عملکرد سیستم های کنترل ایمنی فعال در کنترل حرکت چرخشی- جانبی خودرو

محمد حسین عباس نژاد[1]
رضا کربلایی محمد علی[2]

تاریخ دریافت : ۱۳۸۸/۰۵/۰۶
تاریخ پذیرش : ۱۳۸۸/۰۷/۱۸

چکیده

در این پژوهش، سیستم های کنترل ایمنی فعال معرفی و عملکرد هر یک در کنترل رفتار دینامیکی خودرو بررسی می شوند. در میان آنها سیستم هایی که مستقیما حرکت چرخشی و جانبی خودرو را تحت کنترل قرار می دهند (برنامه پایداری الکترونیکی[3]، کنترل فعال چرخ‌های جلو[4] و کنترل فعال چرخ های عقب[5]) شناسایی می شوند. در ادامه نقش کنترل هر یک از متغیرهای حرکتی سرعت چرخشی و لغزش جانبی در کنترل حرکت چرخشی- جانبی خودرو مورد مطالعه قرار می گیرند. سپس مدلی از خودرو که بتواند حرکت چرخشی و جانبی خودرو را در جاده به خوبی توصیف کند، انتخاب و در نرم افزار MATLAB/Simulink مدل‌سازی می شود. همچنین با طراحی یک کنترلر از نوع تناسبی- مشتقی[6] در واحد کنترل الکترونیکی[7] جهت جلوگیری از قفل شدن چرخ ها هنگام ترمز گیری، خودرو مدل‌سازی شده به سیستم ترمز ضد قفل[8] مجهز می شود. مدل فوق که فاقد سیستم های کنترلی ESP، AFS , ARS می‌باشد به عنوان خودرو کنترل نشده در نظر گرفته می شود. در مرحله بعد با بهره گیری از سیستم های کنترلی فوق (از مراجع معرفی شده) و اضافه شدن آنها به واحد کنترل الکترونیکی خودرو مدل‌سازی شده از مرحله قبل، مدل خودرو کنترل شده به دست می‌آید. از مدل فوق جهت نشان دادن توانایی سیستم های کنترلی اخیر در کنترل حرکت چرخشی- جانبی خودرو و همچنین تاثیر آنها بر رفتار راننده استفاده می شود. در جهت تحقق این امر، هر دو خودرو کنترل شده و کنترل نشده در یک مانور بحرانی تعویض خط دوگانه با حضور مدل راننده در نرم افزار MATLAB/Simulink تست می شوند. مانور در سرعتی بالا در جاده ای کاملا لغزنده (برفی) و تحت ترمزگیری شدید از جانب راننده شبیه سازی، و نتایج به صورت مقایسه ای ارائه می شوند.

کلید واژه ها: *سیستم های کنترل ایمنی فعال، ترمز ضد قفل، برنامه پایداری الکترونیکی، کنترل فعال چرخ های جلو، کنترل مستقیم گشتاور چرخشی*[9]

---

[1] - کارشناس ارشد مدیریت آموزشی

[2] - کارشناس ارشد مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

[3] Electronic Stability Program (ESP)
[4] Active Front Steering (AFS)
[5] Active Rear Steering (ARS)
[6] PD Controller
[7] Electronic Control Unit (ECU)
[8] Anti-lock Braking System (ABS)
[9] Direct Yaw-moment Control (DYC)

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

تعداد کشته شدگان ناشی از حوادث رانندگی در نیمه دوم قرن بیستم در کشور ژاپن سالانه ۱۰۰۰۰ نفر گزارش شده است که تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که ۲۰ تا ۲۵ درصد از تصادفات فوق ناشی از انحراف و چرخش خودرو به دور خود می‌باشد [۱]. هر چند رانندگان ماهر با یک فرمان کوچک می توانند از حرکت دورانی و چرخشی خودرو جلوگیری کنند، با این حال در بعضی موارد به واسطه لغزندگی و شرایط بد حاکم بر سطح جاده، چسبندگی تایر با سطح جاده، کاهش یافته و بی توجه بودن رانندگان به این شرایط می تواند موجبات چرخش خودرو به دور خود را فراهم آورد. در این شرایط حتی یک تغییر جهت کوچک خودرو توسط راننده می تواند منجر به چرخش خودرو به دور خود یا سر خوردن در عرض جاده شود که تعجب و دست پاچگی راننده را در بردارد. در این حالت راننده به طور طبیعی شروع به اعمال فرمان های بزرگ و ترمزگیری های شدید می کند و این خود باعث بدتر شدن موقعیت می شود. در این موارد سیستم های ایمنی فعال به کمک راننده می رسند تا خودرو به راحتی کنترل شود [۲].

تاثیر به کارگیری سیستم‌های ایمنی فعال در بالا بردن امنیت رانندگی یک اتومبیل چنان بالا می‌باشد که در هنگام لزوم، این سیستم ها نه تنها کنترل آسان تر بلکه امنیت بیشتر را به راننده و سرنشینان اتومبیل ارزانی می دارند. آخرین پژوهش ها در زمینه امنیت رانندگی نشان داده است که شمار مرگ و میر سرنشینانی که اتومبیل های آنان از سیستم های ایمنی فعال بهره مند بوده نسبت به خودرو های فاقد این سیستم ها در جاده های خشک ۲۰ درصد و در جاده های برفی و یخ گرفته تا ۴۰ درصد کاهش داشته است [۳].

در این مقاله سعی شده است تا رفتار خودروهای دارای سیستم های کنترل ایمنی فعال در مقایسه با خودروهای فاقد آنها به تصویر کشیده شود تا اهمیت وجود این سیستم‌های کنترل ایمنی در خودرو هر چه بیشتر نشان داده شود. از این رو، ابتدا سیستم های ایمنی در خودرو در دو گروه تقسیم بندی و سپس نحوه عملکرد سیستم‌های ایمنی فعال در حالت کلی بیان و انواع آنها همراه با پیشینه ارائه خود بیان می شوند. در ادامه مدلی غیر خطی از خودرو با هفت درجه آزادی که مناسب ترین مدل برای تحلیل حرکت چرخشی- جانبی در سطح جاده می‌باشد [۴]، انتخاب و در نرم‌افزار MATLAB/Simulink مدل‌سازی می شود. سپس با طراحی یک کنترلر نوع PD، یک سیستم کنترلی ABS ارائه و با اضافه شدن آن به مدل، مدل خودروی فاقد

Archive of SID
www.SID.ir

سیستم کنترل مستقیم حرکت چرخشی- جانبی موسوم به خودروی کنترل نشده[1] مدل‌سازی می شود. با در نظر گرفتن سیستم های کنترل ایمنی فعال معرفی شده و اضافه شدن آنها به واحد کنترل الکترونیکی خودرو کنترل نشده، مدل خودرو کنترل‌شده[2] به دست می آید. در ادامه جاده ای برفی و کاملا لغزنده در نرم افزار MATLAB/Simulink شبیه سازی و هر دو خودرو مدل شده در یک مانور بحرانی تعویض خط دوگانه در شرایط فوق تست می شوند. در شبیه سازی های انجام شده، مقدار و تعداد دفعات تغییر جهت گردش فلکه فرمان توسط راننده در جهت کنترل خودرو، معیاری برای سنجش تاثیر سیستم های کنترل ایمنی فعال بر فعالیت فیزیکی و رفتار راننده می‌باشد. نتایج شبیه سازی حاکی از کاهش چشمگیر فعالیت فیزیکی راننده در امر هدایت خودرو با حضور سیستم های کنترل ایمنی فعال در کنترل حرکت چرخشی- جانبی خودرو است. همچنین مقایسه متغیرهای حرکتی سرعت چرخشی، لغزش جانبی و مسیر طی شده توسط دو خودرو کنترل شده و کنترل نشده بیانگر افزایش ایمنی و راحتی بیشتر سرنشینان خودرو دارای سیستم های کنترل ایمنی فعال در مقایسه خودروهای فاقد آن می‌باشد.

انواع سیستم های ایمنی در خودرو

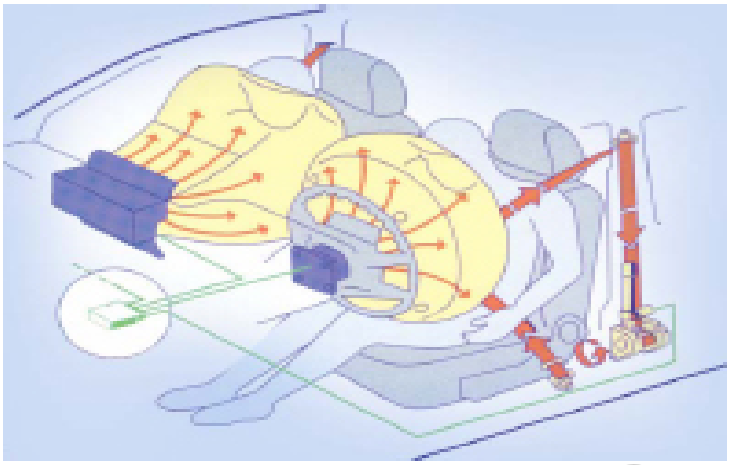
به طور کلی سیستم های ایمنی در خودرو در دو گروه عمده دسته بندی می شوند: سیستم های ایمنی غیر فعال و سیستم های ایمنی فعال.

سیستم های ایمنی غیر فعال تنها از رسیدن آسیب های جدی به سرنشینان داخل خودرو در هنگام تصادفات جلوگیری می کنند و عمدتا شامل کمربند ایمنی و کیسه‌های هوا می باشند. شکل یک نحوه عملکرد این سیستم ها را در خودرو نشان می‌دهد.

[1] Uncontrolled Vehicle
[2] Controlled Vehicle

Archive of SID

www.SID.ir



شکل یک- نحوه عملکرد سیستم های ایمنی غیر فعال در خودرو [۵]

اما از اواسط دهه هفتاد میلادی به منظور پیشگیری از وقوع تصادفات، استفاده از سیستم های ایمنی فعال در خودروهای سواری مطرح گردید [۵].

سیستم ترمز یکی از سیستم هایی است که در ارتباط مستقیم با ایمنی خودرو می‌باشد. در سیستم های ترمز معمولی در حین ترمزگیری های شدید احتمال قفل شدن چرخ‌ها بسیار زیاد می‌باشد. پدیده قفل شدن چرخ ها در هنگام ترمزگیری باعث افزایش فاصله توقف و کاهش یا عدم فرمان پذیری خودرو و در نهایت ناپایداری آن می گردد.

سیستم ترمز ABS اولین نمونه از سیستم های ایمنی فعال است که در اواخر دهه هفتاد میلادی در خودروهای لوکس بکار گرفته شد. سیستم فوق در هنگام ترمزگیری با کنترل لغزش هر یک از چرخ ها ضمن کاهش طول مسیر توقف بر فرمانپذیری و پایداری خودرو اثر مطلوب می گذارد. در سال ۱۹۷۸ شرکت آلمانی بوش[1] اولین سیستم ترمز ABS مدرن را برای مرسدس بنز توسعه داد. هم اینک عملکرد این سیستم به نحو چشمگیری بهبود پیدا کرده است و در حال حاضر حدود هفتاد درصد خودرو های تولید شده در دنیا به سیستم فوق مجهز شده اند. سیستم کنترلی ABS تشکیل شده است از یک واحد ECU که در آن محاسبات مربوط به لغزش چرخ ها و کنترلر انجام می شود و یک مدار هیدرولیکی که در آن فشار ترمزی برای جلوگیری از قفل شدن هر یک از چرخ ها تنظیم می شود [۵].

[1] Bosch

Archive of SID
www.SID.ir

در مرکز هر چرخ سنسوری برای اندازه گیری سرعت دورانی قرار داده شده است و لغزش هر یک از چرخ ها با سیگنال های ارسالی از سنسورهای فوق در واحد ECU محاسبه می شود. اگر یکی از چرخ ها در آستانه قفل شدن قرار گیرد، واحد هیدرولیکی ABS از افزایش بیشتر در فشار ترمزی جلوگیری می کند و اگر شرایط قفل شدن همچنان ادامه داشت، واحد هیدرولیکی شروع به کاهش فشار ترمزی می کند که این عمل ماکزیمم نیروی ترمزی را بدون قفل شدن چرخ ها به وجود می آورد. هنگامی که واحد هیدرولیکی ABS فشار ترمزی را در چرخ ها تنظیم (کم و زیاد) می کند راننده متوجه نوسان پدال ترمز می شود و با یک ثبات و مقاومت در برابر اقدام به تغییر موقعیت پدال ترمز در این شرایط مواجه می شود. همچنین ممکن است صدای مختصری از واحد هیدرولیکی نیز شنیده شود [۵].

سیستم کنترل رانش[1] نمونه دیگری از سیستم های ایمنی فعال است که از سال ۱۹۸۶ تجاری گردید. سیستم فوق اهداف سیستم ترمز ضد قفل را در هنگام شتاب گیری خودرو دنبال می نماید. این سیستم خواص رانشی چرخ های محرک را بهبود می بخشد و همچنین با جلوگیری از چرخش بیش از حد یک یا همه چرخ های محرک از انحراف خودرو به طرفین جلوگیری می کند [۷].

هنگامی که چرخ های محرک شروع به چرخش بیش از حد در زمان شروع حرکت یا در زمان شتابگیری کنند به طوری که منجر به لغزش شود، سیستم کنترلی TCS فشار ترمزی را برای کاهش سرعت در هر یک از چرخ های محرک به طور جداگانه افزایش می دهد. علاوه بر این در بعضی از شرایط واحد TCS می تواند سیگنال هایی را به واحد کنترل موتور ارسال کند و بسته به سرعت چرخشی چرخ های محرک، با از کار انداختن تعدادی از محفظه های پاشش سوخت (برای زمانی کوتاه) گشتاور موتور را کاهش دهد. قابل ذکر است که هر دو سیستم ABS و TCS تنها بر دینامیک طولی خودرو بطور مستقیم موثر هستند و دینامیک چرخشی- جانبی خودرو مستقیماً تحت کنترل آنها نمی‌باشد [۶].

در همین دهه سیستم های کنترلی چهار چرخ فرمان (ARS) در خودرو مطرح گردید. این سیستم ها با قابلیت فرمان دادن به چرخ های عقب، روش خوبی برای بالابردن پایداری و فرمان پذیری در خودرو می باشند و مستقیما حرکت چرخشی- جانبی خودرو را تحت تاثیر قرار می دهند. ولی به دلیل گرانی اجزاء عملگرهای این سیستم و

[1] Traction Control System (TCS)

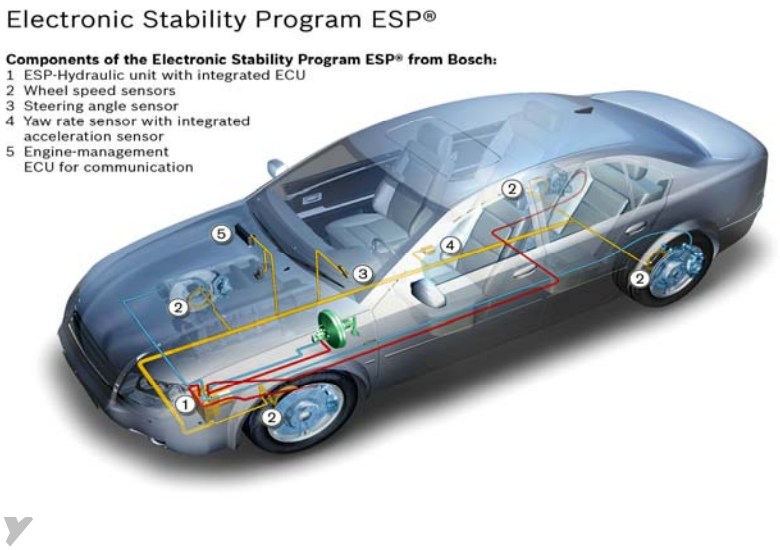
Archive of SID
www.SID.ir

تغییراتی که باید در طراحی شاسی اتومبیل داده شود این سیستم ها با استقبال زیادی مواجه نشدند [۷].

سیستم کنترل پایداری خودرو (ESP)

پس از فراگیر شدن استفاده از سیستم ABS در خودرو، به منظور هر چه بیشتر شدن ایمنی خودرو و تکمیل کار سیستم ABS/TCS، سیستم های کنترل دینامیکی و پایداری خودرو ارائه گردیدند. اولین سیستم کنترل پایداری توسط شرکت بوش با نام ESP در خودرو مرسدس بنز در سال ۱۹۹۵ ارائه شد. این اولین خودرو در دنیا بود که به این تکنولوژی مجهز شد و شامل سیستم کنترلی ABS/TCS بود. بعدها شرکت‌های خودروسازی دیگر این نوع سیستم کنترل پایداری را با نام های متفاوتی چون کنترل مستقیم گشتاور چرخشی (DYC) ارائه کردند [۵].

تحقیقات نشان می دهد که ESP تقریبا از ۱/۳ همه تصادفات مرگبار جلوگیری می‌کند. همچنین تخمین زده شد که تا سال ۲۰۰۶ به طور معمول و استاندارد ۴۰درصد از خودروهای تولیدی، مجهز به سیستم ESP شوند. سیستم های کنترل پایداری خودرو به دو سنسور شتاب جانبی و سرعت چرخشی و همچنین به یک سنسور برای اندازه‌گیری زاویه فرمان راننده مجهز می باشند که‌در شکل‌دو نشان داده شده است [۵].

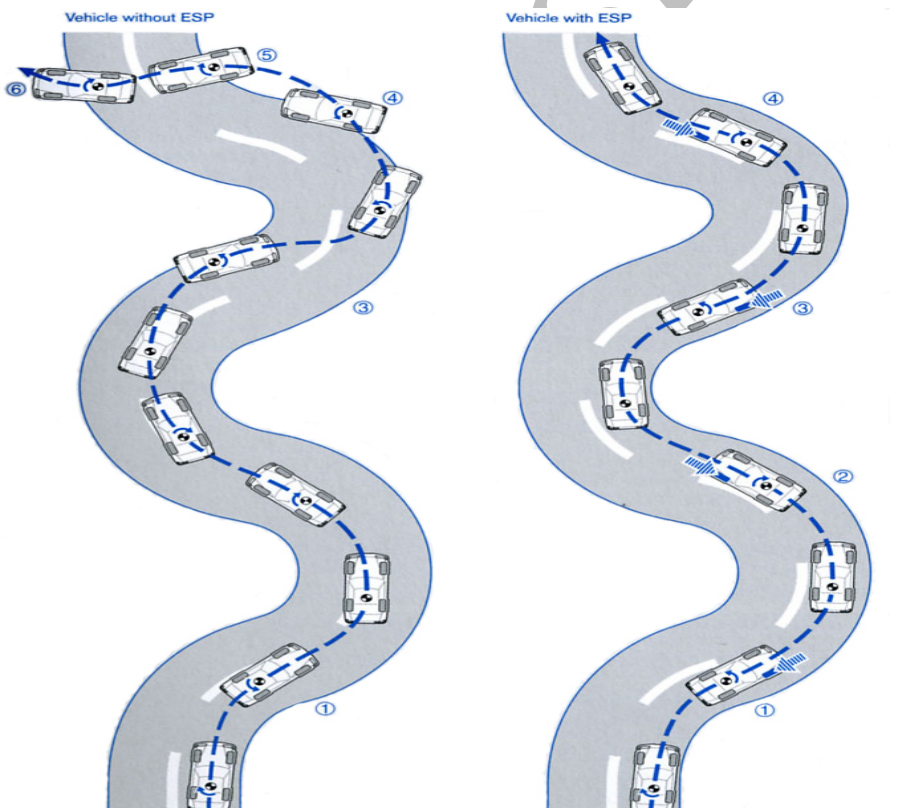


شکل دو- اجزای تشکیل دهنده سیستم کنترلی ESP در خودرو ساخته شده در شرکت بوش [۵]

www.SID.ir

سیستم ESP پایداری حرکتی خودرو را به کمک افزایش و یا کاهش دقیق و مورد نیاز نیروی ترمز بر روی هر کدام از چرخ های محور جلو و یا عقب به طور مستقل از هم و همچنین به کمک افزایش یا کاهش گشتاور تولید شده و اعمالی توسط موتور بر روی هر یک از چرخ ها و به طور مستقل از هم، خودرو را به حالت پایدار در می آورد. این سیستم با اندازه گیری زاویه فرمان، سرعت چرخشی و شتاب جانبی خودرو قادر به تشخیص اختلاف بین مسیرحرکت خودرو و مسیر مورد نظر راننده بوده و در نهایت با اعمال ورودی کنترلی (عمدتاً نیروهای ترمزی غیر یکسان) به طرفین خودرو حرکت آن را تصحیح می نماید.

در شکل سه مداخله ESP در سیستم ترمز برای تصحیح حرکت چرخشی خودرو نشان داده شده است. این سیستم در هر ثانیه ۲۵ بار وضعیت اتومبیل را کنترل می نماید که آیا اتومبیل بر روی خط حرکت قرار دارد یا خیر و ضمناً به سرعت از انحراف در لحظات اولیه جلوگیری می نماید و این فرقی نمی کند که اتومبیل در شتابگیری، در سرعت یکنواخت و یا در حال ترمزگیری باشد [۵].



شکل سه - مداخله ESP در سیستم ترمز برای تصحیح حرکت چرخشی [۵]

www.SID.ir

سیستم کنترل دینامیکی خودرو همواره در محدوده ظرفیت های فیزیکی و حرکتی خودرو، به طور اتوماتیک، تعادل و توازن خودرو را تنظیم خواهد کرد. اما در صورت رسیدن به مرز ظرفیت های حرکتی و فیزیکی (یعنی جائیکه با توجه به شرایط پیش آمده برای خودرو و شرایط محیطی سیستم کنترلی توانایی حفظ پایداری خودرو را نداشته باشد) از طریق لامپ های چشمک زن هشدار دهنده به راننده اخطار داده می‌شود که سیستم ESP غیر فعال شده و یا قادر به حفظ تعادل خودرو نمی‌باشد [۵].

به طور کلی مزایای به کارگیری سیستم ESP عبارتند از:

- تصحیح حرکت واقعی خودرو با توجه به مسیر دلخواه راننده؛
- بهبود فرمان پذیری خودرو در شرایط بحرانی؛
- کاهش خطر لغزش جانبی و طولی؛
- افزایش قابل توجه پایداری در مانورهای شدید و حرکت بر روی جاده های لغزنده؛
- امکان تبدیل آسان سیستم ABS به سیستم ESP؛
- عملکرد بهتر در حین ترمزگیری در پیچ ها و بر روی جاده های لغزنده نسبت به سیستم ABS.

متغیرهای کنترلی در سیستم های کنترل پایداری خودرو

با اعمال ورودی های راننده شامل زاویه فرمان، میزان فشردگی پدال ترمز و شتاب (سرعت طولی خودرو)، مقدار مطلوب متغیر حرکتی که مسیر خودرو را توصیف می کند به دست می آید و بدین ترتیب، در هر لحظه مسیر مطلوب راننده تعیین می شود. این متغیر حرکتی، سرعت چرخشی[1] خودرو نام دارد و مقدار مطلوب آن در هر لحظه از رابطه زیر محاسبه می شود [۱۶]:

$$r_{desired} = \frac{v_x \delta_{Driver}}{l + k_{us} v_x^2}$$ رابطه (۱)

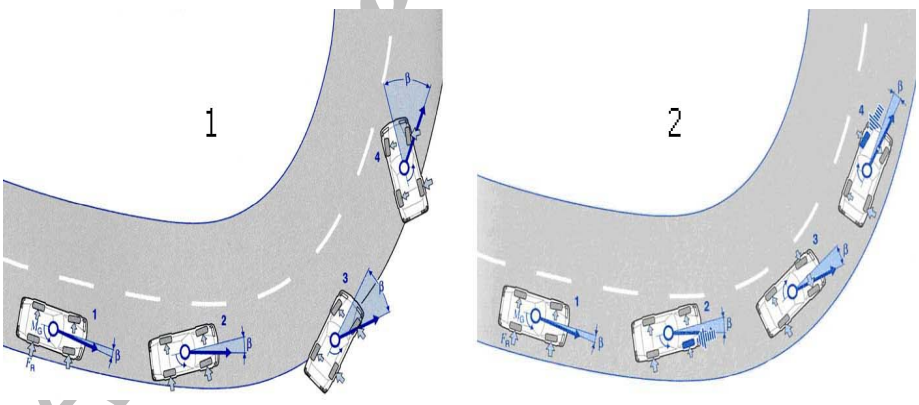
در رابطه فوق، $r_{desired}$ مقدار مطلوب سرعت چرخشی، v_x سرعت طولی خودرو، δ_{Driver} زاویه فرمان ورودی از جانب راننده، l طول خودرو و k_{us} گرادیان کند فرمان [۱۳] و مقداری ثابت می‌باشد. به نظر می رسد منطقی باشد که سیستم کنترلی طراحی شود

[1] Yaw Rate

Archive of SID
www.SID.ir

که میزان سرعت چرخشی خودرو را با مقدار مطلوب بدست آمده برابر سازد تا مسیری که خودرو طی می کند بر مسیر مورد نظر راننده منطبق شود. ولی در صورتی که سطح جاده لغزنده باشد و شتاب جانبی خودرو نتواند متناسب با افزایش سرعت چرخشی، زیاد شود (بواسطه کاهش چشمگیر نیروهای جانبی در سطح تماس تایر با جاده در اثر لغزنده بودن جاده) زاویه لغزش[1] خودرو (که در شکل چهار با β نشان داده شده است) سریعاً افزایش پیدا می کند. افزایش زاویه لغزش خودرو به معنای سر خوردن خودرو در عرض جاده و چرخش به دور خود می‌باشد. این رویداد در شکل چهار نشان داده شده است.

در هر دو شکل، خودرو یک مسیر را طی کرده است؛ ولی خودرو در شکل (۱) در انتهای مانور در حالتی ناپایدار قرار دارد که بدلیل افزایش فزاینده زاویه لغزش (β) می‌باشد. بنابراین هر دو مقدار سرعت چرخشی و زاویه لغزش خودرو باید متناسب با ضریب اصطکاک جاده کنترل شوند. بدین دلیل در سیستم های کنترل پایداری خودرو هر دو مقدار سرعت چرخشی و زاویه لغزش خودرو به عنوان متغیرهای کنترلی در نظر گرفته می‌شوند [۸]. بر روی آسفالت خشک حداکثر زاویه لغزش قابل قبول ۱۲ درجه است. درحالی که این مقدار در جاده های برفی و یخ بسته به ۲ درجه می رسد. هنگامی که زاویه لغزش خودرو بیش از این مقادیر شود، راننده احساس خواهد کرد که خودرو در حال سر خوردن در عرض جاده و چرخش به دور خود می‌باشد و امکان دارد کنترل خودرو از دست او خارج شود. این مساله باعث می شود که عجولانه تصمیم بگیرد و در بیشتر مواقع خودرو با ترمزگیری هایی ناگهانی از جانب راننده مواجه می شود [۲].



شکل چهار- تاثیر زاویه لغزش بر پایداری خودرو [۵]

[1] Slip Angle

www.SID.ir

آینده سیستم های کنترل پایداری خودرو

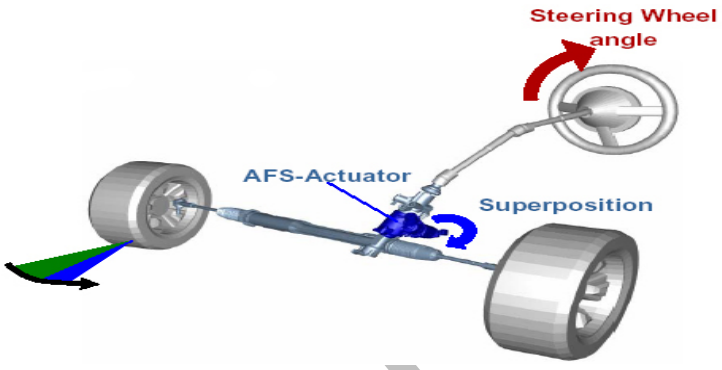
اصولا دو روش برای کنترل حرکت چرخشی- جانبی خودرو وجود دارد. یکی کنترل مستقیم گشتاور چرخشی، از طریق اعمال گشتاورهای ترمزی (اعمال نیروهای طولی غیر یکسان به طرفین خودرو) که اصول کار سیستم هایی از قبیل سیستم کنترلی ESP می‌باشد. دیگری روش غیر مستقیم برای کنترل گشتاور چرخشی از طریق کنترل نیروهای جانبی (سیستم های کنترلی فرمان فعال[1]) می‌باشد که با فرمان دادن به چرخ‌های عقب (ARS) یا با کنترل فرمان چرخ های جلو (تصحیح زاویه فرمان راننده (AFS)) انجام می شود. هر کدام از این دو روش برای کنترل گشتاور چرخشی (با توجه به ظرفیت های کنترلی خود) در خودرو در شرایط خاصی بهترین عملکرد را در بر دارند. از این رو ترکیب این دو روش از طریق یک واحد هماهنگ کننده[2] می تواند به نحو موثری در دینامیک رانشی خودرو تاثیر گذار باشد و متعاقب آن عملکرد بهتری را در دینامیک خودرو به همراه داشته باشد. در مدت مانورهای بحرانی و همچنین در شرایط رانندگی نرمال، سیستم ESP با ترمزگیری بر روی چرخ های تعیین شده پایداری خودرو را بهبود می بخشد. در این مدت راننده توزیع گشتاور ترمزی را بین چرخ ها احساس کرده و کاهش نامطلوب سرعت طولی خودرو را تجربه می کند. که این، خود می تواند منجر به یک عکس العمل نامطلوب از طرف راننده شود [۵]. در طرف مقابل ظرفیت دینامیکی سیستم های کنترلی فرمان فعال در مقایسه با سیستم های ESP پایین و محدود به شرایط نرمال رانندگی در جاده های خشک می‌باشد. از این رو به کارگیری سیستم های کنترلی ترمز فعال از قبیل سیستم هایی چون ESP در شرایط نرمال رانندگی توصیه نمی شود. با گسترش تکنولوژی کنترل با سیم[3]، سیستم های کنترلی فرمان به کمک سیم[4] یا همان فرمان فعال چرخ های جلو (AFS) بسیار مورد توجه قرار گرفت (شکل پنج). در این سیستم ها مقدار و جهت چرخش چرخ های جلو که توسط راننده تعیین می شود ابتدا توسط سیستم کنترلی AFS اصلاح و بعد به خودرو اعمال می شود [۱۲].

در سال ۲۰۰۳ شرکت آلمانی کانتیننتال توس[5] برای افزایش راحتی و ایمنی بیشتر با ترکیب سیستم های ESP و AFS در تولیدات خود، نسل جدیدی از سیستم های

[1] Active Steering
[2] Coordinator
[3] X-By-Wire (XBW)
[4] Steer-By-Wire (SBW)
[5] Continental Teves

Archive of SID
www.SID.ir

ESP را با عنوان ESPII ارائه کرد [۹و۱۰]. آنها مهم ترین مزایای این سیستم جدید را کاهش مسافت توقف، ایمنی و راحتی بیشتر برای راننده و سرنشینان به واسطه بهبود دینامیک طولی خودرو، فرمان پذیری بیشتر و کاهش فعالیت فیزیکی راننده بیان کردند. علاوه بر اینها پاسخ سریع عملگرهای سیستم فرمان به فرمان کنترلی نسبت به سیستم ترمز (پایین بودن تاخیر زمانی سیستم های فرمان نسبت به سیستم های ترمز) موجب شده تا ترکیب سیستم های کنترلی AFS به ESP بسیار مورد توجه قرار گیرد [۵]. در این سیستم فرمان، تمام رابط های مکانیکی حذف و به جای آن از مدارات الکترونیکی و کنترلی استفاده می شود [۱۲].



شکل پنج- طرح شماتیک سیستم AFS [۱۱]

مدل‌سازی دینامیکی خودرو، محیط و راننده

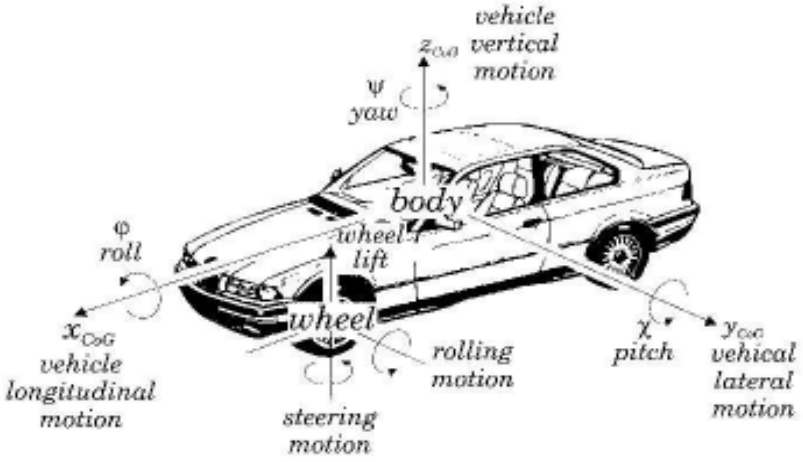
ارزیابی سیستم های ایمنی فعال خودرو در محیط های آزمایشگاهی، زمان بر، پر هزینه و در برخی موارد خطرناک است. امروزه شبیه سازی های کامپیوتری به عنوان راه حلی مناسب و ارزان قیمت، به منظور بررسی عملکرد سیستم های کنترلی شناخته شده اند و در میان شرکت های بزرگ خودرو سازی مرسوم گشته اند. مسلما هر چه شبیه سازی کامپیوتری به واقعیت نزدیکتر شود، سنجش عملکرد سیستم کنترلی به شکل دقیق‌تری انجام می گیرد [۱۹].

سه عنصر: ۱- خودرو ۲- محیط ۳- راننده، عناصر اصلی شبیه سازی مربوط به دینامیک حرکتی خودرو تلقی می‌شوند و در پژوهش حاضر هر سه بر اساس معادلات ریاضی در نرم افزار MATLAB/Simulink مدل می شوند.

Archive of
www.SID.ir

مدل‌سازی دینامیکی خودرو و تایر (محیط)

برای بیان رفتار دینامیکی خودرو و طراحی سیستم های کنترل دینامیکی، به مدلی ریاضی نیاز است که بتواند حرکت خودرو را هنگام فرمان دادن، ترمزگیری، شتابگیری و... به خوبی تعیین کند. انتخاب درجات آزادی اولین گام در مدل‌سازی خودرو محسوب می شود. همانطور که قبلا نیز اشاره شد مدل هفت درجه آزادی، مناسب ترین مدل برای پژوهش حاضر محسوب می شود. در شکل شش، درجات آزادی مختلف در یک خودرو نشان داده شده است. در بین این درجات آزادی، سه درجه آزادی که حرکت خودرو را در صفحه افق تعیین می کنند عبارتند از: حرکت طولی[1]، حرکت جانبی[2] و حرکت چرخشی[3]. این سه درجه آزادی به عنوان درجات آزادی اصلی برای بدنه خودرو در نظر گرفته می شوند. چهار درجه آزادی باقیمانده اختصاص به حرکت دورانی هر یک از چرخ ها[4] دارد.



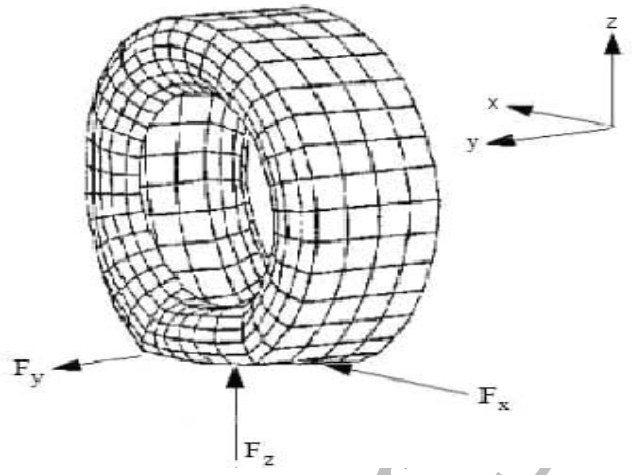
شکل شش- درجات آزادی مختلف در خودرو [۱۴]

در طول مراحل مدل‌سازی خودرو توجه به این نکته حائز اهمیت است که تمام نیروهای اعمالی به خودرو (شامل نیروهای کنترلی و نیروهای مزاحم، به غیر از نیروهای آیرودینامیک) در سطح تماس تایر با جاده ایجاد شده و از طریق تایر به خودرو وارد می‌شوند [۱۵].

[1] Vehicle Longitudinal Motion
[2] Vehicle Lateral Motion
[3] Vehicle Yaw Motion
[4] Wheels Rolling Motion

Archive of SID
www.SID.ir

آنچه گفته شد به این معنی است که نیروهایی که موجب می‌شوند خودرو دور بزند (F_Y)، شتاب بگیرد و یا متوقف شود (F_X)، تنها در سطح تماس تایر با جاده ایجاد می‌شوند که در شکل هفت نشان داده شده اند. بنابراین محاسبه صحیح این نیروها در شرایط مختلف جاده ای قسمت مهمی در مدل‌سازی خودرو محسوب می شود.



شکل هفت- نیروهای موثر بین تایر و جاده در مدل‌سازی تایر (محیط) [۱۵]

ذکر این نکته شایان توجه می‌باشد که مقادیر F_X و F_Y به شدت تحت تاثیر جنس تایر، شرایط سطح جاده و ضریب اصطکاک جاده می باشند؛ به طوری‌که هر چه سطح جاده لغزنده‌تر شود مقادیر نیروهای فوق نیز تنزل پیدا کرده و خودرو در وضعیت بحرانی‌تری قرار خواهد گرفت. در این شرایط سیستم های کنترل ایمنی فعال با اعمال ورودی های کنترلی به خودرو، مقادیر نیروهای فوق را در جهت هدایت خودرو کنترل می کنند. معادلات مربوط به مدل‌سازی با اعمال قانون دوم نیوتن به بدنه خودرو و هر یک از چرخ ها به دست می آیند که خواننده برای مطالعه جزئیات بیشتر در این خصوص به مرجع [۱۶] ارجاع داده می شود. در این مقاله تنها معادلات لغزش طولی تایرها بواسطه اهمیتی که دارند مورد بحث قرار می گیرند. لغزش طولی (λ) هر چرخ به صورت زیر تعریف می شود:

رابطه (۲) $$\lambda_i = \frac{r_w\omega_i - v_{xi}}{\max(r_w\omega_i, v_{xi})} \quad , \quad (i = 1,2,3,4)$$

رابطه اخیر برای دو حالت شتابگیری و ترمزگیری به صورت زیر قابل تفکیک می‌باشد :
لغزش در حالت شتابگیری :

Archive of SID
www.SID.ir

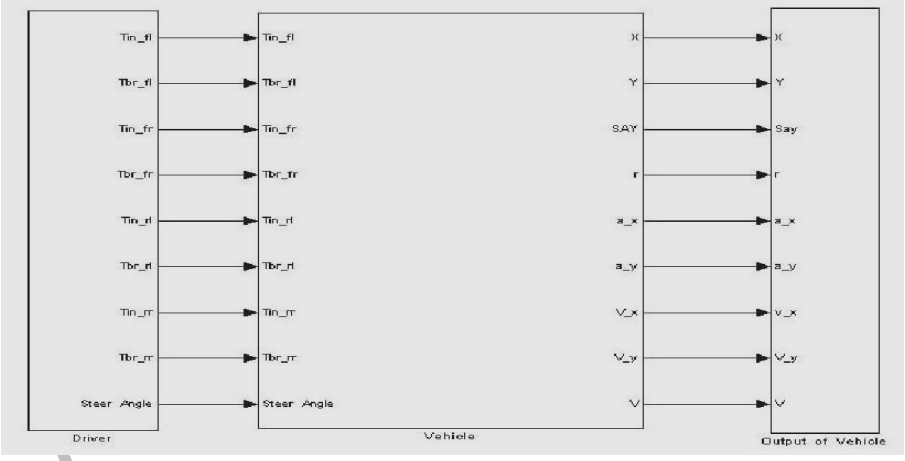
رابطه (۳) $\lambda_i = \frac{r_w\omega_i - v_{xi}}{r_w\omega_i} \quad , \quad r_w\omega_i > v_{xi} \quad , \quad (i = 1,2,3,4)$

لغزش در حالت ترمزگیری :

رابطه (۴) $\lambda_i = \frac{r_w\omega_i - v_{xi}}{v_{xi}} \quad , \quad v_{xi} > r_w\omega_i \quad , \quad (i = 1,2,3,4)$

در روابط فوق، ω سرعت زاویه ای چرخ ، v_x سرعت مرکز چرخ در راستای محور طولی (سرعت در چهار گوشه از خودرو) و r_w شعاع چرخ می‌باشد. لغزش طولی عامل اصلی تولید نیروی طولی در تایر می‌باشد. در این کمیت اگر $\omega = 0$ آنگاه $\lambda = -1$، یعنی ۱۰۰٪ لغزش داریم. این وضعیت بیانگر قفل کامل می‌باشد و این حالت در شرایطی اتفاق می افتد که راننده در جاده ای لغزنده اقدام به ترمز گیری کند که در این وضعیت خودرو روی سطح شروع به سر خوردن می کند. در صورتی که $v_x = 0$ آنگاه $\lambda = 1$، و باز هم ۱۰۰٪ لغزش بوجود آمده است و مشابه حالت قبل در صورتی که راننده روی جاده ای (مثلا روی جاده های شنی) به یکباره با فشار دادن پدال گاز گشتاور محرک زیادی را روی چرخ اعمال کند، در این صورت چرخ در جای خود شروع به چرخیدن می کند.

با استخراج معادلات دینامیکی خودرو، خودرو در نرم افزار MATLAB/Simulink مدل سازی می شود. شکل هشت شماتیک دیاگرام بلوکی آن را در حالت کلی نشان می‌دهد.



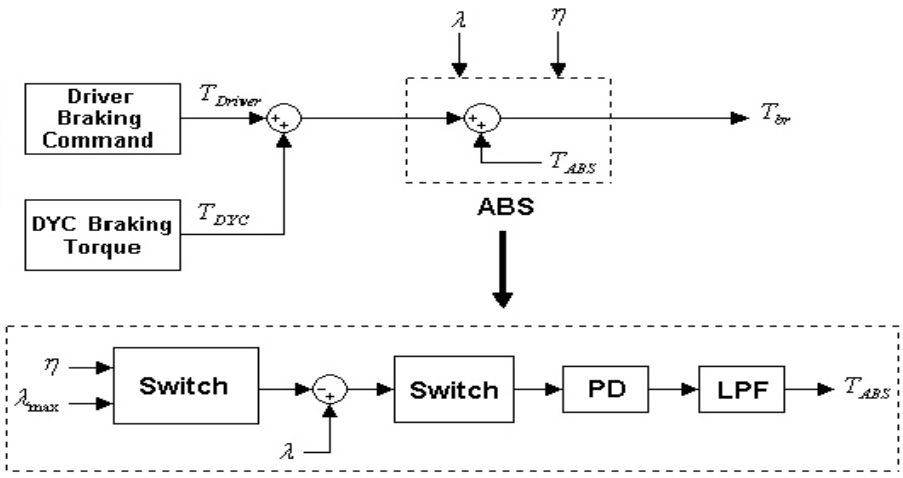
شکل هشت- مدل سازی مدل هفت درجه آزادی خودرو در نرم افزار Matlab/Simulink[۱۶]

Archive of SID
www.SID.ir

سیستم ترمز خودرو مدل‌سازی شده دارای یک ABS شامل یک کنترلر نوع PD می‌باشد که در شکل نه نشان داده شده است. قانون کنترلی در آن به فرم زیر بیان می‌شود:

$$T_{ABS} = k_{P_ABS} e_\lambda + k_{d_ABS} \frac{d}{dt} e_\lambda \qquad \text{رابطه (۵)}$$

که در رابطه فوق T_{ABS} سیگنال گشتاور ترمزی از جانب ABS (گشتاور ترمزی اعمالی به خودرو) و e_λ خطای بین لغزش طولی و مقدار ماکزیمم مجاز آن (۰.۱- و ۰.۲-) در خارج از محدوده کنترلی $|\lambda| \le |\lambda_{\max}|$ می‌باشد [۱۶]. بنابراین زمانیکه λ در محدوده کنترلی قرار دارد مقدار خطا صفر می‌باشد. k_{P_ABS}, k_{d_ABS} ضرایب کنترلی تناسبی و مشتقی می باشند. کنترلر PD به صورت دقیق و مطلوب لغزش چرخها را در محدوده کنترلی حفظ می نماید.



شکل نه- دیاگرام بلوکی سیستم ترمز

مطابق شکل نه، میزان ترمزگیری از جانب راننده (T_{Driver}) با مقدار محاسبه شده در ECU از جانب سیستم کنترلی ESP (یا DYC در پژوهش حاضر) (T_{DYC}) جمع و سپس وارد قسمت پردازشگر سیستم ABS می شود. این واحد از یک کنترلر PD، تابع سوئیچینگ[1] (η) و یک فیلتر پایین گذر[2] تشکیل شده است [۱۶].

[1] Switching Function
[2] Low Pass Filter (LPF)

Archive
www.SID.ir

با اضافه شدن سیستم های کنترل ایمنی فعال AFS/DYC طراحی شده در مراجع [۱۶و۱۷] به خودرو مدل‌سازی شده، مدل خودرو کنترل شده بدست می آید.

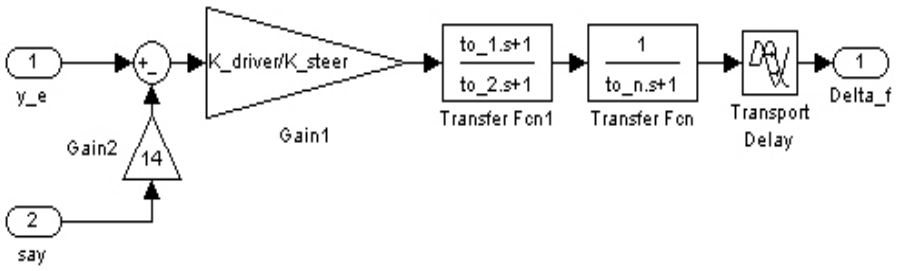
مدل‌سازی راننده

مدل‌سازی رفتار راننده به شکل معادلات ریاضی، کار بسیار مشکلی است. چرا که هیچ معادله ای نمی تواند پیچیدگی مغز انسان را تصویر نماید. از طرف دیگر، راننده خود را با شرایط محیطی گوناگون و همچنین انواع خودروها تطبیق می دهد. بنابراین تاکتیک و استراتژی او مدام در حال تغییر است. با این وجود، چندین محقق مدلهای مختلفی را به عنوان مدل راننده معرفی کرده اند. مدل های فوق به نوعی مدل های کنترلی هستند که یا دینامیک طولی و یا دینامیک جانبی خودرو را کنترل می کنند [۱۹].

در این پژوهش، از یک مدل ساده و در عین حال قوی برای راننده که دینامیک جانبی خودرو را کنترل می کند جهت بررسی و ارزیابی سیستم های کنترل ایمنی فعال بر رفتار راننده، استفاده شده است. رابطه ریاضی این مدل راننده به صورت زیر بیان می‌شود [۱۸]:

$$\frac{\Delta_d(s)}{E_d(s)} = \frac{K_{drv}}{K_{steer}}\left(\frac{\tau_1 s+1}{\tau_2 s+1}\right)\left(\frac{1}{\tau_n s+1}\right)e^{-\tau_d s} \qquad e_d = e + 14\psi \qquad \text{رابطه (۶)}$$

که در رابطه فوق e خطای بین تغییر مکان جانبی مطلوب راننده و تغییر مکان جانبی خودرو، ψ زاویه چرخش خودرو، S اپراتور تبدیل لاپلاس، $k_{drv}, k_{steer}, \tau_2, \tau_1$ پارامترهای راننده می باشند. شکل ده دیاگرام بلوکی مدل راننده را نشان می دهد.



شکل ده- دیاگرام بلوکی مدل راننده

Archive of SID
www.SID.ir

تاثیر سیستم کنترل ایمنی فعال AFS/DYC بر رفتار راننده در کنترل حرکت چرخشی- جانبی خودرو

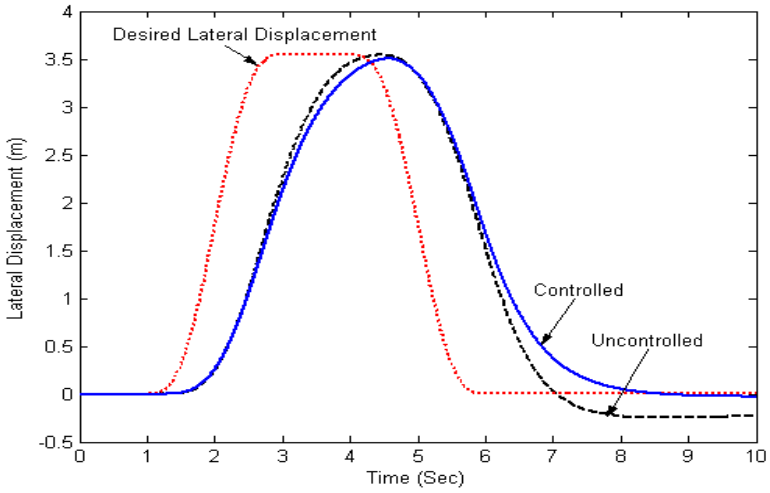
در این قسمت با شبیه سازی یک مانور تعویض خط دو گانه در شرایط بحرانی در نرم افزار MATLAB/Simulink سعی بر آن شده است تا تاثیر سیستم های کنترل ایمنی فعال بر رفتار راننده در کنترل حرکت چرخشی- جانبی خودرو نشان داده شود. در جهت نیل به این هدف، از خودرو مدل شده در قسمت قبل با پارامترهای داده شده در جدول یک [۱۷] در اجرای مانور استفاده می شود.

جدول یک- پارامترهای خودرو شبیه سازی شده

پارامتر	نماد	واحد	مقدار
جرم کل خودرو	m	kg	1482.7
ممان اینرسی چرخشی خودرو	I_z	kgm^2	1808.8
عرض خودرو	T	m	1.4375
فاصله محور جلو تا مرکز جرم خودرو	l_f	m	1.2247
فاصله محور عقب تا مرکز جرم خودرو	l_r	m	1.4375
شعاع چرخ ها	r_w	m	0.29
ممان اینرسی چرخ ها	I_w	kgm^2	1.5
ارتفاع مرکز جرم خودرو تا سطح جاده	h	m	0.5253

Archive of SID
www.SID.ir

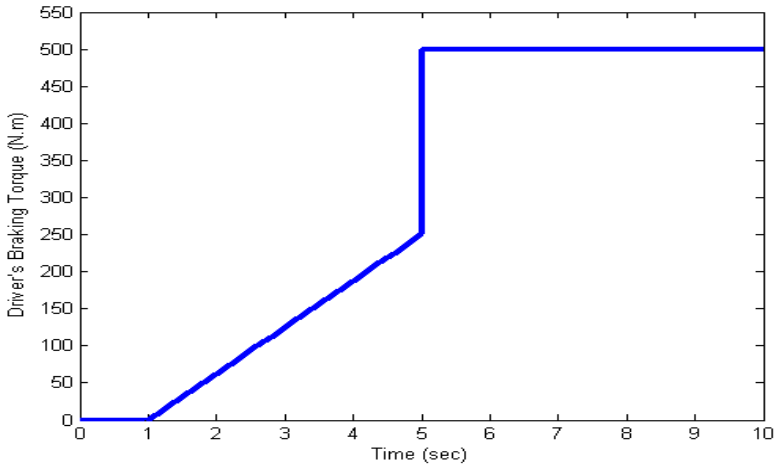
در این مانور خودرو با سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت در جاده ای لغزنده (برفی) با ضریب اصطکاک ۰.۲ در حال حرکت می‌باشد که ناگهان راننده مانعی در مسیر خود مشاهده می کند و برای عبور از آن مجبور به انجام مانور تعویض خط می شود. مسیری که خودرو باید طی کند (Desired Lateral Displacement)، مسیر طی شده توسط خودروی دارای سیستم کنترلی (Controlled) و مسیر طی شده توسط خودرو فاقد سیستم کنترلی (Uncontrolled) در شکل یازده نشان داده شده اند.



شکل یازده- مقایسه مسیر طی شده توسط دو خودرو کنترل شده و فاقد کنترل در مانور تعویض خط دو گانه

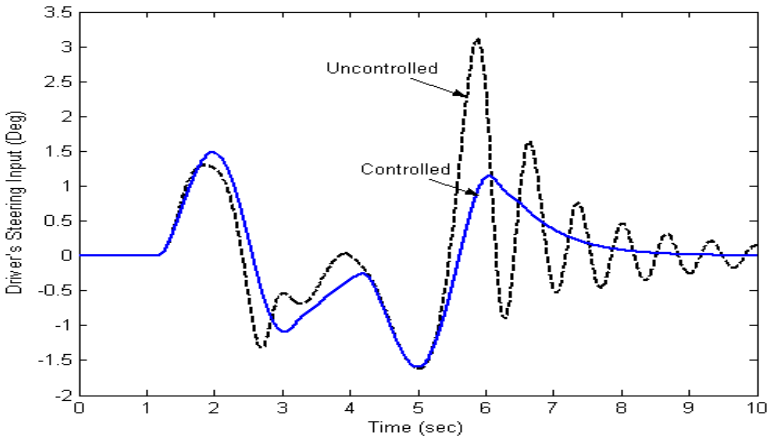
در ثانیه یکم و همزمان با شروع مانور، راننده به آرامی اقدام به فشردن پدال ترمز و کاهش سرعت خودرو می کند. در ثانیه پنجم، راننده به طور ناگهانی و به یکباره پدال ترمز را به طور کامل فشرده و گشتاور ترمزی سنگینی معادل ۵۰۰ نیوتن- متر تا انتهای مانور به خودرو اعمال می کند. نحوه تغییرات فشرده شدن پدال ترمز (گشتاور ترمزی اعمال شده به خودرو از جانب راننده در طول مانور) در شکل دوازده نشان داده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل دوازده- نحوه تغییرات گشتاور ترمزی اعمال شده به خودرو از جانب راننده

در این پژوهش، همان طور که قبلا نیز اشاره شد، معیار سنجش تاثیر سیستم کنترلی بر رفتار راننده و یا به عبارتی تاثیر آنها بر میزان فعالیت فیزیکی و ذهنی راننـده در جهـت کنترل حرکت چرخشی و جانبی خودرو، مقدار و تعداد دفعات تغییر جهت گردش فلکه فرمان توسط راننده می‌باشد. در شکل سیزده، زاویه فرمان اعمال شده به خودرو توسـط راننده (تغییرات گردش فلکه فرمان) در طول مانور نشان داده شده است.

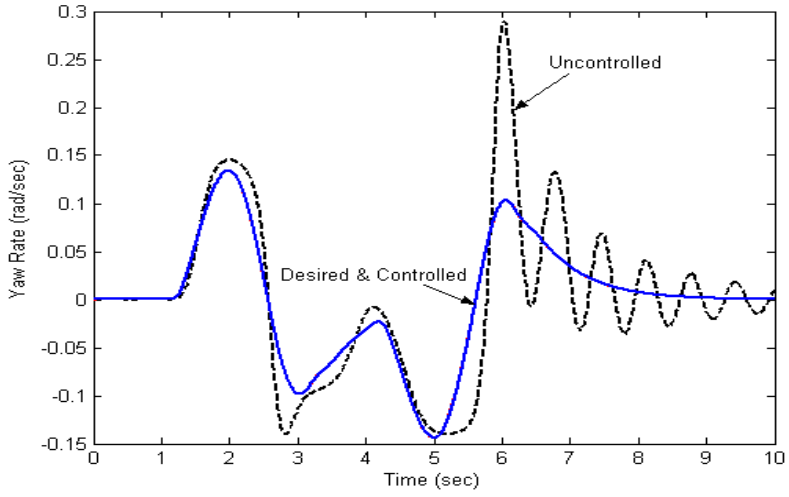


شکل سیزده- زاویه فرمان اعمال شده به خودرو توسط راننده در مانور تعویض خط دو گانه (تغییرات گردش فلکه فرمان)

www.SID.ir

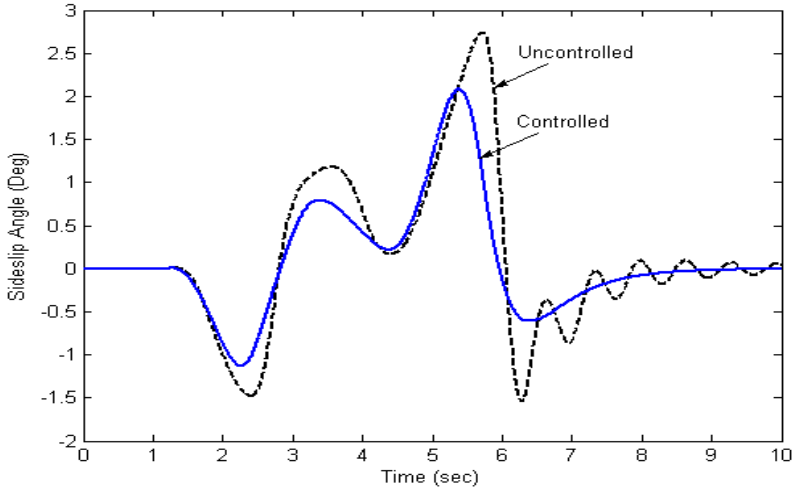
مطابق شکل فوق، تا ثانیه پنجم اختلاف چندانی بین فرمان اعمال شده از جانب راننده به دو خودرو کنترل شده و فاقد کنترل مشاهده نمی شود. اما از ثانیه پنجم بـه بعـد بـا فشرده شدن ناگهانی پدال ترمز و بحرانی تر شدن مـانور، رانـنـده خـودرو فاقـد سیسـتم کنترلی، با اعمال فرمان بزرگ، نوسانی و با تغییر جهت گردش فلکه فرمـان بـه صـورت متناوب به طرفین تا انتهای مانور، با حداکثر توان فیزیکی و ذهنی خود سعی در کنترل خودرو دارد تا مسیر خودرو به مسیر مطلوبش نزدیک شود.

پاسخ دینامیکی سرعت چرخشی و لغزش جانبی دو خودرو کنترل شده و فاقـد کنتـرل در شکل های چهارده و پانزده مقایسه شده اند. با مشاهده نتایج فوق می تـوان دریافـت که اگرچه در این مانور راننده توانسته است خودرو فاقد سیسـتم کنترلـی را در انتهـای مانور کنترل کند ولی مطابق شکل یازده نتوانسته است خودرو را در انتهای مانور به خط اصلی خود برگرداند. این در حالیست که راننده خودرو دارای سیستم کنترلی به راحتـی و بدون اعمال هیچ گونه فعالیت اضافی توانسته است در حالتی پایدار خودرو را به خـط اصلی خود برگرداند. علاوه بر این، با بررسی سـرعت چرخشـی و لغـزش جـانبی هـر دو خودرو از شکل های چهارده و پانزده این مهم دریافت می شود که رفتار راننده مستقیما در پایداری خودرو نقش دارد و اعمال هر گونه رفتار نوسانی از جانب رانـنـده بـه خـودرو می تواند موجبات ناپایداری خودرو را فراهم آورد.



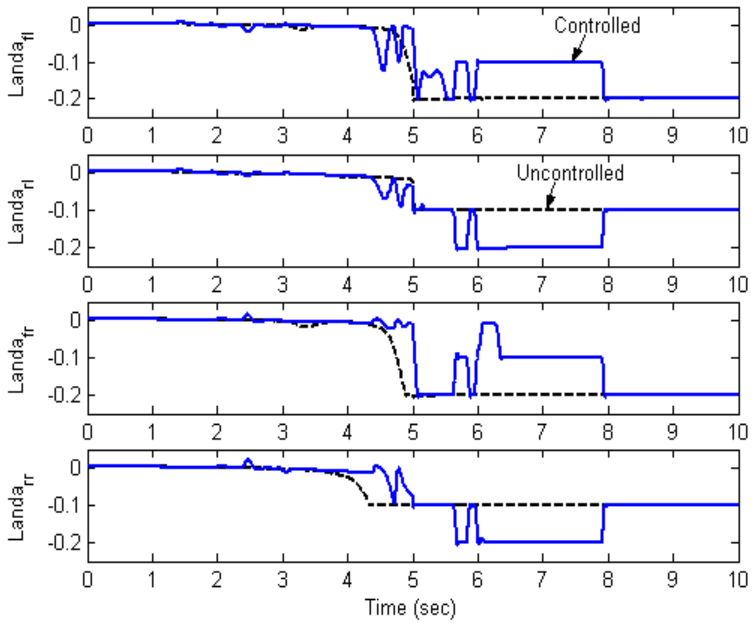
شکل چهارده- سرعت چرخشی خودرو در مانور تعویض خط دو گانه

www.SID.ir



شکل پانزده- زاویه لغزش (لغزش جانبی) خودرو در مانور تعویض خط دو گانه

نحوه تنظیم لغزش چرخ های هر دو خودرو کنترل شده و فاقد کنترل در محدوده مجاز (۰.۱- و ۰.۲-) در شکل شانزده، توانایی بالای سیستم ABS پیشنهادی را در کنترل لغزش هر یک از چرخ ها نشان می دهد.



شکل شانزده- لغزش طولی چرخ ها در دو خودرو کنترل شده و فاقد کنترل

www.SID.ir

بحث و نتیجه گیری

۱- سیستم های کنترلی ESP، AFS و ARS به صورت مستقیم حرکت جانبی و چرخشی خودرو را با کنترل متغیرهای حرکتی سرعت چرخشی و لغزش جانبی خودرو متناسب با ضریب اصطکاک جاده تحت کنترل قرار می دهند. همچنین عملکرد سیستم‌های کنترلی فرمان فعال (AFS) با لغزنده شدن جاده و پایین آمدن ضریب اصطکاک، محدود می شوند. این در حالیست که سیستم های کنترلی ترمز فعال (ESP) در این شرایط هنوز قادر به کنترل خودرو می باشند.

۲- لزوم کنترل همزمان سرعت چرخشی و لغزش جانبی خودرو در سیستم های کنترل ایمنی فعال به وضوح شرح داده شد. ردیابی سرعت چرخشی به تنهایی، اگرچه مسیر خودرو را بر مسیر مورد نظر راننده منطبق می سازد ولی خصوصاً در جاده های لغزنده موجب می شود خودرو در حالتی کاملا ناپایدار قرار گیرد.

۳- تاثیر سیستم های کنترلی ایمنی فعال بر کاهش فعالیت فیزیکی راننده به وضوح نشان داده شد. اعمال هرگونه رفتار نوسانی از جانب راننده می تواند موجبات ناپایداری را برای خودرو فراهم سازد.

۴- بین مسیر طی شده توسط خودرو و مسیر مطلوب (ایده آل) نشان داده شده در شبیه سازی ها، اختلاف زمانی به مدت تقریبی یک ثانیه دیده می شود. این فاصله زمانی، تاخیر زمانی مربوط به سیستم فرمان می‌باشد و شامل فاصله زمانی است که راننده به سیستم فرمان، فرمان می دهد تا زمانی که سیستم فرمان شروع به گرداندن چرخ ها می کند. این تاخیر زمانی در سیستم های فرمان، ترمز و دیگر سیستم های مکانیکی همواره وجود دارد و مقدار آن به مراتب بیشتر از تاخیر زمانی در سیستم های الکترونیکی می‌باشد. تاخیر زمانی فوق، موجب تاخیر در امر هدایت و کنترل خودرو در سیستم های کنترل ایمنی فعال می شود. از این رو با گسترش تکنولوژی کنترل به کمک سیم (XBW) پیش بینی می شود که در آینده ای نزدیک سیستم های مکانیکی که در ارتباط مستقیم با ایمنی خودرو می باشند از قبیل سیستم فرمان و سیستم ترمز، به سیستم های الکترونیکی تبدیل شوند.

Archive of SID
www.SID.ir

۵- طراحی سیستم ABS بر اساس کنترلر PD نتایج قابل توجهی را در سیستم ترمز ارائه کرده است. کنترلر نوع PD ساختار ساده ای نسبت به سایر انواع کنترلرها دارد و این از حجم محاسبات در ECU می کاهد. همین امر موجب می شود که ECU سریعتر به عملگرها در سیستم ABS فرمان دهد.

۶- در این پژوهش، مجهز بودن خودرو کنترل نشده به سیستم ABS، دلالت بر این مهم دارد که امروزه همه خودروها دست کم باید مجهز به سیستم ABS باشند. سیستم فوق علاوه بر کاهش مسافت توقف، فرمانپذیری خودرو را نیز حفظ می کند. فرمانپذیری رفتاری از خودرو می‌باشد که در صورت قفل شدن چرخ های جلو از بین خواهد رفت که در این صورت راننده دیگر قادر نخواهد بود با گرداندن فلکه فرمان، به خودرو در هیچ سمتی فرمان و جهت بدهد. به عبارتی قفل شدن هر یک از چرخ ها موجب از بین رفتن کامل نیروی جانبی در آن چرخ می شود.

پیشنهادها

۱- پژوهش اخیر را می توان با بسط و گسترش شبیه سازی ها ادامه داد. دور زدن در جاده دوگانه از جمله مانورهایی است که می تواند خودرو را در وضعیت بحرانی قرار دهد. در فصول سرد سال معمولا قسمت میانی جاده ها خشک (یا مرطوب) و قسمت‌های کناری، برفی و یا یخی می باشند. هنگام سبقت گیری و یا دور زدن در این شرایط موجب می شود یک طرف خودرو در جاده خشک و طرف دیگر در جاده ای لغزنده پوشیده از یخ یا برف قرار گیرد. زمانی که خودرو در این شرایط قرار گیرد راننده احساس خواهد کرد خودرو در حال سر خوردن و چرخش به دور خود می‌باشد و ممکن است اقدام به ترمز گیری کند. ترمز گیری در این شرایط خودرو را در وضعیت بحرانی تری قرار خواهد داد. شبیه سازی شرایط فوق و بررسی پاسخ خودرو به ورودی های راننده و شرایط حاکم بر سطح جاده می تواند گامی موثر در جهت بهبود هر چه بیشتر سیستم های کنترل ایمنی در خودرو باشد.

۲- به کارگیری یک خودروی واقعی همراه با راننده، شبیه سازی مانور در یک محیط آزمایشگاهی، ثبت و مقایسه نتایج حاصل با نتایج ارائه شده در این پژوهش.

Archive of SID
www.SID.ir

منابع

[1] Nagai, M. Advance Vehicle Control for the 21st Century. Department of Mechanical Systems Engineering, Tokyo University, Japan, 2002.

[2] Van Zanten, A. T. Bosch ESP systems: 5 years of experience. Proceedings of the Automotive Dynamics and Stability Conference. SAE 2000-01-1633.

[3] Liebemann, E. K. Meder, K. Schuh, J. Nenninger, G. Safety and performance enhancement: The Bosch Electronic Stability Control (ESP). Robert Bosch GMbh, Germany, Paper Number 05-0471.

[4] Matthew, R. Demetrion, A. Modeling and simulation of vehicle ride and handling performance. Proceedings of the 15th IEEE International Symposium on Intelligent Control (ISIC 2000), Riopatras, Greece, 17-19 July 2000.

[5] Robert Bosch, GmbH. Safety, Comfort and Convenience Systems. John Wiley, ISBN 0-470-05903-6, 2006.

[6] Guvenc, L. Preventive and safety applications. Automotive Controls Research Group, Department of Mechanical Engineering, Istanbul Technical University. 2002.

[7] Shibahata, Y. Progress and future direction of chassis control technology. Annual Reviews in Control 29 (2005) 151-158.

[8] Van Zanten, A. T. Erhardt, R. Pfaff, G. VDC, The vehicle dynamics control system of Bosch. SAE Technical Paper, 950759, 1995.

Archive of SID

www.SID.ir

[9] Schwarz, R. and et all. ESP II: Driving dynamics in the next generation. Part 1: Components and Functions, ATZ Worldwide eMagazines Edition: 2003-12, Volume 105, 2003.

[10] Schwarz, R. and et al. ESP II: Driving dynamics in the next generation. Part 2: Function Integration and Electronics, ATZ Worldwide eMagazines Edition: 2003-12, Volume 106, 2003.

[11] Van Zanten, A. T. Evolution of electronic control systems for improving the vehicle dynamics behavior. Proceedings International Symposium on Advanced Vehicle Control, vol. 20 024481, 2002, pp. 7-15.

[12] Mohammad, S. M. Islam, S. and Sebastian, T. Role of electronics and controls in steering systems. 0-7803-7906-3/03, 2003 IEEE.

[13] Rajamani, R. Vehicle dynamics and control. Springer, ISBN 0-387-26396-9, 2006.

[14] Kiencke, U. Nielsen, L. Automotive control systems for engine, driveline, and vehicle. Springer-verlag Berlin Heidelberg 2005.

[15] Gillespie, T. D. Fundamentals of vehicle dynamics. SAE, ISBN 1-56091-199-9, 1992.

[۱۶] کربلائی محمد علی، رضا. طراحی سیستم کنترلی YMC برای خودرو سواری. پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد: دانشکده تحصیلات تکمیلی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب؛ ۱۳۸۶.

[17] Karbalaei Mohammad Ali, R. Tabatabaei, S. H. Kazemi, R. and Ghaffari, A. Integrated Control of AFS and DYC in the Vehicle Yaw Stability Management System Using Fuzzy Logic Control. SAE World Congress & Exhibition, April 2008, Detroit, MI, USA, Session: Integrated Active Safety, 2008-01-1262.

Archive of SID

www.SID.ir

[18] Christian Gerdes, J. Rossetter, E. J. A unified approach to driver assistance system based on artificial potential fields. ASME J. Dyn. Syst., Meas., Control, Vol. 123, pp. 431-438.

[۱۹] غفاری، علی. کاظمی، رضا. طباطبائی، سید حامد. کربلائی محمد علی، رضا. شناسائی پارامترهای مدل ریاضی راننده با استفاده از الگوریتم ژنتیک. پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، تهران: مرکز تحقیقات مخابرات ایران؛ ۱۳۸۶.

Archive of SID

www.SID.ir