فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۲، شماره ۳، بهار ۱۴۰۰، ص. ۷۳۷-۷۵۱

مقاله پژوهشی

طراحی سیستم خودکار سبقت خودرو با استفاده از کنترل غیرخطی

احسان خلیلی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی برق-کنترل، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

محمدرضا مهماندار (نویسنده مسئول)، استادیار، دانشکده راهنمایی‌ورانندگی، دانشگاه علوم انتظامی امین، تهران، ایران

محمد آریانا، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی، راهنمایی‌ورانندگی تهران بزرگ، تهران، ایران

توفیق مبادری، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

E-mail:majidmehmandar@gmail.com

دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲

چکیده

در دهه گذشته سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند به عنوان یک روش کارآمد، بیش از پیش مورد توجه محققان و پژوهشگران این زمینه قرار گرفته است. هوشمند سازی این سیستم می‌تواند تا حدود زیادی از اشتباهات انسانی در ایجاد تصادفات بکاهد. در این پژوهش در ابتدا موضوع سبقت خودرو به عنوان یک عامل مهم در تصادفات داخل کشور و عدم صحیح اجرای آن در نظر گرفته شده است. سپس قوانین صحیح اجرای سبقت خودرو بر اساس قوانین راهنمایی و رانندگی و محدودیت‌های حرکتی خودرو بدست آورده شده است. طراحی مسیرهای چندگانه حرکتی خودرو بر اساس محدودیت‌های حرکتی خودرو در مرحله بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. طراحی یک سیستم کنترلی با قابلیت هدایت خودرو بر روی مسیر حرکتی سبقت با قابلیت تصمیم‌گیری در لحظه شروع به عمل سبقت بر اساس سیستم فازی از دیگر اقدامات نوآوری‌های گرفته در این پژوهش است. در نهایت با تحلیل دینامیکی خودرو در نرم‌افزارهای آنالیز و تحلیل خودرو به ارزیابی سیستم کنترلی طراحی شده پرداخته می‌شود. دستیابی به خطای بسیار کم حرکتی خودرو در حین عمل سبقت بر اساس قوانین راهنمایی و رانندگی نشان از دقت بالای سیستم هوشمند طراحی شده دارد که این دقت بالا نشان از خطای کم حرکتی خودرو در مسیر مورد نظر است که کمتر از یک سانتی‌متر است.

واژه های کلیدی: آمار تصادفات، سیستم سبقت خودرو، سیستم فازی، کنترل هوشمند، مسیر حرکتی هوشمند

۱. مقدمه

در دو دهه گذشته استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند به عنوان یک راه حل موثر در کاهش تصادفات و کنترل ترافیک به سرعت در حال افزایش است. هدایت هوشمند خودرو در مسیرهای مشخص، انواع دوربین‌های کنترل سرعت، سامانه‌های کنترل ترافیک، سامانه‌های تعیین موقعیت خودرو سامانه‌های مدیریت ناوگان، مدل‌ساز و شبیه‌سازی وضعیت ترافیک و سامانه‌های شمارش خودرو از جمله سیستم‌های پرکاربرد در حمل‌ونقل هوشمند می‌باشند [Behrooz, Babakhani and Sarkar, 2009]–[Zhang et al. 2011]. در این میان طراحی خودروهای هوشمند جهت بالا بردن سطح ایمنی خودرو و جلوگیری از حوادث از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نصب سیستم‌های هوشمند که مجز به سنسورهای تشخیص موقعیت و حرکت هستند سبب شده تا خودرو دارای قابلیت تشخیص و تحلیل محیط اطراف خود را داشته و نسبت به شرایط موجود، پاسخی متناسب با آن شرایط ارائه دهد [Moghaddasi and Moghaddasi. 2010]. سیستم‌های پارک موازی خودکار خودرو، چرخش خودرو، پارک اضطراری خودرو، رانندگی هوشمند و ... جز مهم‌ترین سیستم‌های هوشمند خودرو می‌باشند. محققان سیستم‌های هوشمند خودرو روزبه‌روز در حال رفع مشکلات و اصلاح سیستم‌های طراحی شده می‌باشند که در ذیل به چند نمونه از این مقالات اشاره می‌شود. سیستم‌های کنترل هوشمند [Zhang et al. 2011] خودرو با هدف هوشمندسازی سیستم حمل‌ونقل نقش اصلی را در این سیستم ایفا می‌کنند [Sivaraman and Trivedi. 2010] - [Mccall and Trivedi. 2006]. سیستم هوشمند خودرو دارای سه قسمت اصلی مدیریت پارک، حسگرها و طراحی کنترل خودرو می‌باشند که در سال‌های اخیر در هر قسمت پژوهش‌های زیادی انجام شده است [Wada, Yoon and Hashimoto. 2003]. محققان سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند دو راه حل کلی برای حل مشکل کنترل هوشمند این سیستم‌ها مطرح کرده‌اند. در روش اول که مبتنی بر مهارت نام دارد هیچ مسیر مرجعی برای کنترل و هدایت خودرو وجود ندارد و دستورات کنترلی جهت هدایت خودرو بر اساس الگوریتم‌های هوشمند و شبکه‌های عصبی در طی حرکت مسیر ایجاد می‌شوند. در روش دوم در ابتدا بر اساس موانع حرکتی و قوانین و محدودیت های حرکتی خودرو یک مسیر مرجع طراحی شده و سپس سیستم کنترلی طراحی شده اقدام به کنترل آن می‌کند [Li and Chang, 2003]- [Lee et al. 2006]. در[Dubey et al. 2017] به کاربرد اینترنت اشیا بر اساس مدیریت ترافیک تطبیقی پرداخته شده است که این زیرسیستم‌ها به عنوان یک بخش از سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند معرفی می‌شوند. در [Selvathi, Pavithra and Preethi, 2017] به استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند برای شناسایی و جلوگیری از تصادف اشاره دارد. مسئله پارک خودرو در گاراژ، با استفاده از یک ساختار کنترل فازی در [Baturone et al. 2004] بررسی شده است.

در [Sheng et al. 2015]، از یک کنترل‌کننده‌ی فازی برای پارک در فضای کم استفاده شده است. در [Ji et al. 2015]، برای کاهش اثر اغتشاش بر نوسانات سرعت و نامعینی در مدل خودرو، یک روش بر اساس کنترل‌کننده‌ی تناسبی مشتق‌گیر به همراه شبکه عصبی ارائه شده است. در این روش، از یک کنترل‌کننده‌ی فازی برای تشخیص و انتخاب موقعیت شروع خودرو در حضور موانع و موقعیت‌های مختلف جاده در نظر گرفته شده است. در [Cao and Qiao. 2017] به کاربرد کنترل فازی برای سیستم‌های هدایت فرمان وسایل با چهار چرخ پرداخته شده است. در [Chen. 2017] نیز به طراحی سیستم کنترلی برای سرعت خودرو جهت پارک خودکار خودرو پرداخته شده است. روش بکار گرفته شده در پژوهش

فوق بر اساس ترکیب کنترل فازی و کنترل کننده PID است. در مطالعه دیگری به طراحی یک کنترل‌کننده تطبیقی برای کنترل خودرو استفاده شده است که این سیستم بدون نیاز به اطلاعات مدل خودرو و تنها به کمک اطلاعات ورودی و خروجی سیستم، عمل پارک هوشمند خودرو را انجام می‌دهد [Dong, Jin and Hou. 2014]. کنترل‌کننده‌ی فیدبک خطی‌ساز عرضی از دیگر سیستم‌های کنترلی مورد استفاده در هدایت سیستم‌های خودکار خودرو است. در [Akhtar, Nielsen and Waslander. 2015] برای کنترل تعقیب مسیر حرکتی از این سیستم کنترلی استفاده کرده که نتایج آن بر روی یک ربات شبه‌خودرو با معادلات سینماتیک آن پیاده‌سازی شده است. در خصوص سیستم‌های سبقت خودرو نیز تحقیقاتی انجام شده که به چند مورد آن اشاره می‌شود. در [Anindyaguna et al. 2016] طراحی یک سیستم کمک راننده سبقت خودرو انجام شده است که بر اساس یک سیستم فازی و دوربین‌های قرار گرفته در خودرو است. در [Cara et al. 2016] نیز در سبقت دو خودرو از هم ارتباط آن‌ها از طریق سیستم‌های چندعامله مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. بحث مدل‌سازی و بهینه‌سازی در سیستم‌های هوشمند نیز در بحث سبقت خودرو ها از هم در [Liu et al. 2015] مورد بحث قرار گرفته است.

در تحقیقات صورت گرفته مربوط به سیستم سبقت خودرو توجه به قوانین راهنمایی‌ورانندگی برای طراحی مسیر حرکت خودرو و همچنین طراحی یک سیستم جامع کنترلی این امر بطوریکه هم اجازه تصمیم‌گیری شروع عمل سبقت را داشته، مسیر حرکتی را طراحی و خودرو را هدایت کند بطور یکپارچه وجود نداشته است. سیستم‌های مورد نظر باید در صورت تغییر مولفه‌های خودرو و ایجاد اغتشاش و اختلال در حرکت بتوانند مسیر مناسب رو مجددا پیدا کنند که در این پژوهش هدف بر آن است تا این مشکلات حل شده و یک سیستم جامع و کامل برای عمل سبقت هوشمند خودرو طراحی شود.

۱-۱ بیان موضوع و اهمیت

سرعت استفاده از سیستم‌های هوشمند در خودروها بطور نیمه‌خودکار به سرعت در حال افزایش است [Roshani, 2014] – [Roshani and Javadnejad, 2011]. استفاده از سیستم‌های کنترلی هوشمند باعث بهبود سیستم حمل‌ونقل شده و رانندگی بسیار ایمن‌تر و سریع‌تری را برای رانندگان فراهم می‌کند. بسیار دیده می‌شود که رانندگان خودرو بدون در نظر گرفتن هیچ گونه معیاری اقدام به عمل سبقت گرفتن از خودرو مقابل می‌کنند که خسارات و تصادفات جانی و مالی زیادی را برای خود و دیگران به همراه دارد. در این مقاله هدف بر آن است تا موضوع مهم دیگری در زمینه هوشمندسازی سیستم‌های مکمل خودرو مطرح شود و آن سیستم سبقت هوشمند خودرو است. در ابتدا قوانین اصلی راهنمایی و رانندگی این امر مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس یک سیستم کنترلی هوشمند برای اجرای این عمل مهم در خودرو طراحی می‌شود. نوآوری اول این پژوهش، طراحی مسیرهای حرکتی خودرو بر اساس محدودیت‌های حرکتی خودرو و مطابق با قوانین راهنمایی‌ورانندگی است. همچنین طراحی سیستم‌های کنترلی فازی و غیرخطی برای عمل سبقت خودرو از مهمترین نوآوری‌های صورت گرفته در این پژوهش است. سنجش کیفیت و کمیت پژوهش مورد نظر از طریق شبیه‌سازی‌های مدل خودرو در نرم‌افزار MATLAB و همچنین طراحی یک خودروی واقعی در نرم‌افزار تحلیل خودرو CarSim بوده که با پیاده‌سازی سیستم کنترلی طراحی شده به همراه بررسی این دو تحلیل می‌تواند به سنجش این پژوهش کمک شایانی کند.

۱-۲ بیان قوانین سبقت صحیح خودرو

در این قسمت به بیان قوانین مربوط به سبقت خودرو مطابق با قوانین راهنمایی‌ورانندگی خودرو پرداخته می‌شود. چنانچه این قوانین توسط راننده متخلف رعایت نشود و تصادفی رخ دهد دلیل تصادف سبقت غیرمجاز خواهد بود.

در آیین‌نامه راهنمایی‌و رانندگی مواردی در رابطه با سبقت خودرو ذکر شده است که به ذکر جزییات این عمل پرداخته است. مواد ۱۱۰، ۱۳۲،۱۳۳،۱۳٤ و ۱۳۵ آیین‌نامه راهور جز این موارد هستند. در این قسمت به چندین ماده اصلی در رابطه با عمل صحیح سبقت خودرو پرداخته می‌شود. طبق ماده ۱۳۲، رانندگانی که قصد سبقت از وسایل نقلیه‌ای را که در جهت آنان حرکت می‌نمایند دارند، در محل‌های مجاز و در صورت لزوم پس از روشن کردن چراغ راهنما و یا با دادن علامت لازم تنها از سمت چپ آن‌ها سبقت گیرند و پس از سبقت و طی مسافت کافی، بار دیگر با روشن کردن چراغ راهنما و یا با دادن علامت به طرف راست راه متوجه و در مسیر قبلی خود قرار گیرند به نحوی که راه و سیله نقلیه‌ای که از آن سبقت گرفته شده بسته نشود یا موجب تصادف نشود. تنها در صورتی سبقت از طرف راست وسیله نقلیه‌ای صحیح است که وسیله نقلیه مورد نظر در حال گردش به سمت چپ باشد. نکته مهم و قابل بحث در زمینه تئوری موضوع سبقت گرفتن خودرو این است که مسیری را که راننده برای سبقت گرفتن می‌خواهد وارد آن شود باید تا فاصله مطمئنی از طرف مقابل خالی بوده و بر اساس محدودیت های حرکتی خودرو باشد و بر اساس قوانین راهنمایی و رانندگی طراحی شود و تفاوت سرعت بین و سیله نقلیه مورد نظر و وسیله نقلیه جلویی برای سبقت کافی باشد تا به این ترتیب موجب به خطر انداختن خود و ترافیک سمت مقابل نشود. طبق ماده ۱۳٤ خودرویی که از آن سبقت گرفته می شود نباید بر سرعت حرکتی خود بیافزاید. ماده‌های ۱۱۰ و ۱۳۵ راهنمایی و رانندگی نیز به ترتیب به بحث آگاه‌سازی‌های لازم برای سبقت از خودرو در مکان‌های ممنوع برای سبقت اشاره دارد [Golduzian and Khazae. 2009]- [Mehmandar. 2009]. در جدول (۱) آماری از تصادفات شهر تهران با موضوع سبقت نادرست بیان شده است.

جدول ۱. آمار تصادفات سبقت غیر مجاز شهر تهران (سال ۹٦)

علت تامه رانده مقصر شدت تصادف تجاوز به چپ ناشی از سبقت	درون شهری جمع	فوتی	جرحی	خسارتی
	۱۱۹۸	۳	۵۳۰	٦٦۵

۲. طراحی مسیرهای حرکتی خودرو

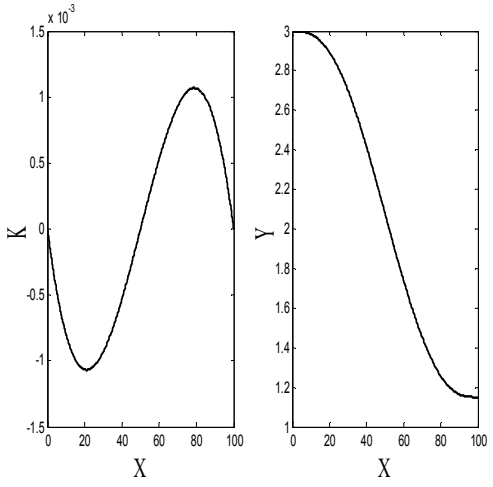
مسیری که بر اساس قوانین و ماده‌های راهنمایی و راهنمایی برای عمل سبقت خودرو پیشنهاد می‌شود باید مسیری باشد که هم بر اساس قوانین راهنمایی و رانندگی باشد و هم خودروی مورد نظر بتواند با دقت مناسبی آن را دنبال کند. از نظر قوانین راهنمایی و رانندگی مسیر مورد نظر باید از هرگونه جهش ناگهانی خودداری کند و هم‌چنین رعایت فاصله طولی و عرضی با خودروی مورد نظر برای سبقت را رعایت کند تا هم در حرکت اول و هم در حرکت بازگشتی به مسیر اولیه خود دچار تصادف و برخورد با خودروی کناری و مقابل نشود. از نظر خودرو نیز طراحی مسیر مورد نظر باید به نحوی انجام شود که خودرو بتواند بر اساس محدودیت‌های حرکتی خود بر روی آن مسیر حرکت کند، یعنی مسیر حرکتی مطابق با محدودیت‌های حرکتی خودرو باشد. برای طراحی مسیر سیستم سبقت هوشمند خودرو نیاز به یک مسیر سه تکه است که در هر قسمت از مسیر نیاز به رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی و

رعایت محدودیت‌های حرکتی خودرو است. در قسمت اول حرکتی از مسیر، خودرو مورد نظر باید بتواند با رعایت فاصله طولی از خودرو مقابل وارد مسیر عبوری از خودرو مقابل خود شود. در قسمت دوم مسیر، خودرو در طی مسیری مستقیم قصد عبور از خودروی مجاور خود را دارد بطوریکه طی عبور از خودروی کناری با خودروی مقابل برخوردی نداشته باشد. در قسمت سوم از مسیر حرکتی خودرو، خودرو باید بتواند با در نظر گرفتن فاصله عرضی خودروی کناری به مسیر اصلی حرکت خود بازگردد بطوریکه برخوردی با خودروی مجاور نداشته باشد. در تمامی این مسیرها، طراحی مسیر باید طوری باشد که محدودیت‌های حرکتی خودرو رعایت شود. یعنی مسیر طراحی شده یک مسیر منطقی و قابل پیاده‌سازی بر روی خودروی واقعی باشد [Khoshnejad and Demirli, 2005]. دو مسیر مناسب با توجه به در نظرگرفتن ماده‌های آیین‌نامه راهنمایی و رانندگی و محدودیت های خودرو برای این قسمت پیشنهاد می‌شود. همان‌طور که از شکل (۱) مشخص است معادلات چندجمله‌ای و معادله مثلثاتی tanh دو معادله مناسب برای طراحی این قسمت از مسیر می‌باشند [Zhang et al. 2011] (معادله (۱)). در این قسمت به کمک اطلاعات جمع‌آوری شده در بخش قبل به طراحی مسیری مناسب با محدودیت‌های غیرهولونومیک خودرو و شرایط مذکور پرداخته می‌شود (شکل (۲)). در این قسمت بر اساس قوانین و ماده‌های راهنمایی‌وراهنمایی ذکر شده به طراحی مسیر مناسب برای حرکت استاندارد خودرو در عمل سبقت پرداخته می‌شود. مسیری که برای عمل سبقت خودرو پیشنهاد می‌شود باید مسیری باشد که هم بر اساس قوانین راهنمایی‌ورانندگی باشد و هم خودروی مورد نظر بتواند با دقت مناسبی آن را دنبال کند. از نظر قوانین راهنمایی‌ورانندگی مسیر مورد نظر باید از هرگونه جهش ناگهانی خودداری کند و همچنین رعایت فاصله طولی و عرضی با خودروی مورد نظر برای سبقت را رعایت کند تا هم در حرکت اول و هم در حرکت بازگشتی به مسیر اولیه خود دچار تصادف و برخورد با خودروی کناری و مقابل نشود (معادله (۲)).

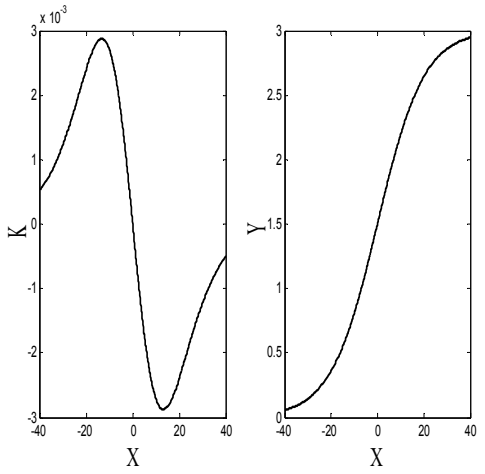
$$y(x) = a_0 + a_1x + \cdots + a_4x^4 + a_5x^5 \qquad (۱)$$

$$y(x) = \text{a*Tanh(b*x)}$$

$$k = \frac{y''}{(1+y'')^{0.5}} \qquad (۲)$$

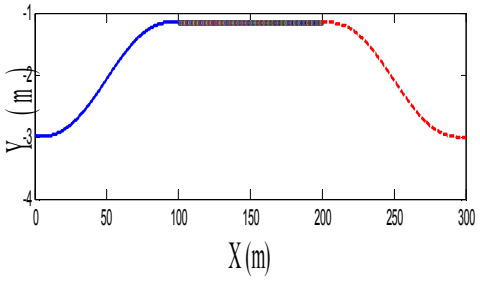


شکل ۱ (الف). مسیر چندجمله‌ای و میزان انحنای آن

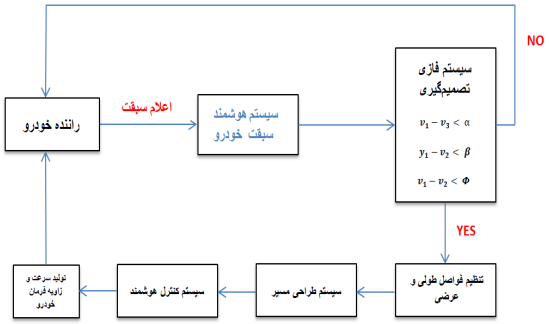


شکل ۱ (ب). مسیر مثلثاتی و میزان انحنای آن

شکل ۱. مسیرهای حرکتی خودرو و میزان انحنای آن‌ها



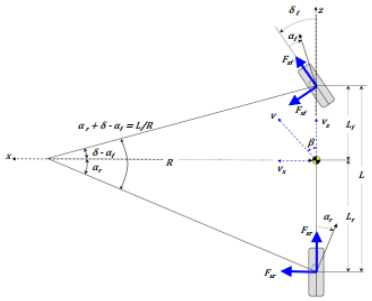
شکل ۲. طراحی مسیر سه‌گانه سبقت خودرو



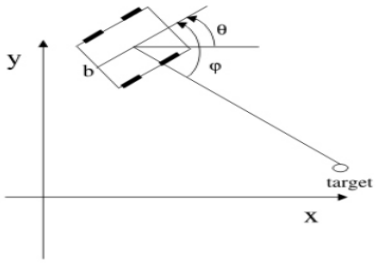
شکل ۳. دیاگرام سیستم کنترلی هوشمند سبقت خودرو

۳. طراحی سیستم کنترلی هوشمند سبقت

در این قسمت به طراحی یک سیستم کنترلی هوشمند برای سبقت خودکار خودرو پرداخته می‌شود (شکل (۳)). در این سیستم کنترلی در مرحله اول پس از اعلام راننده برای اقدام به سبقت، به سیستم فازی اعلام می شود تا دستورات لازم جهت تصمیم‌گیری حرکتی به خودرو اعلام شود. تغییرات سرعت حرکتی خودرو با خودروی مجاور و خودروی مقابل و هم‌چنین میزان فاصله خودرو با خودروی مقابل در این سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد. پس از تعیین میزان فواصل حرکتی و سرعت مناسب برای عمل سبقت خودرو، سیستم کنترلی وارد قسمت طراحی مسیر حرکتی خودرو می‌شود. در این قسمت بر اساس ماده‌های آیین‌نامه راهنمایی و رانندگی مبنی بر رعایت فواصل طولی، عرضی، عدم برخورد خودروها و سایر مواد آیین‌نامه راهنمایی و رانندگی مسیری بر این اساس و هم‌چنین محدودیت‌های حرکتی خودرو بر اساس انحنای مناسب حرکتی ایجاد می‌شود. در نهایت سیستم کنترلی هوشمند فرمان سرعت و زاویه فرمان لازم برای حرکت خودرو بر روی مسیر مورد نظر را انجام می‌دهد. دو مدل اصلی برای شبیه‌سازی خودرو می توان در نظر گرفت. مدل اول و بسیار پرکاربرد خودرو مدل سینماتیک آن است که در سرعت‌های کم خودرو بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدل x و y مختصات مسیر حرکتی خودرو، v سرعت حرکتی و w سرعت فرمان یا سرعت زاویه‌ای و Φ زاویه هدایت فرمان خودرو است (شکل (٤)). مدل دوم که برای خودرو می‌توان در نظر گرفت معادلات دینامیک خودرو است.



(الف). مدل دینامیک خودرو

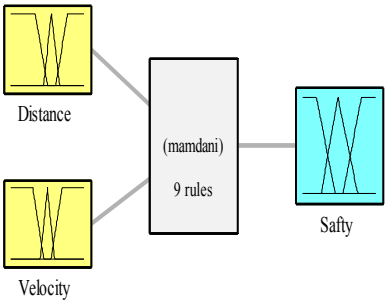


(ب). مدل سینماتیک خودرو

شکل ٤. مدل‌سازی خودرو در سرعت‌های کم و زیاد

معادلات دینامیک برای حرکت خودرو در سرعت بالا هستند و عوامل نیرو و لغزش را در مدل‌سازی در نظر می‌گیرد در این مدل‌سازی بر خلاف مدل‌سازی سینماتیک خودرو که از اثر نیروهای خودرو و لغزش به علت پایین‌بودن سرعت خودرو صرف نظر می‌کند، همه‌ی موارد را در نظر می‌گیرد. در این

مدل‌سازی، از مدل دینامیکی خودرو با پنج درجه‌ی آزادی استفاده شده است. متغیرهای حالت در نظر گرفته شده در این مدل‌سازی، $X = [x_g, y_g, \theta, v_y, r]$ می‌باشند که (x_g, y_g) مختصات مرکز ثقل خودرو و متغیر θ نیز همانند حالت قبل، بیان‌گر میزان زاویه و جهت خودرو است. دو متغیر جدید نسبت به حالت سینماتیک، به معادلات سیستم خودرو اضافه شده‌اند که r و v_y می‌باشند که به ترتیب، بیان‌گر میزان انحراف و سرعت جانبی خودرو می‌باشند. در این مدل‌سازی با توجه به تغییرات کم زاویه هدایت فرمان خودرو از مدل ساده شده‌ی دینامیک خودرو استفاده شده است [Lambart and Mounier. 2006].



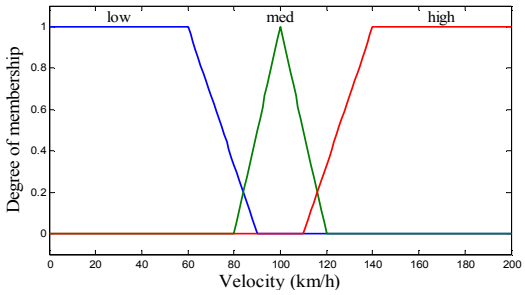
شکل ۵. سیستم فازی تصمیم‌گیری حرکت

۳-۱ سیستم فازی تصمیم‌گیری سبقت خودرو

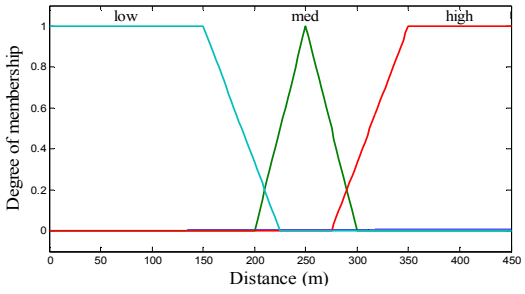
در این قسمت به طراحی یک سیستم فازی جهت انجام حرکت پیش رو خودرو صورت گرفته است. در طراحی این سیستم فازی ورودی‌های مورد نظر اختلاف سرعت خودروی مورد نظر با خودروهای مقابل و ورودی بعدی میزان فاصله مورد نظر دو خودرو است. پس از طراحی این سیستم فازی حداقل و حداکثر سرعت‌های مجاز درون جاده‌ای اعمال شده است و مسافت مناسب پس از طراحی مسیر و سیستم کنترلی بدست آمده به این سیستم هوشمند داده می شود. خروجی این سیستم فازی سطح ایمنی در انجام عمل سبقت است و سه تابع عضویت زیاد، متوسط و کم برای ورودی‌های سیستم مورد نظر استفاده شده است و مقادیر مورد نظر به آن اعمال شده است. برای خروجی‌های این سیستم فازی نیز، امنیت مناسب، احتمال حادثه و خطرناک اعمال شده است (شکل (۵) و (٦)). قوانین طراحی شده این سیستم فازی در جدول (۲) بیان شده است.

جدول ۲. قوانین طراحی شده سیستم فازی تعیین مسیر

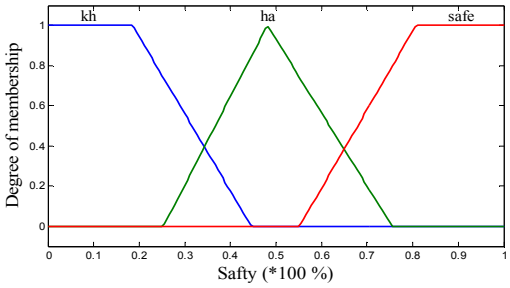
فاصله / دلتا سرعت	کم	متوسط	زیاد
کم	خطرناک	ایمن	ایمن
متوسط	خطرناک	حادثه	حادثه
زیاد	خطرناک	خطرناک	خطرناک



٦ (الف). ورودی سرعت سیستم فازی



٦ (ب). ورودی فاصله سیستم فازی



٦ (ج). خروجی سیستم فازی (سطح ایمنی سیستم کنترلی)

شکل ٦. سیستم فازی تصمیم‌گیری حرکت خودرو

۳-۲ طراحی سیستم تعقیب مسیر هوشمند خودرو

در این قسمت به طراحی سیستم کنترلی مورد نظر برای سیستم سبقت خودرو پرداخته می‌شود. کنترل‌کننده مورد استفاده در این قسمت با توجه به غیر خطی بودن سیستم خودرو یک کنترل‌کننده غیر خطی مد لغزشی است. این کنترل‌کننده یک کنترل‌کننده بسیار مناسب برای سیستم‌های با مدل غیر خطی است. نکته بسیار مهم در طراحی این قسمت از طراحی سیستم کنترلی این موضوع است که این سیستم کنترلی برای ایجاد خطاهای اولیه در حرکت خودرو بسیار مقاوم است. در صورتی که در حین حرکت خودرو برای عمل سبقت گرفتن خودرو به آن اختلال و اغتشاشی وارد شود سیستم کنترلی مذکور توانایی حل آن و از بین بردن آن را دارد. تغییرات مقادیر ثابت در مدل‌سازی در طراحی سیستم کنترلی مورد نظر تاثیری نداشته و عواملی چون تغییر نوع خودرو، تغییر پارامترهای آن مثل وزن، طول و نوع خودرو نیز در طراحی اهمیتی ندارد. در این بخش، به طراحی یک کنترل‌کننده‌ی مناسب جهت تعقیب مسیر خودرو پرداخته شده است. سیستم چند ورودی، چند خروجی زیر را در نظر بگیرید:

$$\dot{F} = f(x) + f_1(x)u_1 + \cdots + f_p(x)u_p \qquad (۳)$$

در سیستم‌های چند ورودی و چند خروجی در اولین مرحله از طراحی سیستم کنترلی باید درجه نسبی سیستم چندمتغیره مورد نظر مورد بررسی قرار بگیرد. پس از انجام محاسبات مشتقات و محاسبه درجه نسبی سیستم مورد نظر، به بحث طراحی سطوح لغزش کنترل‌کننده مورد نظر پرداخته می‌شود. سطوح لغزش مطابق رابطه زیر تعریف می‌شوند:

$$s(x) = e^{R-1} + \epsilon_{R-2}\, e^{R-2} + \cdots + \epsilon_0\, e \qquad (٤)$$

که در معادله فوق، E برابر میزان خطای تعریف شده از مقدار مرجع متغیرهای حالت نسبت به متغیر مقادیر واقعی است و R همان درجه نسبی سیستم مورد نظر است. با توجه به در نظر گرفتن مکان و سرعت حرکتی خودرو به عنوان متغیر مرجع، خطای معادله حرکت و سرعت در معادله سطوح لغزش جایگزین می‌شود.

$$s_1 = \ddot{e}_1 + \epsilon_1 \dot{e}_1 + \epsilon_0 e_1 s$$
$$s_2 \equiv \frac{1}{A}\begin{bmatrix} u_1 - (1.1k_1 sat(s_1)) \\ u_2 - (1.1k_2 sat(s_2)) \end{bmatrix} \qquad (٥) \quad (٥)$$

در نهایت قانون کنترلی مورد نظر در این قسمت که به پایداری سیستم کنترلی منجر شده و همچنین سطوح لغزش را پایدار نماید بصورت معادله زیر هستند که سبب می‌شود تا خطای معادله مرجع از مقدار واقعی خودرو به سمت صفر میل کند.

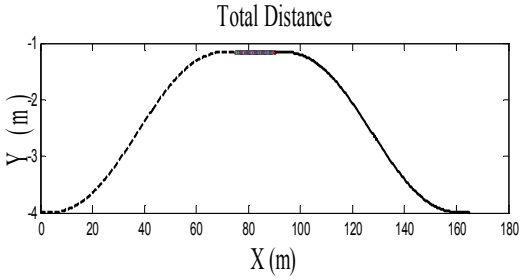
که در قانون کنترلی فوق، با محاسبه پارامترهای K و u_1 و u_2 به شبیه‌سازی سیستم کنترلی مورد نظر پرداخته می‌شود. همچنین با استفاده از قانون کنترلی فوق هر گاه در بالا یا پایین سطح لغزش باشیم، باتوجه به قانون کنترلی مطرح شده به روی سطح لغزش حرکت می‌کنیم و از آن‌جایی که سطوح لغزش معرفی شده، سطوح لغزش پایدار می‌باشند، پس بر روی سطوح لغزش، خطا به سمت صفر همگرا می‌شود.

٤. نتایج شبیه‌سازی

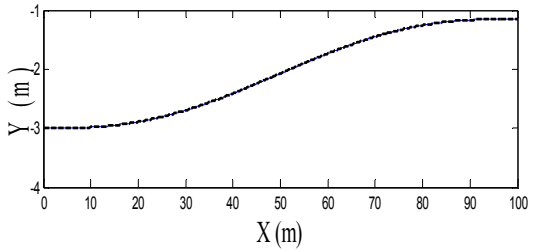
در این قسمت به شبیه‌سازی سیستم کنترلی مورد نظر بر روی خودروی شبیه سازی شده در نرم‌افزار MATLAB پرداخته می‌شود. در گام نخست از شبیه‌سازی، به پیاده‌سازی یک خودرو با مشخصات جدول-۳ در نرم‌افزار پرداخته می‌شود. در ابتدا برای پیاده‌سازی سیستم کنترلی طراحی شده سبقت خودرو، نیاز به یک خودروی شبیه‌سازی شده است. سپس پارامترهای طراحی کنترل‌کننده مورد نظر برای سیستم کنترلی طراحی شده به خودروی مورد نظر اعمال می‌شود. مسیر مرجع طراحی شده متشکل از سه مسیر مجزای طراحی شده است که در کنار هم تشکیل یک مسیر هوشمند برای سبقت هوشمند خودرو را می‌دهد (شکل (۷)). انحنای مسیر طراحی شده در این قسمت هم بر اساس محدودیت‌های خودرو است. نتایج حاصل از اعمال این سیستم کنترلی در شکل (۸) مشاهده می شود. در شکل-۸ (الف)، مسیر مرجع و مسیر واقعی حرکت خودرو نمایش داده شده است که خودرو با دقت مناسبی به تعقیب مسیر مرجع پرداخته است. در شکل-۸ (ب)، میزان سرعت مرجع و سرعت واقعی خودرو نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، بعد از طی مسافت بسیار کم با خطای بسیار مناسبی، سیستم به تعقیب سرعت مرجع می‌پردازد. در شکل-۸ (پ)، به ترتیب خطای عمودی مسیر حرکتی خودرو از مسیر مرجع و خطای سرعت مرجع از سرعت واقعی خودرو نمایش داده شده است. خطای کم و تعقیب مناسب مسیر و سرعت مرجع توسط خودرو، نشان از دقت بالای کنترل‌کننده طراحی شده دارد. در شکل-۸ (ت) نیز سیستم کنترلی مورد نظر در صورت وجود خطای اولیه اجرا شد که سیستم کنترلی طراحی شده توانست خطا را از بین برده و خودرو را سریعا به مسیر اصلی برگرداند.

جدول ۳. پارامترهای خودروی شبیه‌سازی شده [Creed et al. 2010]

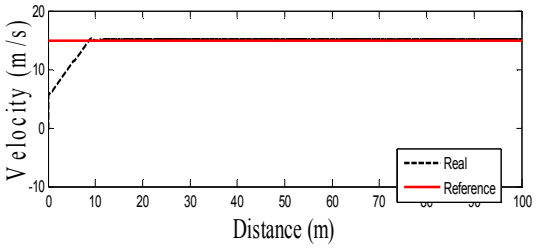
فاصله تایرهای جلو خودرو تا مرکز جرم خودرو	۱/۱۷ متر
فاصله تایرهای عقب خودرو تا مرکز جرم خودرو	۱/۶۸ متر
جرم خودرو	۱۵۱۳ کیلوگرم
طول خودرو	٤/٤ متر
ماکزیمم زاویه چرخش فرمان	٤٥ درجه



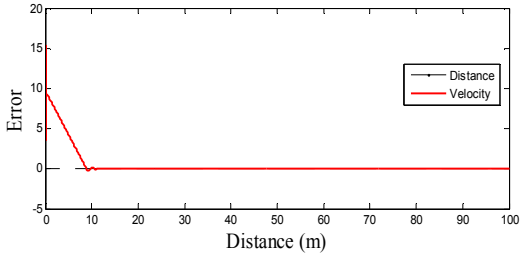
شکل ۷. مسیر کلی سبقت خودرو



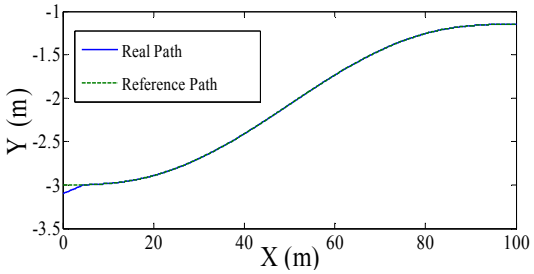
(الف). مسیر حرکتی مرجع و واقعی خودرو



(ب). سرعت حرکتی مرجع و واقعی خودرو

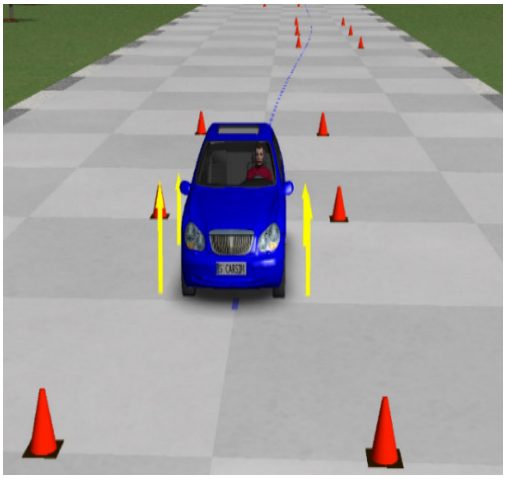


(پ). خطای حرکتی و سرعت خودرو در حین عمل سبقت



(ت). مسیر حرکتی خودرو در صورت وجود خطا

شکل ۸. شبیه‌سازی سیستم سبقت خودرو

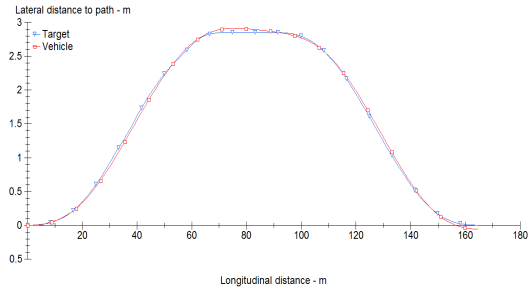


شکل ۹. نمایی از نرم‌افزار تحلیل خودرو

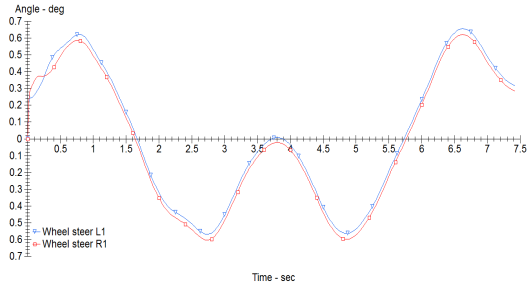
٤-١ شبیه‌سازی نتایج در نرم‌افزار Carsim

حال برای اثبات کاربردی بودن سیستم هوشمند طراحی شده، به پیاده‌سازی سیستم کنترلی طراحی شده در نرم‌افزار تحلیل و آنالیز خودرو پرداخته می‌شود (شکل (۹)). در شبیه‌سازی اول، سیستم کنترلی بر روی مدل دینامیک خودرو اجرا شده است و نتایج مناسبی از آن دریافت شده است. نکته مهم و جدید در این نرم‌افزار این موضوع است که در این نرم‌افزار سیستم کنترلی مورد نظر بر روی مدل خودرو صورت نمی‌گیرد بلکه بر روی یک خودروی واقعی صورت می‌گیرد که این موضوع در طراحی و تحلیل عملکرد یک سیستم کنترلی هوشمند بسیار مهم و ضروری است. در این نرم‌افزار در ابتدا یک خودرو در آن شبیه‌سازی می‌گردد. ورودی‌های این سیستم همان سیگنال‌های کنترلی به دست آمده از کنترل‌کننده غیرخطی هستند که به سیستم مورد نظر اعمال می‌شوند. عکس‌العمل یک خودرو واقعی در صورت وجود تمام پارامترهای واقعی آن در محیط واقعی اتفاقی است که در اینجا رخ می‌دهد که نتیجه آن خروجی‌هایی است که در شکل-۱۰ آن را مشاهده می‌کنید. در شکل-۱۰ (الف) مسیر مرجع و مسیر واقعی حرکتی خودروی طراحی شده برای عمل سبقت هوشمند نشان داده شده است همان‌طور که مشخص است کنترل‌کننده مورد نظر توانسته خودروی واقعی را نیز بطور کاملا هوشمند کنترل نماید. کنترل‌کننده، سیگنال‌های کنترلی و مسیر مرجع آن در نرم‌افزار Carsim بر روی خودروی واقعی اجرا می‌شوند. در ادامه، میزان زاویه فرمان خودرو نیز بدست آمده است. با توجه به نسبت میزان چرخش فرمان خودرو به میزان چرخش تایرهای خودرو، شکل-۱۰ (ب)، میزان زاویه تایرهای چپ و راست خودرو را نشان می‌دهد. شکل-۱۰ (پ)، میزان شتاب جانبی خودرو در طی مسیر سبقت هوشمند را نشان می‌دهد. حداکثر میزان شتاب جانبی در طول مسیر برابر ۰,۱۵ است که برای خودروهای سواری یک عدد منطقی است. در شکل-۱۰ (ت) شبیه سازی نیروهای عمودی وارد شده به خودروی مورد نظر در طی حرکت روی منحنی مسیر نشان داده شده است. میزان نیروهای وارد شده به چرخ‌های عقب و جلو با فاصله مرکز جرم خودرو از چرخ های خودرو رابطه دارد که این رابطه در این سیستم کنترلی مد نظر قرار داده شده است. در شکل-۱۰ میزان گردش خودرو حول محور عمودی نشان داده شده است که با توجه به حداکثر مقداری که دارد از انحراف خودرو جلوگیری می‌کند. شکل-۱۰ (ج) میزان زاویه هدایت فرمان خودرو را نشان می‌دهد که مقداری پیوسته دارد و جهش‌های ناگهانی در آن دیده نمی‌شود. شکل-۱۰ (چ)، بیان‌گر میزان زاویه لغزش تایرهای خودرو است. زاویه لغزش، میزان زاویه‌ای است که در اثر هم‌راستا نبودن حرکت خودرو با تایرهای آن ایجاد می‌شود.که با توجه به حداکثر مقدار ایجاد شده در

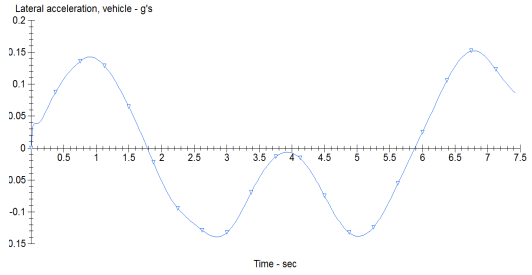
تایرهای خودرو بسیار مناسب بوده و خطری را برای خودرو ایجاد نمی‌کند. در پایان این پژوهش نیز تمهیدات لازم برای اجرای این سیستم کنترلی بر روی یک شبه‌خودرو یا خودروی واقعی در نظر گرفته شده است که در شکل-۱۱ آن را مشاهده می‌کنید.



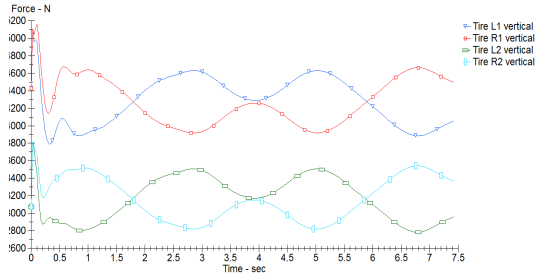
(الف). مسیر مرجع و واقعی حرکت خودرو



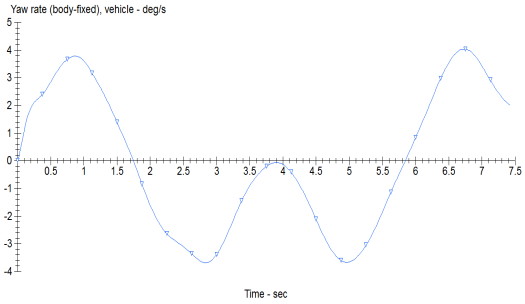
(ب). زاویه تایرهای چپ و راست خودرو



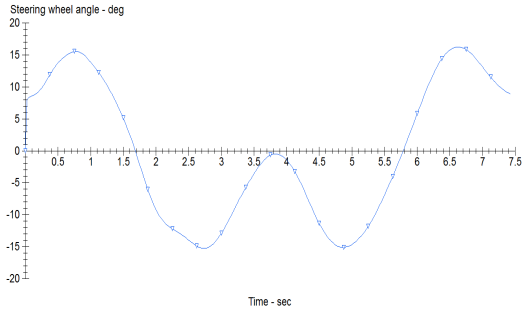
(پ). میزان شتاب جانبی خودرو



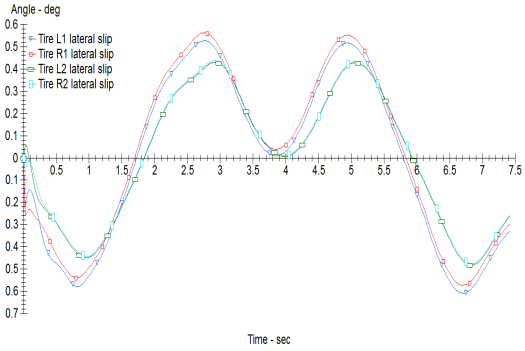
(ت). نیروهای عمودی وارد شده به خودرو



(ث). میزان گردش خودرو حول محور عمودی

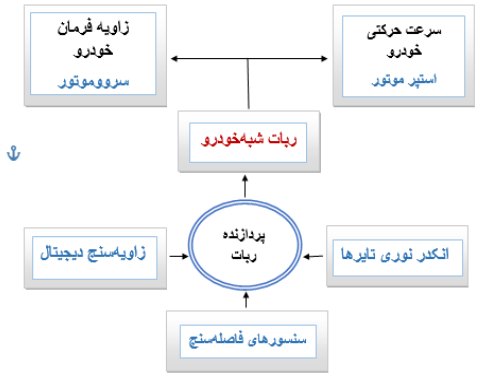


(ج). زاویه فرمان خودرو



(چ). زاویه لغزش تایرهای خودرو

شکل ۱۰. پیاده‌سازی سیستم کنترلی سبقت هوشمند خودرو در نرم افزار تحلیل و آنالیز خودرو



شکل ۱۱. پیکربندی ربات شبه‌خودرو سیستم کنترلی

۵. مقایسه نتایج شبیه‌سازی

همانطور که بیان شـد در این مطالعه، در ابتدا سـیسـتم کنترلی مورد نظر به یک مدل خودرو اعمال شـد و نتایج حاصـل از آن در بخش ٤ مورد بحث قرار گرفت. می‌توان گفت به علت پیچیدگی زیاد یک خودرو، زمانی یک سیستم کنترلی قابل پیاده سـازی بر روی یک خودرو اسـت که تمامی پارامترهای آن در شبیه سازی مورد ارزیابی قرار بگیرد که به علت مشکلات مدل سازی این کار امکان‌پذیر نیست و معمولا بسیاری از پارامترها ساده‌سازی می‌شوند. در این مقاله پس از اثبات عملکرد سیستم کنترلی، یک خودرو در نرم‌افزار تحلیل خودرو طراحی شـد و سیگنال‌های همان سیستم قبلی طراحی شده حالا به یک خودرو واقعی با تمام ویژگی و پارامترهای آن اعمال شد که اثبات شد سیستم طراحی شده در عمل هم قابل پیاده‌سازی است.

٦. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

سیستم‌های هوشمند خودرو یک راه حل موثر در جهت کاهش ترافیک و تصادفات می‌باشند. این پژوهش با هدف طراحی یک سـیسـتم جامع در انجام خودکار سـبقت خودرو طراحی شـده اسـت. نوآوری مهم صـورت گرفته در این پژوهش، توجه به اجرای صحیح و مطابق قوانین راهنمایی‌ورانندگی عمل سبقت خودرو اسـت. در ادامه، قوانین مربوط به عمل سـبقت خودرو مورد بررسی قرار گرفته و سپس یک مسیر حرکتی مناسب برای این سیستم کنترلی که مطابق با محدودیت‌های حرکتی خودرو و راهنمایی‌ورانندگی باشد، طراحی شده است. توانایی حذف اختلال و اغتشاش، ثابت بودن سیستم کنترلی با تغییر خودرو و پارامترهای آن و توانایی حذف خطاهای حرکتی راننده خودرو از توانایی سـیسـتم کنترلی طراحی شـده برای این امر مهم در رانندگی بوده است. طراحی و پیاده سازی یک خودروی واقعی در نرم‌افزار تحلیل خودرو برای اثبات قابل پیاده‌سـازی بودن سیستم طراحی شده از مهمترین اقدامات صورت گرفته در این پژوهش بوده که به مدل خودرو برای کنترل حرکتی آن اکتفا نکرده است. نمودارهای شبیه‌سازی شده در هر قسمت نشان از دقت بالای سیستم کنترلی طراحی شده برای سیستم هوشمند سبقت خودرو است. با پیشرفت این سیستم‌ها و استفاده از آن در کنترل خودرو می‌تواند در کاهش تصـادفات خسـارتی و جرحی- فوتی بسیار موثر باشد و این معضل را تا حدود زیادی حل نماید.

۷. مراجع

-Akhtar, A., Nielsen, Ch. and Waslander, S.

systems", Intelligent Control and Automation (WCICA), pp. 1769-1774.

-Dubey, A., Lakhani, Dave, Sh. and Patoliya, J. (2017) "Internet of things based adaptive traffic management system as a part of intelligent transportation system (ITS)", International Conference on Soft Computing and its Engineering Applications.

-Ji, X., Wang, J., Zhao, Y., Liu, Y., Zang, L. and Li, B. (2015) "Path planning and tracking for vehicle parallel parking based on preview BP neural network PID controller", Transactions of Tianjin University, PP. 199-208.

-Khoshnejad, M. and Demirli, K. (2005) "Autonomous parallel parking of a car-like mobile robot by a neuro-fuzzy behavior-based controller" NAFIPS 2005 - 2005 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society.

-Lee., K., Kim, D., Chung, W., Chang, H. and Yoon P. (2006) "Car parking control using a trajectory tracking controller", SICE-ICASE International Joint Conf., pp. 2058-2063, Oct.

-Li, S., Chang, J., and Chen, X. (2013) "Implementation of human-like driving skills by autonomous fuzzy behavior on an FPGA-Based car like mobile robots", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 5, pp. 867-880.

- Liu, H., Sun, Y. and Ge, Y. (2015) "Research on modeling and optimization of overtaking rules under intelligent system", IEEE International Conference on Information and Automation

-McCall, J., and Trivedi, M. (2006) "Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: Survey, system, and evaluation", (2015) "Path following using dynamic transverse feedback linearization for car-like robots", IEEE Transactions on Robotics, Vol. 31, NO. 2, pp. 269-279.

-Anindyaguna, Kh., Basjaruddin, N. and Saefudin, D. (2016) "Overtaking assistant system (OAS) with fuzzy logic method using camera sensor " 2nd International Conference of Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering (ICIMECE).

-Baturone, I., Moreno-Velo, J., Solano, S., and Ollero, A. (2004) "Automatic Design of Fuzzy Controllers for Car-Like Autonomous Robots", IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 12, No. 4, pp. 447-465.

-Cao, Y. and Qiao, M. (2017) "Application of fuzzy control in four wheel steering control system" International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS).

-Cara, C., Groza, A., Zaporojan, S. and Calmicov, I. (2016) "Assisting drivers during overtaking using Car-2-Car communication and multi-agent systems" IEEE 12th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)

-Chen, Zh., Hu, X., Li, Y. and Zhang, Zh. (2017) "Speed control system design of automatic parking based on fuzzy-PID control" 2017 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA).

-Creed, B., Kahawatte, N. and Varanhagen, S. (2010) "Development of a full car vehicle dynamics model for Use in the design of an active suspension control system", University of California MAE 272

-Dong, H., Jin, Sh. and Hou, Z. (2014) "Model free adaptive control for automatic car parking

IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., Vol. 7, No. 1, pp. 20–37.

-Pepy, R., Lambert, A. and Mounier, H. (2006) “Path planning using a dynamic vehicle model”, 2nd International Conference on Information & Communication Technologies

-Selvathi, D., Pavithra, P. and Preethi, T. (2017) “Intelligent transportation system for accident prevention and detection”, Intelligent Computing and Control Systems, June. International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)

-Sheng, Q., Min, J., Zhang, X., Zhang, Z., Li, Y. and Liu, G. (2015) “Design and Simulation of Small Space Parallel Parking Fuzzy Controller”, Telecommunication Computing Electronics and Control, Vol. 13, No. 2, PP. 539-546.

-Sivaraman, S. and Trivedi, M. (2010) “A general active-learning framework for on-road vehicle recognition and tracking”, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., Vol. 11, No. 2, pp. 267–276.

-Wada, M., Yoon, K. and Hashimoto, K. (2003) “Development of Advanced Parking Assistance System”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 1, pp. 4-17.

-Zhang, j., Wang, f., Wang, k., Lin, w., and Chen, c. (2011) “Data-Driven Intelligent”, Transportation Systems: A Survey”, IEEE Trans.on Intelligent Transportation Systems, Vol. 5, No. 99, pp.1-16.

-Zhang, S., Simkani, M., Zadeh, M.H., (2011) “Automatic Vehicle Parallel Parking Design Using Fifth Degree Polynomial Path Planning”, IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1-4, Sept. 2011.

– بهروز، ح.، باباخانی، ف. و سرکار، ع. (۱۳۸۸). "سامانه های مدیریت سرعت در نظام حمل‌ونقل و ترافیک"، تهران، شرکت کنترل ترافیک تهران.

– روشنی، غ. (۱۳۹۳). "نگاهی به علل تامه تصادفات"، تهران، نشر روشنی.

– روشنی، غ. و جوادنژاد، س. (۱۳۹۱). "بررسی تخصصی علل تصادفات رانندگی"، تهران، نشر روشنی.

– گلدوزیان، ا. و خزائی، الف. (۱۳۸۸). "شرح کامل تخلفات رانندگی و شیوه های قانونی اجرای آن"، تهران، موسسه انتشاراتی فرهنگی اشتیاق نور.

– مقدسی، م. و مقدسی، ر. (۱۳۸۸). "طراحی خودروهای هوشمند جهت افزایش ایمنی خودرو و پیشگیری از حوادث"، دومین کنفرانس بین‌المللی شهر الکترونیک، تهران.

– مهماندار، م. (۱۳۸۸). "درآمدی بر تصادفات و قوانین"، تهران، مرکز تحقیقات کاربردی پلیس راهنمایی‌ورانندگی ناجا.

احسان خلیلی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی برق کنترل را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه سمنان و درجه کارشناسی ارشد در رشته برق کنترل در سال ۱۳۹۵ را از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان سیستم حمل ونقل هوشمند است.

محمدرضا مهماندار، درجه کارشناسی در رشته حقوق را در سال ۱۳۷٤ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد و درجه کارشناسی ارشد در رشته حقوق بین الملل را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی اخذ نمود. در سال ۱۳۹٤ موفق به کسب درجه دکتری در رشته علوم مدیریت از دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت سوانح و حوادث ترافیکی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه علوم انتظامی امین است.

محمد آریانا، درجه کارشناسی در رشته ریاضی کاربردی را در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه پیام نور الیگودرز و درجه کارشناسی ارشد در رشته ریاضی کاربردی را در سال ۱۳۸۹ از دانشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت حمل‌ونقل است.

توفیق مبادری، درجه کارشناسی در رشته آمار را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه شهید چمران اهواز و درجه کارشناسی ارشد در رشته آمار زیستی را در سال ۱۳۹٦ از دانشگاه علوم پزشکی ایران اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان تحلیل داده‌های پزشکی و حوادث ترافیکی است.