرخ به سمت ناپایداری نزدیک خواهد شد لذا سریعاً فرمان کاهش فشار را صادر می‌نمائیم، همچنین اگر در همان محدوده لغزش، تغییرات لغزش منفی باشد (لغزش رو به کاهش) پیش‌بینی می‌کنیم که تا لحظاتی بعد لغزش به کمتر از لغزش بهینه خواهد رسید و لذا بلافاصله فرمان افزایش فشار را صادر می‌نمائیم.

شکل (۴) مجموعه توابع عضویت بکارگرفته شده برای متغیرهای لغزش و تغییرات لغزش را نشان می‌دهد که در آن ۳ بازه فازی برای هر یک از این متغیرها تعریف شده است. ضرایب خروجی تالی قواعد فازی نیز در جدول (۲) قرار گرفته‌اند.



شکل ۴- مجموعه توابع عضویت بکار گرفته شده در کنترلر فازی پیش‌بین

جدول ۲- ضرایب تالی قواعد فازی مربوط به کنترلر فازی پیش‌بین

Build	Build1	Hold	Dump1	Dump
3500	2500	100	80	0

لیست قواعد بکار رفته در کنترلر فوق به شرح زیر است :

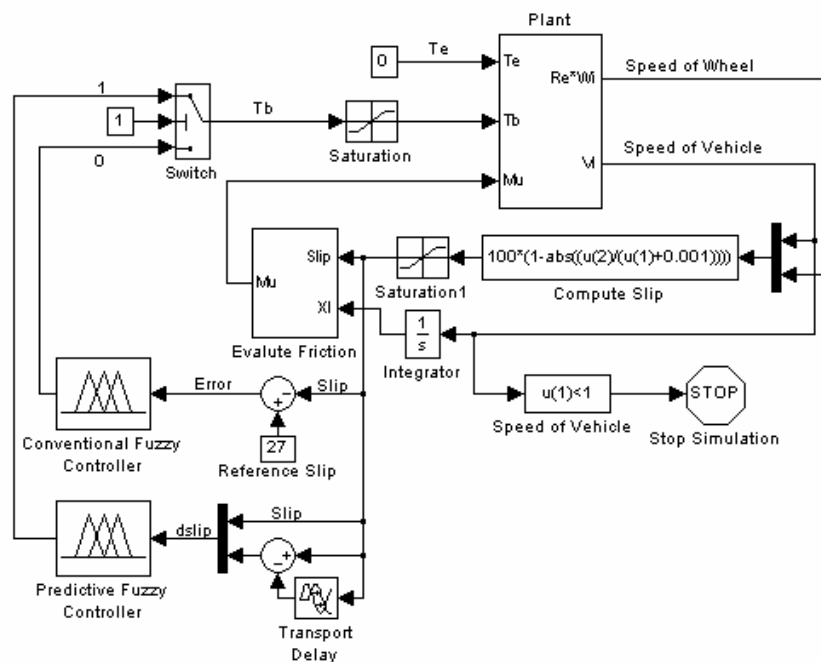
1. If (Slip is small) Then (Pressure is Build)
2. If (Slip is medium) and (dslip is neg) Then (Pressure is Build1)
3. If (Slip is medium) and (dslip is zero) Then (Pressure is Hold)
4. If (Slip is medium) and (dslip is pos) Then (Pressure is Dump1)
5. If (Slip is big) Then (Pressure is Dump)

مزیت این کنترلگر نسبت به کنترلگر فازی سنتی اینست که در کنترلگر سنتی حتماً باید لغزش قله توسط کاربر تعیین شود اما در کنترلگر پیشبین، بدون تعیین لغزش بهینه، کنترلگر لغزش چرخ را حول لغزش قله نگه می‌دارد، که نتایج شبیه‌سازی نشان داده شده در بخش بعد صحت این موضوع را نشان می‌دهد.

۴- شبیه‌سازی زمان واقعی

در این مرحله دینامیک خودرو به همراه کنترلگر فازی در محیط کارگاه زمان واقعی (Real-Time Workshop) نرم‌افزار مطلب (MATLAB) با زمان نمونه‌برداری ۱ میلی‌ثانیه و سرعت اولیه 30m/s شبیه‌سازی گردیده‌اند. مدل کامل کنترل فازی سیستم ترمز ضدقفل در شکل (۵) آمده است.

در مدل فوق سوئیچی تعبیه شده است که توسط آن می‌توان نوع کنترلگر (سنتی یا پیشبین) را انتخاب نمود. همچنانکه در بخش ۳-۲ ذکر شد، برای اعمال کنترلگر فازی سنتی حتماً باید لغزش قله را تعیین کنیم و مثلاً اگر لغزش بهینه جاده خشک را وارد کنیم این کنترلگر فقط برای جاده خشک کیفیت مطلوب را خواهد داشت. اگر بخواهیم برای تمامی جاده‌ها از این کنترلگر استفاده کنیم مجبوریم مقدار لغزشی مابین لغزش قله جاده خشک و یخی را بعنوان لغزش بهینه وارد کرده و در واقع افت کیفیت عملکرد کنترلگر را در هر دو نوع جاده بپذیریم.



شکل ۵- مدل کامل کنترل فازی سیستم ترمز ضدقفل

جدول (۳) نتایج حاصل از اعمال کنترلگر سنتی را با لغزشهای قله متفاوت و بر روی جاده‌های مختلف نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در منحنی‌های لغزش- اصطکاک بکارگرفته شده برای جاده‌های خشک و یخی، لغزشهای قله برای جاده‌های خشک و یخی به ترتیب ۰.۱۷٪ و ۰.۲۸/۵٪ می‌باشد. همچنین در جدول (۳) حالتی که ۲۵ متر اول جاده خشک است و سپس ۲۵ متر جاده یخی شده و مجدداً خشک می‌گردد نیز لحاظ شده است.

جدول ۳- نتایج حاصل از اعمال کنترلگر فازی سنتی به سیستم ترمز ضدقفل

مسافت ترمز برای جاده با دو ضریب اصطکاک (m)	مسافت ترمز برای جاده یخی (m)	مسافت ترمز برای جاده خشک (m)	لغزش قله تعیین شده
--	------------------------------	------------------------------	--------------------

17	45.17	263.5	65.99
28.5	46.55	200.4	65.81
26	46.21	201.7	65.55
بدون ABS	57.97	386	79.02

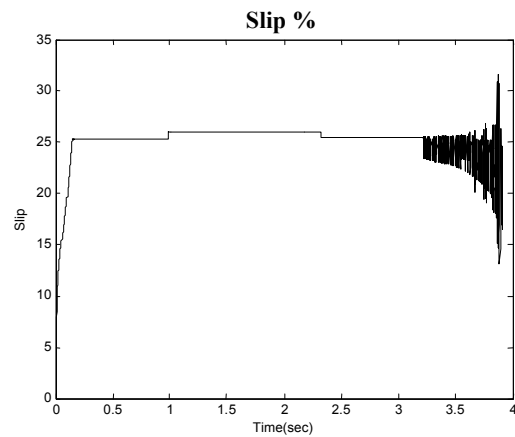
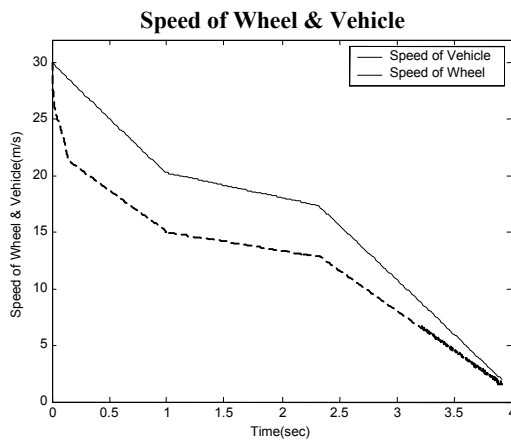
همچنانکه مشاهده می‌شود در بهترین حالتی که لغزش قله را بین لغزش قله جاده خشک و یخی قرار داده‌ایم، خطاهایی با عملکرد بهینه دارد که مجبوریم بپذیریم.

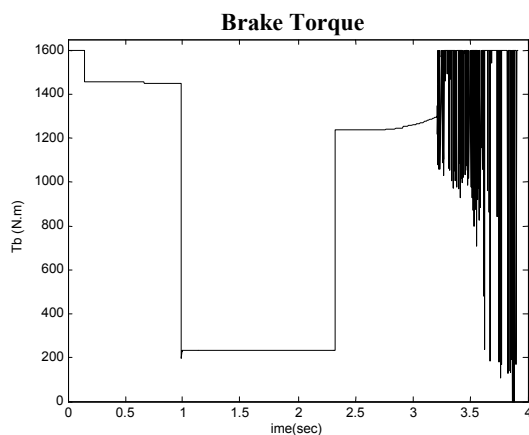
حال کنترلگر فازی پیش‌بین را بدون تعیین هیچ لغزش قله‌ای به سیستم فوق اعمال کرده و مسافت ترمز در حالات مختلف را در جدول (۴) آورده‌ایم.

جدول ۴- نتایج حاصل از اعمال کنترلگر فازی پیش‌بین به سیستم ترمز ضدقفل

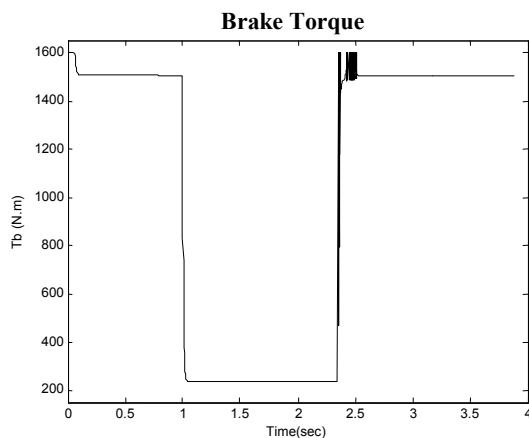
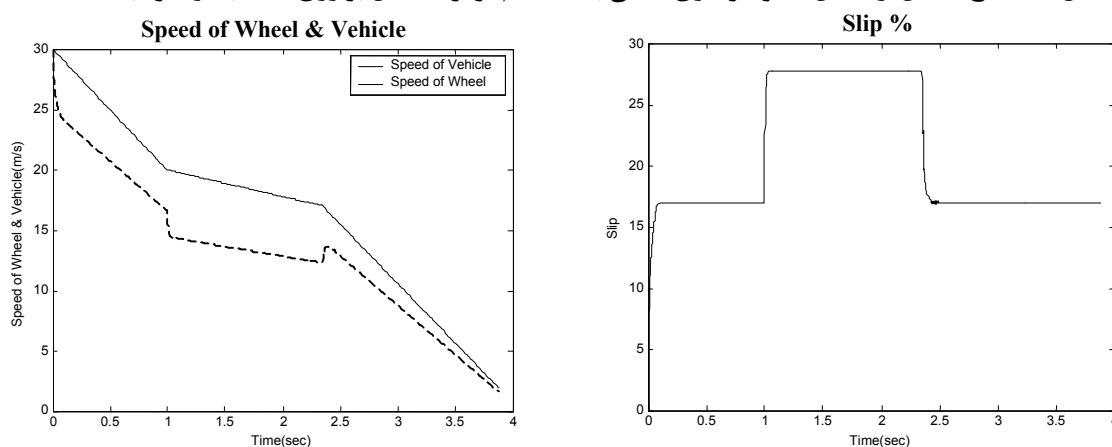
مسافت ترمز برای جاده خشک (m)	مسافت ترمز برای جاده یخی (m)	مسافت ترمز برای جاده با دو ضریب اصطکاک (m)
45.17	200.4	64.65

همچنانکه مشهود است کنترلگر پیش‌بین بدون نیاز به تعیین لغزش قله، مسافت ترمز را بهینه می‌نماید. منحنی‌های لغزش، سرعت خطی چرخ و خودرو و گشتاور ترمز اعمالی به خودرو، حاصل از اعمال کنترلگرهای سنتی و پیش‌بین به سیستم ترمز ضدقفل، برای جاده‌ای با دو ضریب اصطکاک در شکل‌های (6) و (7) آمده است. همچنانکه در نتایج مشهود است، کنترلگر فازی پیش‌بین توانسته است در جاده‌های خشک و یخی، بصورت خودکار لغزش را حول لغزش بهینه تنظیم نماید در حالیکه کنترلگر فازی سنتی چنین قابلیت را نداشته و فقط توانسته لغزش را حول لغزش قله تعیین شده‌اش ($\lambda_{ref} = 26$) تنظیم کند.





شکل ۶- نتایج حاصل از اعمال کنترلگر فازی سنتی به سیستم ترمز ضدقفل بر روی جاده با دو ضریب اصطکاک



شکل ۷- نتایج حاصل از اعمال کنترلگر فازی پیش‌بین به سیستم ترمز ضدقفل بر روی جاده با دو ضریب اصطکاک

۵- نتیجه‌گیری

برای دستیابی به اصطکاک بهینه بین چرخ و جاده، باید ضریب لغزش چرخ را روی لغزش قله تنظیم نمود. با عنایت به اینکه ضریب لغزش، با تغییر وضعیت جاده و شرایط محیط، تغییر نموده و نیز با توجه به تأخیرهای مکانیکی که در اعمال فرمان کنترلی به سیستم ترمز ضدقفل وجود دارد، لذا کنترلگری نیاز می‌باشد که بتواند علاوه بر حل مشکل تأخیر، لغزش چرخ را نیز در جاده‌های مختلف به سمت لغزش بهینه سوق دهد.

در این مقاله یک کنترلگر فازی پیش‌بین برای سیستم ترمز ضدقفل طراحی گردیده است که با استفاده از دو متغیر لغزش و تغییرات لغزش و با استفاده از یک مکانیزم پیش‌بین، گشتاور ترمز خودرو را کنترل می‌نماید. با توجه به شبیه‌سازی که در کارگاه زمان واقعی صورت گرفته است می‌بینیم که این کنترلگر توانسته است در شرایط جاده‌ای مختلف، لغزش چرخ را به سمت لغزش قلّه سوق دهد. در حالت کلی می‌توان برای بهبود کنترل سیستم‌های دارای تأخیر، از منطق پیش‌بین استفاده نمود.

مراجع

- [1] S.Darkunov,U.Ozguner,P.Dix and B.Ashrafi (1995) "ABS Control using Optimum Search via Sliding Modes", IEEE Trans. On control System Technology,vol.3,no.1,pp79-85
- [2] J.S.Yu (1997) "A Robust Adaptive Wheel-slip Controller for Antilock Brake System", conf. on Decision & control, pp2545-2546
- [۳] ساقی، خلیل (۱۳۸۱) "طراحی و شبیه سازی زمان واقعی کنترل تطبیقی سیستم ترمز ضد لغزش برای مدل یک دوم خودرو"، پایان نامه کارشناسی ارشد - دانشگاه تربیت مدرس
- [۴] جوهری مجد، وحید، صفایی منظر، نصرت (۱۳۸۱) "طراحی یک کنترلگر فازی دیجیتال خود تنظیم برای سیستم ترمز ضد قفل"، کنفرانس سالانه بین المللی مکانیک- صص ۵۲۴-۵۵۱
- [5] Y. Lee and S. H. Zak (2002) "Designing a Genetic Neural Fuzzy Antilock-Brake-System Controller", IEEE Trans. On Evolutionary Computation, Vol. 6,NO. 2, pp. 198-211
- [۶] درهمی، ولی (۱۳۷۷) "طراحی کنترل کننده برای یک سیستم ترمز ضد قفل با استفاده از منطق فازی"، پایان نامه کارشناسی ارشد- دانشگاه تربیت مدرس
- [7] G. F. Mauer (1995) "A Fuzzy Logic Controller for an ABS Braking System" IEEE Trans. On Fuzzy Systems , Nov. 1995, Vol. 3, No. 4, pp. 381-388.
- [8] C. Chen and Y. Wang (1996) "Fuzzy Control for the Anti-lock Brake System", IEEE. Int.Conference.
- [9] C. Sobottka and T. Singh (1996) "Optimal Fuzzy Logic Control for an Anti-lock Braking System", IEEE. Int.Conference on Control Applications.
- [10] L. X. Wang (1997) "A Course in Fuzzy Systems and Control",Prentice-Hall Inc., N.J.