سال ۲۹، شماره ۱۳۳، صفحات ۵۴-۵۸، نوع مقاله: پژوهشی

مجله علمی مهندسی مکانیک

ISSN: 1605-9719

DOI: 10.30506/mmep.2020.131153.1839

طراحی و پیاده‌سازی سامانه روشنایی هوشمند چراغ‌های جلوی خودرو برای مسیر منحنی و پیچ جاده

علیرضا خدایاری[۱ و *]، مرتضی طهماسبی[۲]

[۱] دانشیار مهندسی مکانیک، واحد پردیس دانشگاه آزاد اسلامی

[۲] کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب دانشگاه آزاد اسلامی

*مسئول مکاتبات: arkhodayari@yahoo.com

◄ چکیده

باتوجه به افزایش روز افزون تردد وسایل نقلیه، معیار ایمنی و کنترل حجم ترافیکی از سوی مجامع علمی و تحقیقاتی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از اینرو برای کاهش تصادفات، خطاهای رانندگی و همچنین بهبود جریان ترافیکی فن‌آوری وسایل نقلیه رو به هوشمند شدن پیش می‌رود. محققان با طراحی سامانه‌های کنترلی و کمک راننده در وسایل نقلیه سعی در کاهش خطاهای انسانی در رانندگی، افزایش ایمنی و بهبود جریان ترافیکی دارند. در این پژوهش برای افزایش دید راننده در پیچ جاده‌ها یک سامانه کمک راننده چراغ جلو تطبیقی خودرو طراحی و ساخته می‌شود. از آنجاییکه جهت تابش نور چراغ جلو خودرو بصورت مستقیم است، هنگامی که خودرویی وارد پیچ جاده می‌شود، نور چراغ جلو مسیر پیچ جاده را روشن نمی‌کند. سامانه چراغ جلو تطبیقی می‌تواند جهت تابش نور چراغ جلو خودرو را در جهت پیچ جاده تغییر دهد تا نقاط کور مسیر روشن شود. این سامانه منجر به افزایش دید راننده در پیچ جاده‌ها مخصوصاً در شب شده و به دنبال آن منجر به کاهش خطاهای انسانی و نرخ تصادف‌ها می‌شود.

◄ واژگان کلیدی

سامانه کمک راننده
سامانه چراغ جلو تطبیقی
پیچ جاده

◄ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۱

۱ مقدمه

امروزه بشر حدود ۱۰ میلیون سال از وقت خود را هر ساله صرف رانندگی در خودرو می‌کند. با وجود این، حتی با افزایش تحقیقات ترافیکی، محققان از عوامل و پارامترهای دخیل در امر رانندگی اطلاعات خیلی کمی دارند [۱]. ساختن راه‌های جدید بدلیل محدودیت‌های مکانی و زیست محیطی دیگر کمتر قابلیت عملی شدن را دارد و از طرفی با افزایش تردد وسایل نقلیه و به دنبال آن افزایش تراکم ترافیک و به تبع آن اتلاف سوخت، زمان و منابع مالی، پژوهشگران را واداشته تا به دنبال یک جایگزین مناسب باشند. سیستم حمل و نقل هوشمند (ITS) الگو و جایگزینی هست که پژوهشگران با توجه به پیشرفت‌های زیاد در زمینه تکنولوژی و سیستم‌های ارتباطی به آن دست یافته‌اند [۲].

در سالیان اخیر سیستم‌های مختلف ایمنی خودرو جهت کاهش تصادفات توسعه و معرفی شده‌اند: که به طور کلی آنها را می‌توان به ۲ گروه عمده سیستم‌های ایمنی غیرفعال و سیستم‌های ایمنی فعال تقسیم کرد. هدف اصلی از کاربرد سیستم‌های ایمنی غیرفعال، کاهش خطر آسیب رسیدن به مسافرین خودرو در حین و بعد از وقوع تصادف است. هدف اصلی در کاربرد سیستم‌های ایمنی فعال، در درجه اول جلوگیری از وقوع تصادف است و بدین خاطر آنها را سیستم‌های پیشگیرانه نیز می‌نامند [۳]. در ۱۰ سال اخیر استفاده شرکت‌های خودروسازی از سامانه‌های مختلف کمک راننده به برای کاهش وقوع تصادف افزایش چشمگیری داشته است.

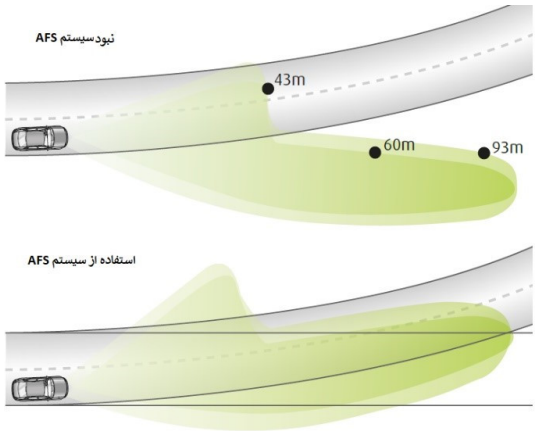
احتمال وقوع تصادف در شرایط رانندگی مختلف مانند شب یا روز و در شرایط جوی متفاوت مانند برف یا باران متفاوت است. بر اساس تحقیق‌های انجام شده در شرکت اپل ۸۰ درصد تلفات مربوط به رانندگی در شب و تاریکی است. حال اگر شرایط آب و هوایی بد نیز به تاریکی شب اضافه شود مشکل دو چندان می شود. تحقیق‌های انجام شده بر روی تصادف‌های گوناگون نشان می‌دهد که اغلب تصادف‌های سنگین در هنگام شب رخ می‌دهد. این درصورتی است که میانگین حجم ترافیک در ساعات تاریکی شب تا ۸۰ درصد کاهش پیدا می‌کند، ولی یک چهارم تصادف‌های جاده‌ای سخت در طول شب روی می‌دهد [۴]. بر اساس آمار منتشر شده توسط دولت فدرال آلمان، در سال ۲۰۰۱ میلادی در کشور آلمان مجموعا ۱۵۱۶ نفر در جاده‌های بیرون شهری جان سپرده‌اند که ۳۶۰ نفر آن‌ها در جاده‌ها و در ساعات شب و تاریکی بوده است [۵]. بر اساس این آمار، بیشترین و اصلی ترین عوامل در بروز تصادف‌های جاده‌ای در حین شب ناشی از سرعت زیاد، عدم تشخیص صحیح مسیر حرکت بوده است [۵].

رانندگی در شب نیازمند سیستم روشنایی قابل اطمینانی است تا احتمال وقوع سوانح رانندگی را به حداقل برساند. سامانه چراغ جلو تطبیقی به عنوان راه حلی برای کاهش وقوع تصادف‌های رانندگی در شب و در مسیرهای منحنی و پیچ جاده‌ها است. از اینرو در این مقاله یک سامانه روشنایی تطبیقی برای چراغ‌های جلو خودرو طراحی و پیاده‌سازی می‌شود.

۲ سامانه چراغ جلو تطبیقی[1]

ایده ساخت چراغ‌های تطبیقی از آنجا شروع شد که در بسیاری از موارد رانندگان قادر به دیدن قوس پیچ‌ها در تاریکی نبوده تا بتوانند سرعت خود را متناسب با آن تنظیم کنند. در حدود ۵۴ درصد از اتوموبیل‌هایی که در شب تصادف می‌کنند از پیچ خارج شده و بیش از ۲۵ درصد از آن‌ها با اتوموبیل‌های روبرو تصادف می‌کنند [۶، ۷]. بخاطر اهمیت این موضوع مهندسین به بررسی یک سیستم نوردهی نوین پرداختند که طی آن چراغ‌های معمولی انواع خودروها در واکنش به اطلاعات دریافتی از حسگرها مانند چرخش غربیلک فرمان به طور خودکار فعال شده و در جهت مورد نظر نورپردازی می‌کنند [۸].

چراغ‌های معمولی در خودرو پرتو نور را در یک مسیر مستقیم می‌تابانند و به تغییر جهت خودرو عکس‌العملی نشان نمی‌دهند. ولی چراغ‌ها تطبیقی به تغییر مسیر، سرعت، ارتفاع خودرو و همچنین خودرو روبرویی عکس‌العمل نشان می‌دهند و به صورت خودکار نور چراغ را با جاده تنظیم می‌کنند. به این صورت که با چرخش خودرو به سمت راست، این سیستم زاویه چراغ را به سمت راست متمایل می‌کند و همچنین بالعکس (شکل ۱). چراغ‌های تطبیقی علاوه بر فراهم کردن رانندگی ایمن‌تر در شب برای راننده خودرو، برای دیگر خودروها موجود در جاده نیز شرایط بهتری فراهم می‌کنند. براساس مشاهدات بدست آمده در کشورهای مختلف جهان مانند ژاپن و آلمان، نتیجه استفاده از نسل اول چراغ‌های تطبیقی در خودروها افزایش ۳۰۰ درصدی دید راننده در پیچ‌ها و در نتیجه کاهش تصادف‌ها به میزان قابل قبولی بوده است [۹].

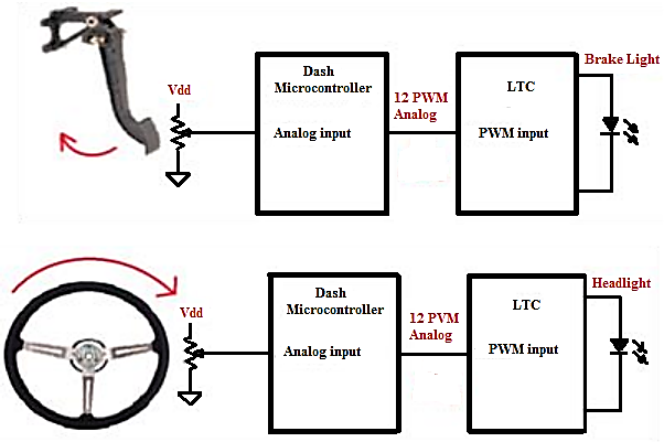


شکل ۱: سامانه چراغ جلو تطبیقی.

۳ طراحی سامانه چراغ جلو تطبیقی

به طور خلاصه حرکت چراغ‌های جلو و میزان چرخش آن‌ها تابع متغیرهایی مانند زاویه چرخ‌ها و یا زاویه فرمان و سرعت وسیله نقلیه خواهد بود که با توجه به مدل دینامیکی خودرو و وجود تئوری‌های مربوطه و توابع حاصله الگوریتمی و روش اجرایی پژوهش می‌تواند طراحی گردد [۱۰]. مهم ترین فرضیاتی که در این تحقیق برای طراحی سامانه استفاده خواهند شد عبارتند از: ۱) دستیابی به پارامتر سرعت خودرو در هر لحظه امکان‌پذیر باشد. ۲) دستیابی به پارامتر زاویه چرخ‌ها و یا زاویه فرمان در هر لحظه امکان‌پذیر باشد. ۳) زمان واکنش طبیعی و عکس‌العمل راننده بعد از تشخیص مانع و فشار بر پدال ترمز در محدوده نرمال تعریف شده باشد (۵۰۰ میلی ثانیه). ۴) ضریب کارآیی سیستم ترمز در سرعت‌های مختلف ثابت فرض می‌شود. ۵) مدل خودرو جهت محاسبات «خودرو با دو درجه آزادی» فرض می‌شود.

برای طراحی و ساخت چراغ‌های تطبیقی ابتدا باید متغیرهای سرعت وسیله نقلیه شامل شعاع انحنای جاده با زاویه چرخ‌های جلو و میزان چرخش فرمان خودرو را به دست آورد. سپس برای ایجاد یک رابطه بین آنها و زاویه چراغ‌های جلو تحقیق نمود. در مرحله اول باید رابطه بین سرعت خودرو و شعاع جاده بررسی شود. در مرحله آخر رابطه این متغیرها با خروجی یعنی زاویه چراغ‌های جلو تحلیل گردد. در شکل ۲ می‌توان نمای شماتیکی از کلیت نحوه عملکرد سیستم چراغ جلوی تطبیقی را مشاهده کرد.



شکل ۲: شماتیک عملکرد سامانه چراغ جلو تطبیقی.

در این پژوهش سامانه‌ای طراحی و پیاده‌سازی خواهد شد که بتواند مستقل از سیستم کنترل مرکزی خودر (ECU) نسبت به ورودی متغیرها، پردازش اطلاعات، تحریک عملگرها و دریافت فیدبک‌ها اقدام نماید. با توجه به اینکه انحنای مسیر قابل پیش‌بینی و محاسبه نیست، محاسبه تغییر زاویه چراغ‌ها از طریق میزان چرخش غربیلک فرمان و یا چرخش چرخ‌ها صورت خواهد گرفت. در این پژوهش برای پیاده‌سازی سامانه از ساده‌ترین و دم‌دست‌ترین قطعات موجود در بازار استفاده می‌شود؛ این امر به این جهت است تا اولاً هزینه ساخت سامانه کمینه شود و قابل استفاده برای همه باشد و ثانیاً امکان پیاده‌سازی و ارتقای چراغ‌های موجود بر روی اکثر خودروها نیز فراهم باشد.

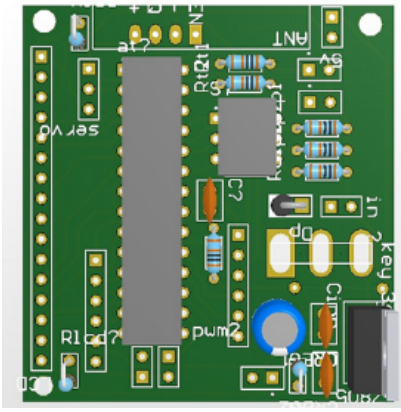
۴ پیاده‌سازی سامانه چراغ جلو تطبیقی

با توجه به طراحی سامانه چراغ جلو تطبیقی و عملکردی که برای آن سامانه در نظر گرفته شده است، قطعات مورد نیاز برای ساخت سامانه انتخاب و تهیه می‌شود. سامانه طراحی‌شده باید بتواند در پیچ جاده‌ها و با چرخش فرمان خودرو زاویه تابش چراغ‌های جلو خودرو را در جهت پیچ مسیر تغییر دهد. در نتیجه، یک سنسور زاویه سنج برای شناسایی زاویه چرخش فرمان و دو سروو موتور[2] برای چرخاندن چراغ‌ها نیاز هست. همچنین به یک میکروکنترلر برای

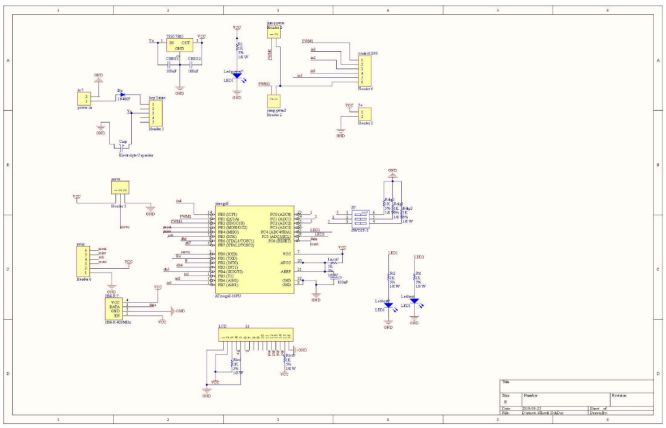
[1] Adaptive front light system [2] Servo motor

ارسال و انجام فرمان‌های کنترلی نیاز است. از میکروکنترل‌های موجود در بازار Atmega 8 که بیشترین استفاده و فراوانی را در بازار دارد و به جهت کاهش هزینه‌های تمام شده محصول به عنوان کنترلر اصلی سیستم استفاده شده است. شکل ۳ طراحی مدار Atmega 8 به همراه پین‌های ورودی و خروجی، و شکل ۴ طراحی مدار برد Atmega 8 در نرم‌افزار Labview را نشان می‌دهند.

همچنین از چراغ‌های جلو خودرو پراید (بیشترین کاربری) به عنوان نمونه استفاده شده است. با انتقال داده‌ها از طریق سنسور زاویه (که بر روی میل غربیلک فرمان نصب شده) به میکروکنترلر و سپس تحلیل اطلاعات و در نهایت ارسال فرمان به سروو موتورهای به کار گرفته شده در داخل کاسه چراغ‌های جلو، حرکت چراغ‌ها و یا به عبارتی تغییر جهت پرتوهای نور میسر خواهد شد. شکل ۵ مجموعه قطعات استفاده شده در ساخت سامانه را نشان می‌دهند.

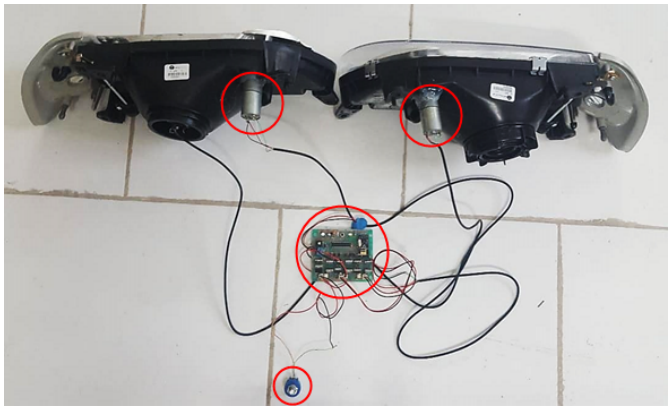


شکل ۳: طراحی مدار Atmega 8 به همراه پین‌های ورودی و خروجی.



شکل ۴: طراحی مدار برد Atmega 8 با استفاده از نرم افزار Labview.

سامانه طراحی‌شده باید مستقل از باقی سامانه‌های کنترلی خودرو عمل کند و از طرفی زاویه چرخاندن چراغ‌ها وابسته به زاویه چرخش فرمان و سرعت خودرو است. بررسی کاتالوگ خودرو پراید نشان می‌دهد که نسبت زاویه فرمان به زاویه چرخ برابر ۱۶ درجه است؛ به عبارتی به ازای هر ۱۶ درجه چرخش غربیلک فرمان، چرخ‌ها به میزان ۱ درجه می‌چرخند که با توجه به جهت چرخش این میزان برای هر چرخ می‌تواند اندکی متفاوت باشد. زاویه پیچش هر چرخ از حالت مستقیم به سمت چپ یا راست حداکثر برابر با ۴۵ درجه هست که بسته به جهت چرخش هر چرخ، اختلاف این زاویه بین دو چرخ حدود ۷ درجه است.



شکل ۵: مجموعه چراغ، سرو موتورها، برد Atmega 8 و سنسور زاویه.

هر خودرو هنگام عبور از قوس افقی، تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز قرار می‌گیرد. برای تأمین ایمنی و راحتی حرکت خودرو بهتر است شیب عرضی راه با توجه به سرعت طرح و شعاع قوس افقی تغییر یابد. با استفاده از شیب عرضی یکسره (بربلندی) در مقطع راه می‌توان بین نیروی اصطکاک جانبی چرخ و رویه، مؤلفه وزن خودرو در امتداد بربلندی و نیروی گریز از مرکز تعادل ایجاد کرد. در طرح قوس افقی راه، رابطه بین سرعت طرح، حداقل شعاع قوس افقی، حداکثر بربلندی و حداکثر ضریب اصطکاک جانبی بین لاستیک چرخ و سطح راه به صورت رابطه زیر است:

$$R_{\min} = \frac{V^{۲}}{۱۲۷(e_{\max} + f_{\max})} \qquad (۱)$$

در این رابطه $R_{\min}$ حداقل شعاع قوس افقی به متر، V سرعت مجاز وسیله نقلیه (کیلومتر درساعت)، $e_{\max}$ حداکثر شیب عرضی و $f_{\max}$ حداکثر ضریب اصطکاک جانبی است. مقدار ضریب اصطکاک جانبی به عوامل چون وضعیت لاستیک چرخ‌های خودرو، نوع رویه، خشک‌تر یا یخ زده بودن سطح راه، سرعت خودرو بستگی دارد. در ادامه با توجه به مشخصات خودروی استاندارد طبق نشریه شماره ۴۱۵ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور و استفاده از معادله (۱) می‌توان رابطه بین زاویه چرخش تایرها و زاویه فرمان با زاویه مورد نیاز برای چرخش چراغ جلو خودرو را بدست آورد. جدول ۱ این رابطه را نشان می‌دهد. به منظور عملکرد سامانه تطبیقی اطلاعات این جدول با استفاده از کدنویسی C++ بر روی کنترلر بارگذاری شده است.

با توجه به اینکه حداکثر سرعت در جاده‌های برون شهری برابر ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت است، می‌توان در جدول ۱ مشاهده کرد که در کمترین شعاع پیچ جاده بیشترین زاویه مربوط به پیچش چرخ‌ها ۷/۶۷ درجه است. لذا در طراحی چراغ‌ها حداکثر محدوده چرخش یا به عبارتی حد چپ و راست ۱۵± درجه در نظر گرفته شده است.

در مرحله بعد یک قاب مشابه با قسمت جلو خودرو با ورق پلکسی طراحی‌شده و با CNC برش و طرح آن پیاده‌سازی می‌شود. سپس چراغ‌ها در آن جاسازی می‌شوند. شکل ۶ محصول ساخته شده نهایی سامانه هوشمند

چراغ جلو به همراه تجهیزات مورد استفاده (از جمله غربیلک فرمان، جعبه سیستم کنترلی و غیره) را نشان می‌دهد.

جدول ۱: رابطه بین زاویه چرخ و چراغ جلو با زاویه فرمان. شیب عرضی ٪۱۲ است.

سرعت	ضریب اصطکاک	حداقل شعاع	زاویه چرخ و چراغ جلو	زاویه فرمان
۳۰	۰/۱۷۰	۲۵	۷/۶۷	۱۲۲/۷
۴۰	۰/۱۶۵	۴۵	۴/۲۶	۶۸/۲
۵۰	۰/۱۶۰	۷۰	۲/۷۴	۴۳/۸
۶۰	۰/۱۵۴	۱۰۵	۱/۸۲	۲۹/۲
۷۰	۰/۱۴۷	۱۴۵	۱/۳۲	۲۱/۲
۸۰	۰/۱۴۰	۱۹۵	۱	۱۶
۹۰	۰/۱۳۰	۲۵۵	۰/۷۵	۱۲
۱۰۰	۰/۱۲۰	۳۳۰	۰/۵۸	۹/۳
۱۱۰	۰/۱۱۰	۴۱۵	۰/۴۶	۷/۴

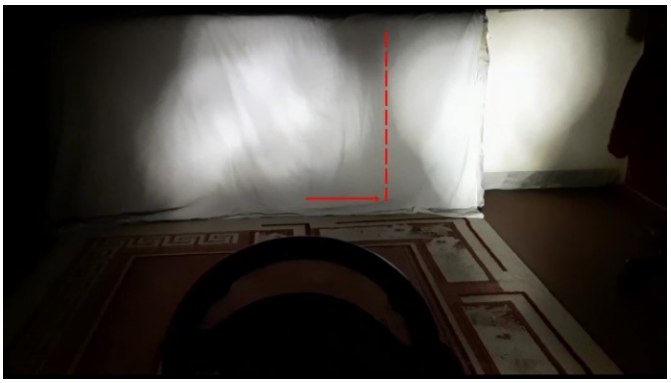
شکل ۶: محصول نهایی ساخته‌شده.

۵ بررسی نتایج

نتایج عملکرد سامانه نشان می‌دهند که با چرخش غربیلک فرمان در جهت پیچ جاده سامانه بخوبی جهت تابش چراغ‌های جلو را در جهت پیچ مسیر تغییر می‌دهد. درنتیجه این عمل، مناطق موجود در جهت پیچ جاده روشن شده و این امر باعث می‌شود تا راننده نقاط تاریک پیچ جاده را ببیند و این امر منجر به کاهش خطای انسانی و تصادفات می‌شود. شکل‌های ۷الف، ۷ب و ۷ج تغییر زاویه چراغ‌های جلو خودرو با چرخش فرمان را در سامانه آزمایشگاهی ساخته‌شده نشان می‌دهند.

(الف)

(ب)



(ج)

شکل ۷: عملکرد سامانه چراغ جلو تطبیقی، (الف) زاویه تابش در وسط، (ب) زاویه تابش به چپ، (ج) زاویه تابش به راست.

همانطور که در شکل ۷الف مشاهده می‌شود، ابتدا زاویه تابش چراغ‌های جلو در وسط است. سپس با چرخاندن غربیلک فرمان به سمت چپ، همانطور که در شکل ۷ب مشاهده می‌شود، زاویه تابش چراغ‌های جلو نیز به سمت چپ تغییر میکند. مشابه همین عملکرد هنگامی که غربیلک فرمان به سمت راست چرخانده می‌شود اتفاق می‌افتد؛ در شکل ۷ج مشاهده می‌شود که زاویه تابش چراغ‌های جلو به سمت راست تغییر کرده است.

البته عملکرد سامانه‌های متحرک همچون سامانه چراغ جلو تطبیقی ساخته‌شده در این پژوهش را نمی‌توان بخوبی از طریق عکس (رسانه‌ای ثابت) نشان داد. از این رو، ویدئوی عملکرد این سامانه نیز به همراه مقاله بارگذاری

می‌شود.

سامانه ساخته‌شده قابلیت نصب بر روی اکثر خودروهای موجود در بازار ایران را دارد. از آنجایی‌که این سامانه مستقل از سیستم کنترل مرکزی خود (ECU) عمل می‌کند، هیچگونه اختلالی در عملکرد باقی سیستم‌های خودرو ایجاد نمی‌کند.

۶ نتیجه‌گیری

در این مقاله یک سامانه روشنایی هوشمند برای چراغ جلوی خودرو طراحی و ساخته شد. در ساخت این سامانه از قطعاتی که به راحتی در بازار یافت می‌شوند استفاده شده است که این امر ساخت سامانه را آسان‌تر و هزینه ساخت آن را کمینه می‌کند. قطعات مورد استفاده در این سامانه شامل دو عدد سروو موتور، یک برد کنترلی Atmega 8 و یک زاویه‌سنج است. در مرحله بعد با استفاده از فرمول مربوطه و مشخصات خودرو مورد نظر روابط بین چرخش فرمان و زاویه مورد نظر برای چرخش تابش چراغ‌های جلو بدست آمد. سپس این روابط بر روی برد سیستم کنترلی بارگذاری شدند. نتایج عملکرد سامانه نشان می‌دهند که سامانه طراحی‌شده به‌خوبی زاویه تابش نور چراغ‌های جلو خودرو را در جهت چرخش فرمان تغییر می‌دهد. این امر به راننده کمک می‌کند تا نقاط تاریک در پیچ جاده‌ها را به‌خوبی ببیند و درنتیجه احتمال وقوع تصادف بسیار کاهش می‌یابد. از سامانه روشنایی تطبیقی ساخته‌شده می‌توان به عنوان یک سامانه همیار در رانندگی که موجب افزایش ایمنی خودروها در پیچ جاده‌ها می‌شود استفاده کرد.

مراجع

[1] Rothery, Richard W. Car following models. *Trac Flow Theory*, 1992.

[2] Ma, Xiaoliang and Andreasson, Ingmar. Behavior measurement, analysis, and regime classification in car following. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 8(1):144–156, 2007.

[3] Revkeldt, MGC and Labibes, K. Literature survey on in-vehicle safety devices. *TNO report*, 3, 2003.

[4] Dhamdhere, Ganesh, Chourasia, Sandhya, Sasatte, Sumit, and Warkey, Lect PK. Adaptive front light control system for every vehicle. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering*, pp. 1091–1094.

[5] Lee, Chuen-Chien. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. i. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 20(2):404–418, 1990.

[6] Wang, Dai Qiang, Gao, Shiyou, Chen, Yu Qing, Wang, Yi, and Liu, Qiao. Intelligent control system based on can-bus for car doors and windows. in *2009 3rd International Conference on Anti-counterfeiting, Security, and Identification in Communication*, pp. 242–245. IEEE, 2009.

[7] Hrairi, Meftah and Bakar, Anwar B Abu. Development of an adaptive headlamp systems. *IEEE Transaction on Computer and Communication Engineering (ICCCE 2010)*, pp. 11–13, 2010.

[8] Motoki, Masanori, Hashimoto, Hiroshi, and Hirao, Tamotsu. Study on visibility and discomfort glare of adaptive frontal lighting system (afs) for motorcycle. in *Proceedings: International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*, vol. 2009. National Highway Traffic Safety Administration, 2009.

[9] Hacibekir, T, Karaman, S, Kural, E, Ozturk, ES, Demirci, M, and Guvenc, B Aksun. Adaptive headlight system design using hardware-in-the-loop simulation. in *2006 IEEE Conference on Computer Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control*, pp. 915–920. IEEE, 2006.

[10] Dong, Guo, Hongpei, Wang, Song, Gao, and Jing, Wang. Study on adaptive front-lighting system of automobile based on microcontroller. in *Proceedings 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE)*, pp. 1281–1284. IEEE, 2011.