تحلیل حساسیت مشخصات ترافیکی در مقابل تغییرات حجم برای چراغ‌راهنمایی عادی و هوشمند (مطالعه موردی: خیابان ماهان شهر کرج)

مقاله پژوهشی-کاربردی

امیررضا مهدوی، دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
امیررضا ممدوحی*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: armamdoohi@modares.ac.ir

دریافت: ۹۷/۱۰/۲۵- پذیرش: ۹۸/۰۲/۰۵

صفحه ۱۴۴-۱۳۳

چکیده

استفاده بهینه از زمان و جلوگیری از اتلاف آن همواره یکی از چالش‌های بزرگ جوامع انسانی است. معمولاً زمان تأخیر و زمان توقف در تقاطع‌ها بخش قابل‌توجهی از زمان سفر را تشکیل می‌دهد. در بین راهکارهای کاهش اتلاف زمان در تقاطع‌ها، استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند همواره موردتوجه مهندسان ترافیک بوده است. ازاین‌رو در این پژوهش تحلیل حساسیت مشخصات جریان ترافیک در مقابل تغییرات حجم ترافیک برای دو حالت چراغ‌راهنمایی عادی و چراغ راهنمایی هوشمند، موردبررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور از داده‌های ترافیکی برداشت‌شده در دو نوبت عصر و ظهر خیابان ماهان شهر کرج استفاده می‌گردد. برای تحلیل حساسیت رفتار چراغ‌ها در برابر تغییرات حجم ترافیک، خیابان ماهان با احجام ترافیک مختلف در دو حالت چراغ‌راهنمایی عادی و چراغ‌راهنمایی هوشمند شبیه‌سازی می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد هوشمند سازی چراغ‌راهنمایی به‌طور میانگین باعث کاهش زمان سفر به میزان ۱۶ درصد، کاهش ۲۴/۵ درصدی زمان تأخیر، کاهش زمان توقف به‌اندازه ۲۸/۹ درصد، کاهش چگالی به‌اندازه ۱۵/۵ درصد و کاهش ۱۴/۶ درصدی زمان سفر کل می‌گردد. همچنین نتایج حاکی از آن است که هوشمند سازی چراغ‌راهنمایی تأثیر چندانی (کمتر از ۵ درصد) بر جریان ندارد. همچنین نتایج حاکی از آن است که هوشمند سازی چراغ‌راهنمایی به‌طور میانگین منجر به افزایش سرعت هارمونیک به میزان ۲۲/۶ درصد می‌گردد. درنهایت با توجه به تحلیل حساسیت مشخص می‌گردد تغییرات مشخصات ترافیکی برای چراغ راهنمایی عادی در مقابل تغییرات حجم ترافیک به‌صورت یک خط است درحالی‌که تغییرات مشخصات ترافیکی برای چراغ‌راهنمایی هوشمند متشکل از دو خط با شیب‌های متفاوت است. این شکست که در حجم ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه رخداده، حاکی از حساسیت بیشتر رفتار چراغ‌راهنمایی هوشمند نسبت به چراغ‌راهنمایی عادی، به حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه (حجم مورداستفاده برای طراحی چراغ‌راهنمایی) است.

واژه‌های کلیدی: چراغ‌راهنمایی هوشمند، تحلیل حساسیت، تغییرات حجم ترافیک، سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل

۱-مقدمه

زمان یکی از مهم‌ترین نعمت‌های الهی است و باید از آن به بهترین شکل استفاده نمود و مانع اتلاف آن شد. همواره در مهندسی ترافیک کاهش زمان سفر و تأخیر یکی از دغدغه‌های اصلی مهندسان بوده است. اساساً ترافیک در شهرها از طریق چراغ‌های راهنمایی سامان‌دهی می‌شود. بنابراین خودروها در ترافیک شهری به سبب کنترل ناکارآمد چراغ‌های راهنمایی می‌توانند زمان سفرهای طولانی‌تری را تجربه کنند. به خاطر

افزایش روزافزون چگالی جریان ترافیک در مناطق شهری، نیاز به عملکرد بهینه چراغ‌های راهنمایی بیشتر حس می‌شود. راهکارهای کارآمد متفاوتی جهت کاهش تأخیر در تقاطع‌ها و بهینه‌کردن عملکرد چراغ‌های راهنمایی همچون محاسبه‌ی سیکل بهینه چراغ، تخصیص زمان سبز مناسب و هوشمندسازی چراغ‌راهنمایی وجود دارد. با این توصیف می‌توان ضرورت هوشمند سازی چراغ‌های راهنمایی را جهت جلوگیری از اتلاف زمان استفاده‌کنندگان از سیستم حمل‌ونقل شهری حس نمود. تن و همکاران در سال ۱۹۹٦ بر روی چراغ‌های ترافیک هوشمند کنترل‌شده توسط منطق فازی کار نمودند. نتایج کار آن‌ها نشان داد استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند باعث بهبود عملکرد تقاطع یعنی کاهش زمان انتظار و کاهش زمان سفر کل می‌گردد. همچنین به سبب کاهش زمان سفر کل و زمان انتظار، مصرف سوخت، آلودگی هوا و آلودگی صوتی کاهش می‌یابد (Tan, Khalid & Yusof, 1996). هجون و چانگیون در سال ۲۰۱۰ بر روی طراحی چراغ‌های ترافیک هوشمند بر مبنای جریان ترافیک کار نمودند. نتایج کار آن‌ها حاکی از آن بود که استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند باعث افزایش ظرفیت تقاطع و افزایش حجم عبوری از تقاطع می‌گردد (Hejun & Changyun, 2010). گررو و همکاران در سال ۲۰۱۰ بر روی مدیریت چند عامله چراغ‌های ترافیک هوشمند کار نمودند. نتایج آن‌ها بیانگر کاهش زمان تأخیر هر خودرو در نزدیکی هر تقاطع براثر استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند است (Guerrero et al., 2010). عبدالکریم و جانتان در سال ۲۰۱۱ بر روی سیستم نظارت بر چراغ‌راهنمایی هوشمند کار نمودند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که بهبود عملکرد سیستم چراغ‌راهنمایی باعث کاهش زمان تأخیر و به سبب آن باعث کاهش اتلاف سوخت و درنتیجه منجر به صرفه‌جویی اقتصادی بسیاری می‌گردد (Kareem & Jantan, 2011). جدهو و همکاران در سال ۲۰۱٤ پژوهشی در رابطه با سیستم چراغ‌راهنمایی هوشمند انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد زمان سبز و قرمز هر چراغ‌راهنمایی می‌تواند به‌طور هوشمند بر اساس حجم ترافیک کل در همه‌ی خیابان‌های مجاور تعیین گردد که باعث بهینه شدن جریان ترافیک و جلوگیری از ایجاد تراکم و ازدحام ترافیک می‌گردد (Jadhav, Madhuri & Ketan, 2014). کانونگو و همکاران در سال ۲۰۱٤ بر روی تعیین چرخه بهینه چراغ هوشمند با استفاده پردازش تصویر کار نمودند. نتایج کار آن‌ها حاکی از آن بود که استفاده از پردازش تصویر برای تعیین طول صف مسیرهای منتهی به تقاطع باعث کاهش زمان محاسبه چرخه بهینه توسط چراغ، کاهش تأخیر و کاهش آلودگی هوا می‌گردد. همچنین نتایج آن‌ها بیانگر این بود که اگر چراغ‌های راهنمایی نزدیک به هم از سیستم پردازش تصویر استفاده کنند بهتر با یکدیگر هماهنگ می‌شوند و موج سبز بهتری در مسیر ایجاد می‌گردد (Kanungo, Sharma & Singla, 2014). میتال و سینگ در سال ۲۰۱٦ مطالعه‌ای بر روی توسعه سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل کار نمودند. آن‌ها در مطالعه‌ی خود روشی برای طراحی چراغ هوشمند ارائه نمودند. نتایج نشان داد روش ارائه‌شده توسط آن‌ها متوسط زمان حرکت بهبودیافته و متوسط زمان انتظار نسبت چراغ‌های هوشمند عادی کاهش‌یافته است (Mittal & Singh, 2016). در مطالعه‌ای دیگر بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌راهنمایی با استفاده از الگوریتم تجمع ذرات کوانتوم بررسی گردید. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از این الگوریتم می‌تواند عملکرد چراغ‌راهنمایی را بسیار بهبود دهد (Hu et al., 2016). همچنین در مطالعه‌ای به‌منظور بهبود عملکرد چراغ‌راهنمایی هوشمند از الگوریتم‌های یادگیری

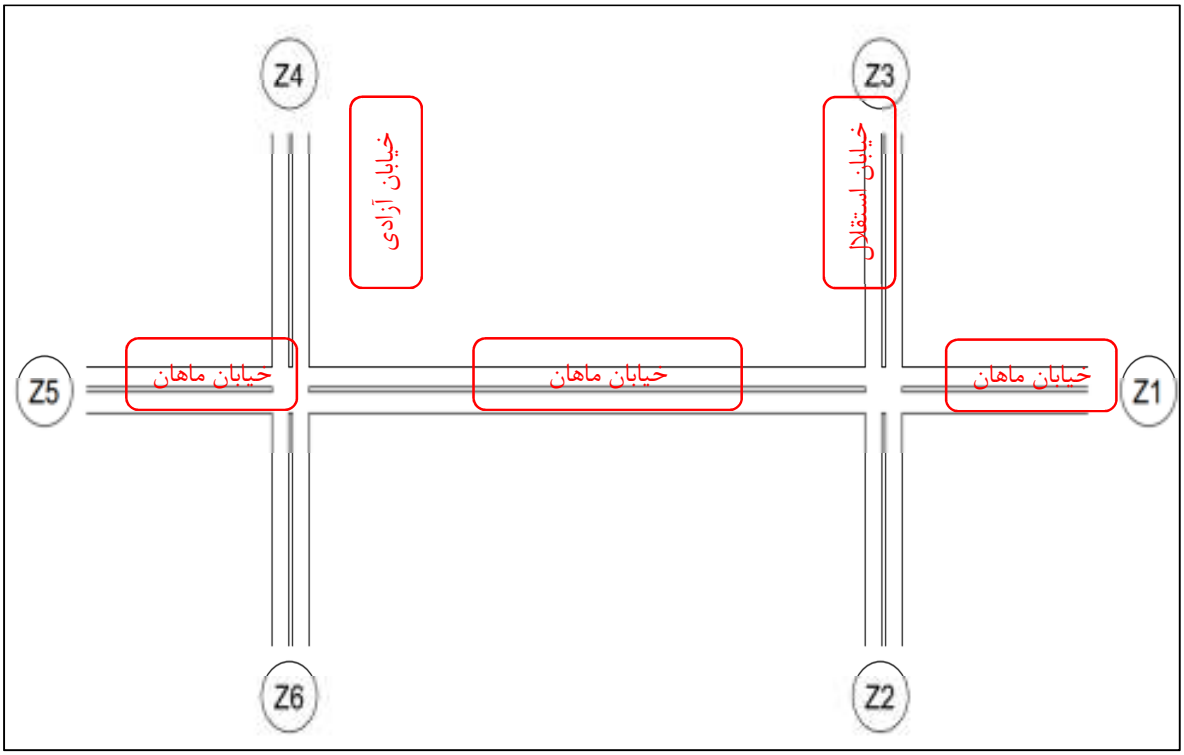
تقویت‌شده استفاده گردیده است (Wei et al., 2018). دریکی از مطالعات روشی بر مبنای نظریه بازی‌ها جهت بهینه کردن عملکرد چراغ‌های هماهنگ هوشمند در تقاطع‌های متوالی ارائه گردید. نتایج مطالعه حاکی از آن بود که روش پیشنهادی می‌تواند زمان انتظار در تقاطع را حدود ۱۰ درصد بیشتر از روش کلاسیک هماهنگ کردن چراغ‌ها کاهش دهد (Bui & Jung, 2018). یکی از موضوعات دیگری که در رابطه با چراغ‌های هوشمند در مطالعات بررسی‌شده، موضوع حملات سایبری به چراغ‌های هوشمند است که در آن انواع مدل‌های خرابکارانه که می‌تواند برای چراغ‌های هوشمند یک شبکه اتفاق بیفتد بررسی‌شده است (Comert et al., 2018).

حاجی حسین لو و همکاران در سال ۱۳۸۵ مطالعه‌ای بر روی تحلیل و بررسی اثرات ترافیکی و زیست‌محیطی چراغ‌های هوشمند و چراغ‌های غیرهوشمند انجام دادند. نتایج آن‌ها بیانگر این بود که نصب چراغ‌راهنمایی هوشمند باعث کاهش ٤ الی ۳۷ درصدی زمان سفر، کاهش ۳۸ درصدی زمان تأخیر به ازای هر وسیله نقلیه در ساعت اوج می‌گردد. همچنین آن‌ها نشان دادند استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند باعث کاهش تولید آلاینده‌های هوا ازجمله منواکسید کربن و متان می‌گردد (Hosseinloo, Goudarzi & Fereydoonzadeh, 2006). آقاجانی نژاد و همکاران در سال ۱۳۹٤ پژوهشی در رابطه با استفاده از چراغ هوشمند دارای فاز گردش‌به‌چپ به‌جای دوربرگردان انجام دادند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر این بود که تقاطع دارای چراغ هوشمند و فاز انحصاری گردش‌به‌چپ با خط عبور انحصاری گردش‌به‌چپ نسبت به سایر طرح-های پیشنهادی دارای پارامترهای بهتری همچون تأخیر کمتر، آلودگی کمتر، سرعت بیشتر و ایمنی بیشتر است (Aghajaninejad et al, 2016). در این پژوهش ابتدا در تقاطع‌های موردبررسی چراغ‌راهنمایی هوشمند، جایگزین چراغ‌راهنمایی عادی می‌گردد و به اثر سنجی کمی هوشمند سازی چراغ‌راهنمایی پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه در مطالعات پیشین به تحلیل حساسیت مشخصات ترافیکی تقاطع دارای چراغ عادی یا چراغ هوشمند در برابر تغییرات حجم کمتر پرداخته‌شده، در این پژوهش تحلیل حساسیت مشخصات ترافیکی در مقابل تغییرات حجم ترافیک برای چراغ‌راهنمایی عادی و هوشمند انجام می‌گردد.

نمونه موردی

برای این پژوهش از دو تقاطع مجاور در شهر کرج مطابق با شکل (۱)، استفاده می‌گردد. یکی از آن‌ها تقاطع خیابان ماهان با خیابان آزادی و دیگری تقاطع خیابان ماهان با خیابان استقلال است. همچنین لازم به ذکر است که فاصله این دو تقاطع از یکدیگر برابر با ۳۰۰ متر است.

شکل ۱. تقاطع‌های خیابان ماهان با خیابان‌های آزادی و استقلال شهر کرج



شکل ۲. طرح‌واره خیابان ماهان و تقاطع‌های آن با خیابان آزادی و خیابان استقلال و شماره‌گذاری مبادی و مقاصد

جدول ۱. ماتریس سفر مبادی و مقاصد شش‌گانه خیابان ماهان شهر کرج

از / به	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	تولید
Z1	۰	۰	٥٤	٥١	۲۳۰	۰	۳۳٥
Z2	۱٦۱	۰	۲۰۱	۰	۰	۰	۳٦۲
Z3	۰	۱۳٤	۰	٥٥	٥٤	۰	۲٤۳
Z4	۰	۰	۰	۰	۱۱۰	۲۹٦	٤۰٦
Z5	۱٤۲	۰	۲۱	۰	۰	٦٥	۲۲۸
Z6	٤۱	۱٥	۰	٤٤۲	۰	۰	٤۹۸
جذب	۳٤٤	۱٤۹	۲۷٦	٥٤۸	۳۹٤	۳٦۱	۲۰۷۲

از مهم‌ترین کاربری‌های موجود در این ناحیه می‌توان به پمپ‌بنزین و پارکینگ اتوبوس‌های شرکت واحد واقع در ضلع غربی تقاطع خیابان ماهان و استقلال و همچنین بازار روز و بازار ماهی ماهان واقع در ضلع شرقی تقاطع خیابان ماهان و خیابان استقلال اشاره نمود. به‌منظور شمارش خودروها و به دست آوردن احجام جریان ترافیک در تقاطع‌های موردنظر در دو نوبت ظهر (۱۱:۳۰ الی ۱۳:۳۰) و عصر (۱۸:٤٥ الی ۲۱:۳۰) از تقاطع‌ها فیلم‌برداری شده و سپس خودروها به تفکیک مسیر حرکت و نوع خودرو در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای شمارش‌شده‌اند. بدین طریق حجم ترافیک ۱۵ دقیقه بحرانی و یک ساعت بحرانی برای هر تقاطع محاسبه‌شده است. در شکل (۲) محدوده موردمطالعه به‌صورت طرح‌واره نشان داده‌شده است. همچنین ماتریس سفر مطابق با جدول (۱) است. در این بخش به تحلیل و بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که در شکل‌های (۳) الی (۱۱) خط خاکستری نشان‌دهنده‌ی سناریو اول (چراغ‌راهنمایی عادی) و خط آبی نشان‌دهنده‌ی سناریو دوم (چراغ‌راهنمایی هوشمند) برای احجام کمتر از ۱۰۵ درصد و خط نارنجی نشان‌دهنده سناریو دوم (چراغ‌راهنمایی هوشمند) برای احجام بیشتر از ۱۰۵ درصد هستند.

شبیه‌سازی

در این پژوهش برای مدل‌سازی از نرم‌افزار Aimsun استفاده‌شده است. برای مقایسه زمان سفر در حالت موجود و حالتی که چراغ‌ها هماهنگ و هوشمند باشند، دو سناریو کلی با احجام متغیر در نرم‌افزار Aimsun به شرح ذیل تعریف‌شده است:

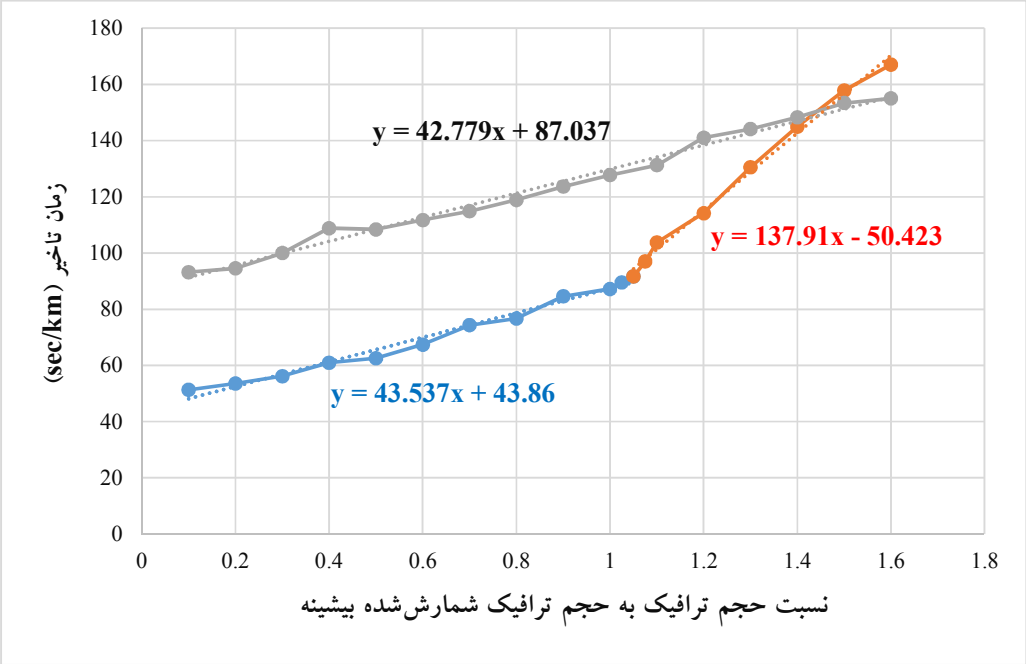
سناریو۱: وضع موجود (چراغ‌راهنمایی عادی)

سناریو۲: هر دو تقاطع دارای چراغ هوشمند باشند.

ازآنجایی‌که در پژوهش‌های پیشین به موضوع بررسی رفتار چراغ‌راهنمایی در برابر تغییرات حجم کمتر پرداخته‌شده است، در این پژوهش برای بررسی تأثیر تغییرات حجم ترافیک بر روی مشخصات جریان ترافیک (همچون زمان سفر، طول صف، جریان، چگالی، کل مسافت طی شده، سرعت هارمونیک و تأخیر) برای سناریو شماره یک ۱٦ حالت در نظر گرفته می‌شود، که از حجم ترافیک ۱۰ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه شروع و تا ۱٦۰ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه (هر ۱۰ درصد) ادامه می‌یابد. اما برای سناریو شماره ۲ علاوه بر ۱٦ حالت در نظر گرفته‌شده برای چراغ‌راهنمایی عادی، سه حالت دیگر شامل احجام ۱۰۲/۵ درصد و ۱۰۵ درصد و ۱۰۷/۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه موردبررسی قرار می‌گیرد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت برای تحلیل حساسیت مشخصات ترافیکی در برابر تغییرات حجم ترافیک، درکل برای

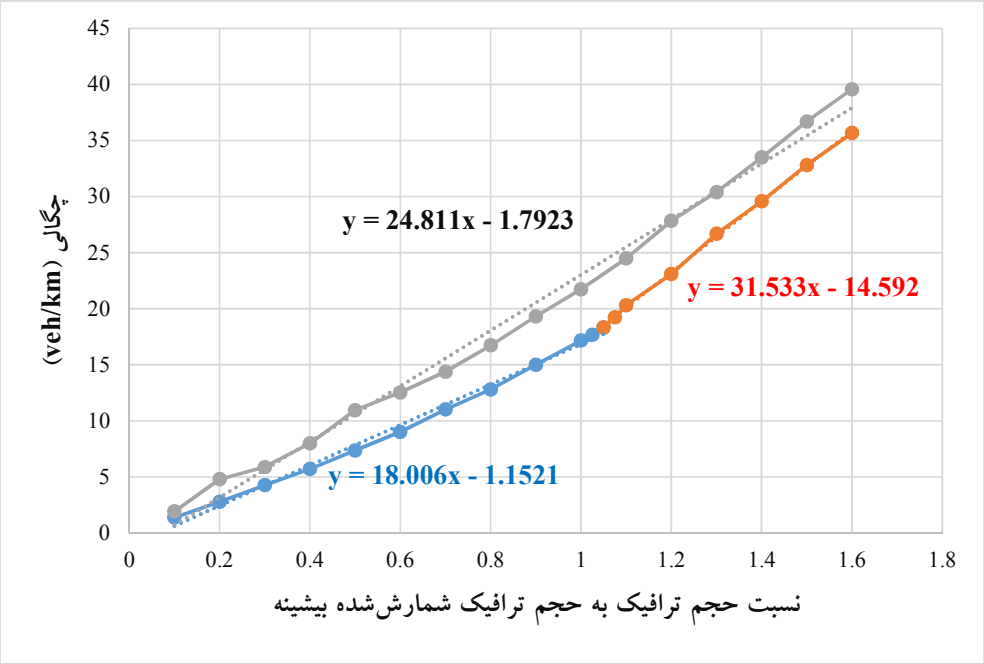
چراغ‌راهنمایی عادی ۱۶ حالت و برای چراغ‌راهنمایی هوشمند ۱۹ حالت مختلف حجم در نظر گرفته می‌شود.

تحلیل و بررسی نتایج

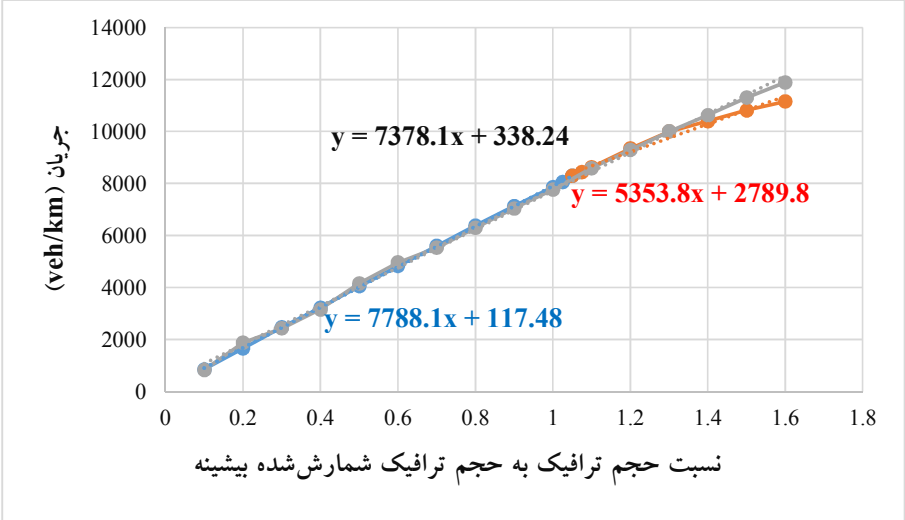


شکل ۳. تغییرات زمان تأخیر در مقابل تغییرات حجم ترافیک

شکل (۳) حاکی از آن است که زمان تأخیر برای سناریو یک به‌صورت خطی تغییر می‌کند این در حالی است که تغییرات زمان تأخیر برای سناریو دو به‌وسیله دو خط با شیب‌های متفاوت یکی برای احجام ترافیک کمتر از ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه و دیگری برای احجام ترافیک بیشتر از ۱۰۵ درصد حجم بهینه تخمین زده می‌شود. با توجه به خطوط برازش شده به نتایج مشخص می‌شود اگر حجم ترافیک از ۱٤٤/۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه بیشتر شود زمان تأخیر برای سناریو دو (چراغ هوشمند) بیشتر از زمان تأخیر سناریو یک (وضع موجود) است. همچنین اگر حجم ترافیک از صفرتا ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه تغییر کند زمان تأخیر برای سناریو دو به‌طور میانگین ٤۳ ثانیه بر کیلومتر کمتر از سناریو یک است. به‌طور میانگین زمان تأخیر برای سناریو دو برابر با ۹۳/۲۲ ثانیه بر کیلومتر و برای سناریو یک برابر با ۱۲۳/٤۰ ثانیه‌برکیلومتر است. بنابراین استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند به‌طور میانگین زمان تأخیر را به میزان ۲٤/۵ درصد کاهش می‌دهد. شکل (٤) نشانگر آن است که تغییرات چگالی برای سناریو یک به‌صورت خطی است درحالی‌که برای سناریو دو متشکل از دو خط متفاوت است. چگالی متوسط برای سناریو دو برابر با ۱٦/۳۱ وسیله بر کیلومتر و برای سناریو یک برابر با ۱۹/۳۰ وسیله بر کیلومتر است. بنابراین استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند به‌طور میانگین ۱۵/۵ درصد چگالی را کاهش می‌دهد.

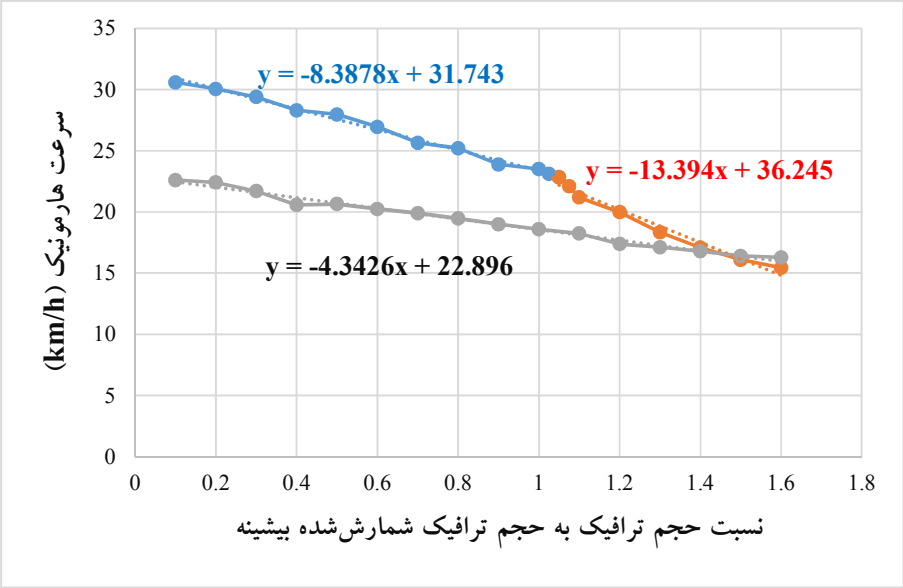


شکل ٤. تغییرات چگالی در مقابل تغییرات حجم ترافیک



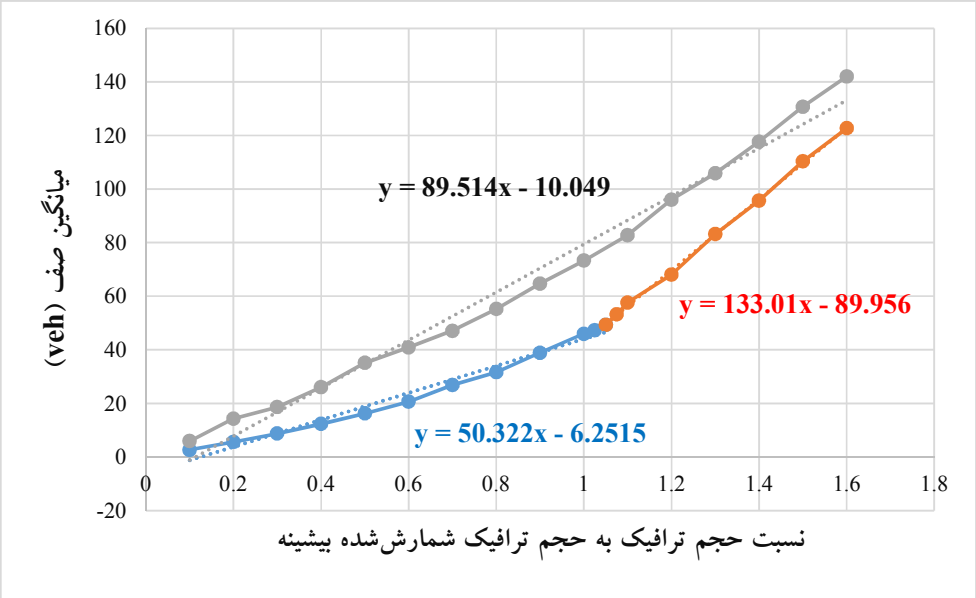
شکل ٥. تغییرات چگالی در برابر تغییرات حجم ترافیک

شکل (٥) بیانگر آن است که تغییرات چگالی از صفرتا ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه ترافیک برای سناریو یک و دو تقریباً باهم برابر است ولی برای احجام بیش از ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه مقدار جریان کمی کاهش می‌یابد. مقدار جریان برای سناریو یک به‌طور میانگین برابر با ٦٦٠٩/٦٥ وسیله بر کیلومتر و برای سناریو دو به‌طور میانگین برابر با ٦٧٩٨/٣٢ وسیله بر کیلومتر است. درنتیجه استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند در کل جریان را به میزان ۳ درصد افزایش می‌دهد.

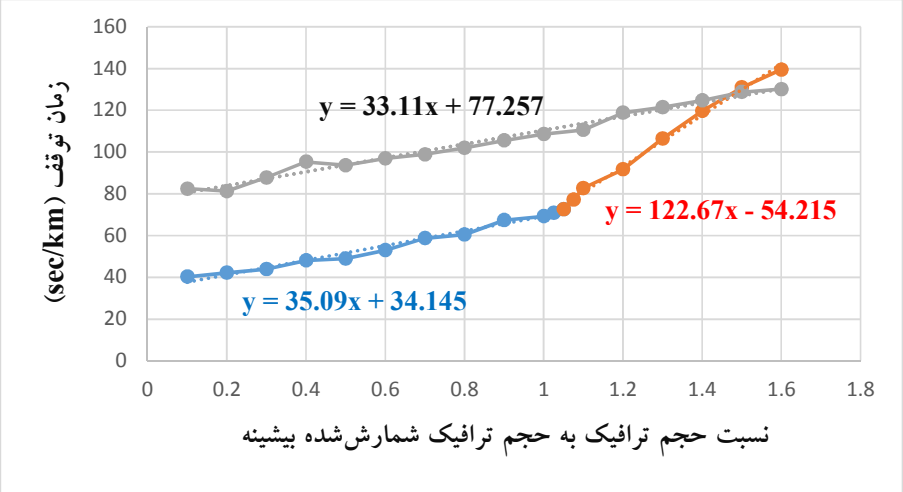


شکل ٦. تغییرات سرعت هارمونیک در مقابل تغییرات حجم ترافیک

مطابق با شکل (٦) مشخص می‌گردد، تغییرات سرعت هارمونیک برای سناریو یک به‌صورت خطی و برای سناریو دوم از دو خط تشکیل‌شده است. همچنین با توجه به خطوط نشان داده‌شده مشخص می‌گردد اگر حجم ترافیک از ١٤٧/٥ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه بیشتر شود مقدار سرعت هارمونیک برای سناریو دو (چراغ‌راهنمایی هوشمند) از سناریو یک (چراغ‌راهنمایی عادی) کمتر خواهد بود. مقدار سرعت هارمونیک به‌طور میانگین برای سناریو یک برابر با ١٩/٢١ کیلومتر بر ساعت و برای سناریو دو برابر با ٢٣/٥٦ کیلومتر بر ساعت است. بنابراین استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند در کل باعث افزایش سرعت هارمونیک به میزان ٢٢/٦ درصد می‌گردد. مطابق با شکل (٧) می‌توان گفت تغییرات طول صف برای سناریو یک به‌صورت خطی و برای سناریو دو شامل دو خط با شیب‌های متفاوت، که در ١٠٥ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه به یکدیگر متصل می‌شوند، است. میانگین طول صف برای سناریو یک برابر با ٦٦/٠٤ وسیله و برای سناریو دو برابر با ٤٧/٢٢ وسیله است. درنتیجه می‌توان گفت استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند در کل موجب کاهش طول صف به میزان ٢٨/٥ درصد خواهد شد.

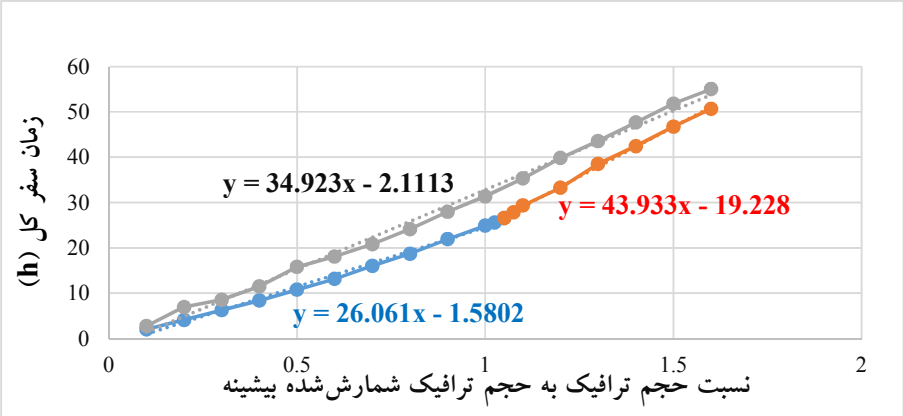


شکل ۷. تغییرات میانگین طول صف در مقابل تغییرات حجم ترافیک



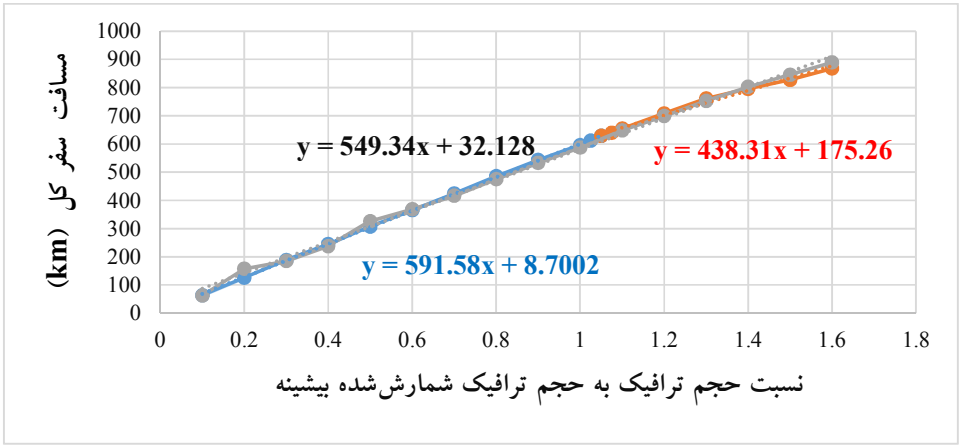
شکل ۸. تغییرات زمان توقف در مقابل تغییرات حجم ترافیک

شکل (۸) حاکی از آن است که تغییرات زمان توقف برای سناریو یک به‌صورت خطی و برای سناریو دو شامل دو خط با شیب‌های متفاوت، که در ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه به یکدیگر متصل می‌شوند، است. با توجه خطوط برازش شده بر نتایج که در شکل (۸) مشخص‌شده‌اند می‌توان گفت اگر حجم ترافیک از ۱٤٦/۸ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه بیشتر شود، زمان توقف سناریو دو (چراغ‌راهنمایی هوشمند) از زمان توقف سناریو یک (چراغ‌راهنمایی عادی) بیشتر خواهد بود. در غیر این صورت زمان تأخیر برای سناریو دو از سناریو یک کمتر است. میانگین زمان توقف به‌طور میانگین برای سناریو یک برابر با ۱۰۵/٤۰ ثانیه بر کیلومتر و برای سناریو دو برابر با ۷٤/۹۲ ثانیه بر کیلومتر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند در کل زمان توقف را ۲۸/۹ درصد کاهش می‌دهد.

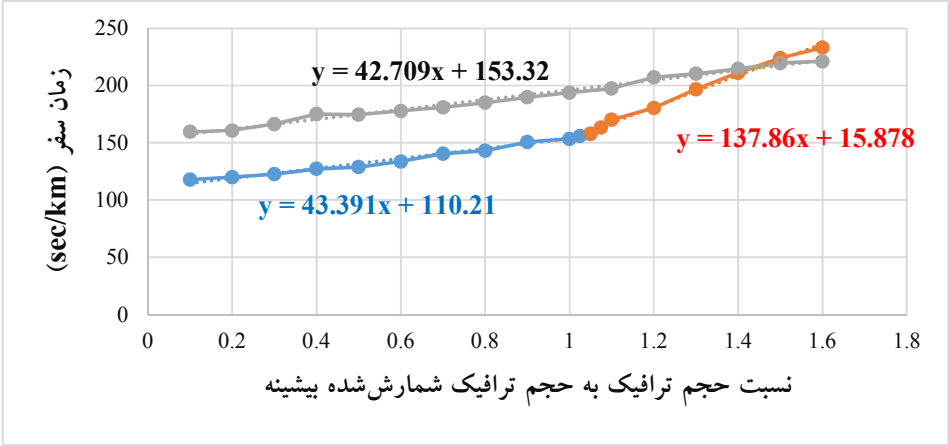


شکل ۹. تغییرات زمان سفر کل در مقابل تغییرات حجم ترافیک

شکل (۹) بیانگر این است که تغییرات زمان سفر کل در مقابل تغییرات حجم ترافیک برای سناریو یک به‌صورت خطی است، درحالی‌که برای سناریو دو از دو خط با شیب‌های متفاوت یکی برای احجام ترافیک کمتر از ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه و دیگری برای احجام ترافیک بیشتر از ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه تشکیل‌شده است. میانگین زمان سفر کل برای سناریو یک برابر با ۲۷/۵۷ ساعت و برای سناریو دو برابر با۲۳/۵٤ ساعت است. درنهایت می‌توان نتیجه گرفت استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند در کل موجب کاهش ۱٤/٦ درصدی زمان سفر کل می‌گردد. شکل (۱۰) بیان می‌کند تغییرات مسافت سفر کل در مقابل تغییرات حجم برای سناریو یک و دو تقریباً باهم برابر است. میانگین مسافت سفر کل برای سناریو یک برابر با ٤۹۹/۰۷ کیلومتر و برای سناریو دو برابر با ۵۱۷/۹۰ کیلومتر است. بنابراین استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند به‌طور میانگین مسافت سفر کل را ۳/۷ درصد افزایش می‌دهد.



شکل ۱۰. تغییرات مسافت سفر کل در مقابل تغییرات حجم ترافیک



شکل ۱۱. تغییرات زمان سفر در مقابل تغییرات حجم ترافیک

شکل (۱۱) نشان می‌دهد که تغییرات زمان سفر در مقابل تغییرات حجم ترافیک برای سناریو یک به‌صورت خطی است، درحالی‌که برای سناریو دو متشکل از دو خط با شیب‌های متفاوت، یکی برای احجام کمتر از ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه و دیگری برای احجام بیشتر از ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه، است. با توجه به خطوط برازش شده به نتایج شبیه‌سازی، مشخص می‌گردد که اگر حجم ترافیک بیشتر از ۱٤٤/٤ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه شود مقدار زمان سفر برای سناریو دو از سناریو یک بیشتر خواهد شد در غیر این صورت زمان سفر سناریو دو از زمان سفر سناریو یک کمتر خواهد بود. مقدار زمان سفر به‌طور میانگین برای سناریو یک برابر با ۱۸۹/۸۳ sec/km و برای سناریو دو برابر با ۱۵۹/٤۷ sec/km است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند در کل منجر به کاهش زمان سفر به میزان ۱٦ درصد می‌گردد.

۵-نتیجه‌گیری

همواره یافتن راهکاری برای بهبود عملکرد تقاطع‌ها یکی از دغدغه‌های اساسی مهندسان حمل‌ونقل و برنامه‌ریزان شهری بوده است. بدین منظور در این پژوهش به اثر سنجی هوشمند سازی چراغ‌راهنمایی و تحلیل حساسیت پارامترهای ترافیکی در برابر تغییرات حجم پرداخته شد. داده‌های ترافیکی موردنیاز برای مدل‌سازی از خیابان ماهان شهر کرج حدفاصل میدان جمهوری الی خیابان آزادی جمع‌آوری گردید. برای مدل‌سازی دو سناریو در نرم‌افزار Aimsun تعریف شد. سناریو اول وضع موجود (تقاطع‌ها با چراغ‌راهنمایی عادی) و سناریو دوم استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند در تقاطع‌ها بود. در ذیل خلاصه نتایج شبیه‌سازی و تحلیل حساسیت آورده شده است.

۱. تغییرات مشخصات ترافیکی زمان سفر، زمان تأخیر، طول صف، سرعت هارمونیک، چگالی و جریان در مقابل تغییرات حجم ترافیک برای چراغ‌راهنمایی عادی به‌صورت خطی است. درحالی‌که برای چراغ‌راهنمایی هوشمند از دو خط با شیب‌های متفاوت تشکیل‌شده که نقطه شکست، در حجم ترافیک برابر با ۱۰۵ درصد حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه قرار دارد. این امر حاکی از آن است که رفتار چراغ‌راهنمایی هوشمند نسبت به چراغ‌راهنمایی عادی، به حجم ترافیک شمارش‌شده بیشینه (حجم مورداستفاده برای طراحی چراغ) حساس‌تر است.

۲. استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند تأثیر چندانی (کمتر از ۵ درصد) بر کل مسافت سفر و جریان ندارد.

۳. استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند باعث افزایش سرعت هارمونیک به‌اندازه ۲۲/٦ درصد می‌گردد.

٤. استفاده از چراغ‌راهنمایی هوشمند باعث کاهش ۲٤/۵ درصدی زمان تأخیر، کاهش چگالی به میزان ۱۵/۵ درصد، کاهش ۲۸/۵ درصدی میانگین طول صف، کاهش زمان توقف به‌اندازه ۲۸/۹ درصد، کاهش زمان سفر کل به میزان ۱٤/٦ درصد و کاهش ۱٦ درصدی زمان سفر می‌گردد. با توجه به محدودیت‌هایی که در این مطالعه وجود داشت، پیشنهاد می‌گردد همین موضوع بر روی شبکه‌ای بزرگ‌تر شامل چندین تقاطع بررسی گردد.

٦-سپاسگزاری

در انتها از زحمات بی‌دریغ جناب دکتر صالح شریف طهرانی، مهندس معین غفاری، مهندس سعید آقاجانی، مهندس سپهر شاکری و مهندس علی اسدینیا بابت کمک در جمع‌آوری داده‌ها قدردانی می‌شود.

۷-مراجع

- آقاجانی‌نژاد، س.، اسدی‌نیا، ع.، مهدوی، ا.ر.، شاکری، س.، شریف طهرانی، ص. (۱۳۹٤، اسفند). "بررسی نقش چراغ‌های هوشمند به عنوان ابزاری بهینه برای حذف دور برگردان‌ها با کالیبراسیون نرم‌افزار Aimsun". پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل‌ونقل و ترافیک تهران، ایران.

- حاجی حسین لو، م.، گودرزی، ع.، فریدون‌زاده، ف. (۱۳۸۵)، "تحلیل و بررسی اثرات ترافیکی و زیست‌محیطی چراغ‌های هوشمند و چراغ‌های غیر هوشمند در تقاطع‌ها". فصل نامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره هشتم، شماره اول، ص. ٥٤-٦٦.

- Bui, K.H.N. and Jung, J.J., (2018), "Cooperative game-theoretic approach to traffic flow optimization for multiple intersections". Computers & Electrical Engineering, Vol. 71, pp.1012-1024.

- Comert, G., Pollard, J., Nicol, D.M., Palani, K. and Vignesh, B., (2018), "Modeling cyber attacks at intelligent traffic signals". Transportation research record, Vol. 2672, No. 1, pp.76-89.

- Guerrero-Ibanez, A., Contreras-Castillo, J., Buenrostro, R., Marti, A. B., & Muñoz, A. R. (2010), "A policy-based multi-agent management approach for intelligent traffic-light control". In Intelligent Vehicles Symposium (IV), IEEE, pp. 694-699.

- Hejun, W., & Changyun, M. (2010, June). Design of intelligent traffic light control system based on traffic flow. In Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering (CCTAE), Vol. 3, pp. 368-371.

- Hu, W., Wang, H., Qiu, Z., Nie, C. and Yan, L., (2016), "A quantum particle swarm optimization driven urban traffic light scheduling model". Neural Computing and Applications, Vol. 29, No.3, pp.901-911.

- Jadhav, A.D., Madhuri, B., & Ketan, T. (2014), "Intelligent traffic light control systems (ITLCS)". International Journal of Soft Computing and Artificial Intelligence, Vol. 2, No. 1, pp. 84-87.

- Kanungo, A., Sharma, A., & Singla, C. (2014), "Smart traffic lights switching and traffic density calculation using video processing". In Engineering and computational sciences (RAECS), recent advances in pp. 1-6.

- Kareem, E. I. A., & Jantan, A. (2011), "An intelligent traffic light monitor system using an adaptive associative memory". IJIPM: International Journal of Information Processing and Management, Vol. 2, No. 2, pp. 23-39.

- Khalid, M. (1996), "Intelligent traffic lights control by fuzzy logic". Malaysian Journal of Computer Science, Vol. 9, No. 2, pp. 29-35.

-Mittal, P., & Singh, Y. (2016), "Development of intelligent transportation system for improving average moving and waiting time with artificial intelligence". Indian Journal of Science and Technology, Vol. 9, No. 3, pp. 1-7.