تأثیر چراغ‌های هوشمند BITS و هماهنگ‌سازی تقاطع‌ها بر متغیرهای ترافیکی و زیست محیطی (مطالعه موردی: شهر یزد)

مقاله پژوهشی

محسن ابوطالبی اصفهانی*، استادیار، دانشکده عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
غلامرضا شیران، استادیار، دانشکده عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
مهدی فلاح تفتی، دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
زکیه سلیمی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.aboutalebi.e@eng.ui.ac.ir

دریافت: ۹۸/۰۳/۱۰- پذیرش: ۹۸/۰۸/۰۵
صفحه ٦٢-٤٥

چکیده

برای کاهش اثرات نامطلوب تقاطع‌ها می‌توان از سیستم‌های هوشمند و هماهنگ‌سازی چراغ‌ها استفاده کرد. سیستم BITS همان سیستم‌های SCATS و SCOOT بوده که در داخل کشور بومی سازی شده است. بنابراین هدف این مطالعه بررسی تأثیر سیستم هوشمند BITS بر متغیرهای ترافیکی و زیست محیطی است. این ارزیابی در حالت چراغهای هماهنگ و منفرد نیز انجام شده است. متغیرهای ترافیکی شامل طول صف، زمان تأخیر، زمان توقف، زمان سفر، سرعت متوسط و متغیرهای زیست محیطی شامل مصرف سوخت، آلودگی هوا ناشی از گازهای کربن منواکسید، هیدروکربن و اکسیدهای نیتروژن و آلودگی صوتی هستند. مطالعه با انتخاب سه چهار راه و دو سه راه در شهر یزد و برداشت‌های میدانی نرخ تردد، زمان سفر، آلودگی هوا و صدا و شبیه سازی در نرم افزار AIMSUN ومقایسه‌ای بین سیستم کنترل ثابت، هوشمند و هماهنگ صورت گرفت. نتایج نشان داد در کنترل منفرد هوشمند، تمام متغیرها بهبود قابل توجهی نسبت به کنترل منفرد ثابت داشته وکنترل ثابت هماهنگ، بهتر از ثابت مجزا است؛ در حالی که کنترل مجزای هوشمند از هر دو مورد ذکر شده، عملکرد ترافیکی و زیست محیطی بهتری داشته است.همچنین بیشترین تاثیر روی طول صف و زمان توقف بوده که بیشتر از سایر متغیرها توسط ادارک راننده‌گان قابل اندازه‌گیری است. بنابراین می‌توان با استفاده از چراغ‌های راهنمایی هوشمند BITS و هماهنگ‌سازی تقاطع‌های یا به عبارتی کاربرد موج سبز در تقاطع‌های نزدیک به هم، از به هدر رفتن وقت و سرمایه‌های ملّی جلوگیری کرد. نتیجه عملی‌تر آن کاهش آلودگی هوا، صدا و تأخیر وسایل نقلیه پشت چراغ‌های راهنمایی است.

واژه‌های کلیدی: تقاطع‌های هماهنگ، چراغ‌های راهنمایی، چراغ‌های هوشمند BITS، متغیرهای ترافیکی، متغیرهای زیست محیطی

۱- مقدمه

تقاطع‌ها یکی از مهمترین اجزاء شبکه‌ی حمل و نقل و محل عبور و تبادل برای وسایل نقلیه و عابرین پیاده، است. وجود تقاطع‌ها در شهرها اجتناب ناپذیر بوده و منجر به نامطلوب شدن متغیرهای ترافیکی و زیست محیطی می‌شود. متغیرهای ترافیکی شامل طول صف، زمان تأخیر، زمان توقف، زمان سفر، سرعت متوسط و متغیرهای زیست محیطی شامل مصرف سوخت، آلودگی هوا ناشی از گازهای کربن منواکسید، هیدروکربن و اکسیدهای نیتروژن و آلودگی صوتی هستند. امروزه با رشد روز افزون جمعیت و افزایش استفاده از وسایل نقلیه در شهرها، مشکلات مربوط به حمل‌ونقل و جابجایی‌ها در تقاطع‌ها به مسئله‌ی مهمی در بخش مدیریت ترافیک تبدیل شده است. به علت وجود تقاطع‌ها به شهروندان صف، تأخیر،

مصرف سوخت و آلودگی، تحمیل می‌شود. عدم زمان‌بندی و کنترل مناسب چراغ‌های راهنمایی در شبکه حمل‌ونقل شهری تأثیر این مسائل را دو چندان می‌کند. استفاده از چراغ‌های راهنمایی هوشمند و تقاطع‌های هماهنگ، یکی از روش‌های مؤثر در کنترل ترافیک تقاطع‌های چراغ‌دار بوده و مطالعات متعددی در مورد تقاطع‌های منفرد و هماهنگ، و بررسی اثرات سیستم‌های کنترل هوشمند انجام شده است. بنابراین مسئله، ارزیابی میزان تاثیر هوشمندسازی و هماهنگی چراغ‌های راهنمایی بر متغیرهای ترافیکی و زیست محیطی است.

اهمیت آلودگی‌های ناشی از حمل ونقل به حدی است که در مطالعات مختلف به بررسی آنها به روش‌های مختلفی پرداخته شده است. [Pashaei Houlaso; Narenji, 2018; Ganji, 2018; Mokhtarani, Zahed and Partani, 2013; Abdoli; Mirhassani and Hooshmand, 2018].

علیرغم کاربرد وسیع چراغ‌های هوشمند برای تقاطع‌های منفرد و هماهنگ کردن تقاطع‌های مجاور هم در دنیا، متأسفانه هنوز هم بسیاری از تقاطع‌های کشور از طریق زمان‌بندی ثابت و بدون هماهنگی، کنترل می‌شوند. تقاطع‌های که به صورت مؤثر کنترل نمی‌شوند؛ بر اقتصاد کشور، ایمنی ترافیک، تأخیرهای تحمیل‌شده بر رانندگان وسایل نقلیه و محیط‌زیست، اثرات غیرقابل جبرانی وارد می‌کنند. هماهنگ‌سازی تقاطع‌های یا به عبارتی کاربرد موج سبز و کارآیی آن نسبت به هوشمند سازی تقاطع منفرد و عدم هوشمند سازی آن، قابل مقایسه است. با پیشرفت علم و تکنولوژی، سیستم‌های جدید کنترل ترافیک در جهت بهبود شرایط در بسیاری از تقاطع‌های کشور به کار گرفته شده‌اند. از جمله سیستم‌های طراحی شده در کشورهای پیشرفته جهت کنترل هوشمند و هماهنگ سازی تقاطع‌ها، سیستم‌های SCATS [۱] و SCOOT [۲] هستند. در راستای بومی‌سازی سیستم‌های فوق، در سال ۱۳۷۱ مطالعه، برنامه‌نویسی و ساخت سیستم هوشمند (باور سیستم حمل‌ونقل هوشمند[۳]) در سه دسته‌ی مبتدی، متوسط و پیشرفته با ویژگی‌های مشترک با SCATS و SCOOT و در قالب یک طرح پژوهشی بین دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی و سازمان ترافیک مشهد آغاز و در سال ۱۳۷۳ اولین نمونه کاملاً بومی ایرانی آن ساخته و پس از آزمایش‌های متعدد در سال ۱۳۷٤ به کار گرفته شد. شهر یزد از جمله شهرهایی است که تقاطع‌های خود را با استفاده از این سیستم، هوشمند و هماهنگ کرده است. لذا برای توسعه آینده، رفع نقایص و ارزیابی عمکلرد سیستم هوشمند BITS، ضرورت مطالعه و تحلیل‌های مناسب، محرز است. هدف اصلی از این مطالعه بررسی اثرات ترافیکی و زیست محیطی به کارگیری چراغ‌های راهنمایی هوشمند BITS در دو بخش مطالعه‌ی میدانی و شبیه‌سازی در نرم افزار AIMSUN، در تقاطع‌های شهر یزد است. همچنین این ارزیابی در حالت چراغهای هماهنگ و حالت منفرد نیز انجام شده است. بدین منظور مقایسه‌ای بین کنترل چراغ‌های راهنمایی ثابت منفرد، هوشمند منفرد و ثابت هماهنگ صورت گرفت. سوال‌های مطرح شده در این پژوهش عبارتند از: میزان تاثیر هوشمندسازی بر عوامل متغیرهای ترافیکی چیست و بیشترین اثر روی کدام متغیر است؟ هوشمندسازی بر عوامل متغیرهای زیست محیطی چه تاثیری داشته و کدام عامل تاثیرپذیری بیشتری داشته است؟ کارایی سیستم BITS درتقاطع‌های هوشمند و هماهنگ شده چیست؟ از نظر اقتصادی این سیستم چه تاثیری دارد؟

۲- پیشینه تحقیق

بررسی اثرات هماهنگ‌سازی زمانبندی تقاطع‌های چراغ‌دار به روش عرض باند عبوری توسط رحیمی و طاهری بررسی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد درشرایط فوق‌اشباع ساعت‌اوج، بهینه‌سازی ازطریق کنترل‌هماهنگ تقاطع‌ها شاخص‌های کارآیی از جمله تاخیرکل، توقف‌کل، سرعت‌متوسط، زمان‌سفر، سوخت مصرفی و طول‌صف را به ترتیب ۱۰، ٦، ۱۲، ۸، ۷ و ۲۵ درصد بهبود می‌بخشد [Rahimi and Taheri, 2019].

حاجی حسینلو و قائمی در تحقیقی بررسی آلودگی هوای شبکه ترافیک درون شهری تهران را بر اساس روش میدانی و شبیه‌سازی انجام دادند. آن‌ها قسمتی از شبکه حمل و نقل منطقه هفت شهرداری تهران را با استفاده از نرم‌افزار AIMSUN شبیه‌سازی و میزان انتشار آلاینده‌های مختلف، زمان تأخیر، زمان توقف و میانگین سرعت جریان ترافیک تحت تغییر زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی از ثابت به هوشمند را، محاسبه کردند. نتایج نشان داد با هوشمند کردن زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی، میانگین زمان سفر برای هر خودرو، میزان تأخیر و مجموع مصرف سوخت در شبکه به ترتیب ١٤، ١٥ و ٤ و غلظت آلاینده‌های NO_2، CO_2، ٦ و ٨ و نرخ زمان

توقف ۱٤ درصد کاهش یافته است [Hajji Hosseinlo and Ghaemi, 2013].

بر اساس گزارش ترازنامه انرژی کشور در سال ۱۳۹۰، بخش حمل و نقل کشور با تولید ٤۷/۲ درصد از کل انتشار NO_x، ۲۸/۸ درصد SO_2 ، ۳۳/۹ درصد SO_3، ۹۷/۱ درصد CO، ۷۸/۳ درصد SPM، ۲۳/۱ درصد CO_2، ۷۹/۹ درصد CH_4، ۵۰/٤ درصد N_2O دارای بیشترین مقدار آلایندگی در میان سایر بخش‌های انرژی کشور است. مصرف سوخت‌های فسیلی به دلیل تجدید ناپذیر بودن، از موضوعات اساسی در حوزه‌ی محیط زیست و حمل‌ونقل بوده و دولت‌ها درصدد بهینه‌سازی مصرف آن هستند. طبق آمار ثبت شده، مصرف فرآورده‌های نفتی بخش حمل و نقل در سال ۱۳۹۰ بیش از ٤۸ درصد کل مصرف فرآورده‌های نفتی کشور است. همچنین مصرف انرژی کل کشور در سال ۱۳۹۰ به میزان ۱۲۲۷/۳ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده است که از این میزان ۲۹۷/۷۳ میلیون بشکه معادل نفت خام مربوط به بخش حمل و نقل است که بعد از بخش‌های خانگی و صنعت بالاترین مصرف را داراست [Electricity and Energy Deputy, 2011]. وجود چنین آماری لزوم بکارگیری و ارزیابی سیستم‌های هوشمند را در بخش حمل و نقل برای بهینه‌سازی و افزایش بهره‌بری دوچندان می‌کند.

ابوالحسن پور در پژوهشی با عنوان بررسی تاثیر به کارگیری سیستم‌های حمل و نقل هوشمند در روان‌سازی ترافیک شهر اصفهان که به روش میدانی انجام شده از متغیرهای زمان تأخیر و طول صف در تقاطع منفرد و آمارگیری سه تقاطع نمونه در هر سه منطقه‌ی هسته مرکزی، رینگ دوم و سوم شهر اصفهان، استفاده کرده است. آمار شامل زمان سفر عبور از تقاطع‌های یادشده و نیز میانگین زمان تأخیر در ورودی‌های هر تقاطع بود که در دو حالت هوشمند و غیر هوشمند برداشته شده است. نتایج نشان داد که با نصب سیستم هوشمند، میانگین تأخیر به ازای هر وسیله نقلیه در تقاطع‌های رینگ اول ۱۱/۲ درصد، در تقاطع‌های رینگ دوم ۲۷/۷ درصد و در تقاطع‌های رینگ سوم ۲۹/۷ درصد کاهش داشته است [Abolhasanpour, 2008]. پورمعلم، رضاپور و امیرمستوفیان در تحقیقی با عنوان بررسی عملکرد تقاطع‌ها با بکارگیری سیستم‌های حمل و نقل هوشمند (ITS)[٤] از دیدگاه مصرف سوخت و انرژی که به روش میدانی انجام شده به ارزیابی کارایی ITS در تقاطع‌های شهر تهران، پرداخته‌اند. به این منظور تعدادی از تقاطعهای برای ارزیابی انتخاب گردیدند و میزان تغییرات زمان تاخیر در ورودیهای هر تقاطع و مصرف سوخت درجا ناشی از آن در قبل و بعد از نصب سیستم SCATS در تقاطع، مورد ارزیابی قرار گرفت. جمع بندی نتایج نشان می‌دهد عملکرد ITS در این تقاطعها مطلوب بوده و با مقداری تغییرات می‌توان عملکرد آنها را مطلوب‌تر نمود [Pourmuallem, Rezapour and Amir Mostofiyan, 2008].

حاجی حسینلو و عظیمی در مطالعه‌ای با عنوان مقایسه عملکرد چراغ‌های هوشمند و ثابت کنترل ترافیک در ایجاد تأخیر و آلایندگی در تقاطع‌های شهر تهران که به روش میدانی در تقاطع‌های منفرد شهر تهران انجام شده، به مقایسه عملکرد چراغ‌های هوشمند و ثابت در ایجاد تأخیر و آلایندگی، پرداخته‌اند. در این راستا چند تقاطع شهر تهران توسط نرم‌افزار Synchro در دو حالت زمان‌بندی تحلیل، و سپس خروجی‌های مربوطه مقایسه شدند. نتایج نشان داد که در شهر تهران، تأخیر با استفاده از سیستم کنترل ترافیک هوشمند در مدت یک سال ۱۳۱۸۳۸۰۰ ساعت کاهش یافته و میزان تولید آلاینده‌ی CO، ٦۱۹ تن، HC، ۱۰٤ تن، NOX، ۵۹ تن، کم شده است [Hajji Hosseinlo and Azimi, 2008].

گاستادلی و همکاران[۵] به ارزیابی تاثیر آلودگی هوا در تبدیل تقاطع به میدان که به روش میکرو شبیه‌سازی انجام شده به مقایسه عملکرد تقاطع چراغدار با میدان پرداخته و از نرم‌افزار Paramics برای مدل‌سازی و برای دستیابی به داده‌های نرم افزار انتشار آنی AIRE، استفاده شده است. هدف اصلی، آزمایش اثرات فاکتورهای کیفیت هوا، مقایسه انتشار آلایندگی وسایل نقلیه تحت هندسه جدید (میدان) و گزینه قبلی (تقاطع چراغ دار) بود. نتیجه نهایی این که، جایگزینی چراغ راهنمایی با میدان در عملکرد ترافیکی بهبود معنی‌داری داشته و حاکی از کاهش ۲۰ درصدی کل زمان سفر را داشته ولی در انتشار آلاینده، کاهش ۲ تا ۵ درصدی از کل انتشار بسته به نوع آلاینده، مشاهده شده است [Gastadli et al.,2014]. دی کوانسل و همکاران[٦] در پژوهشی با عنوان تاثیر هماهنگی چراغ‌های راهنمایی بر آلودگی هوا و صدا که با روش میدانی و مدل سازی انجام شده با استفاده از مدل شبیه سازی خردنگر VISSIM و ترکیب با مدل انتشار آنی PHEM، تأثیر هماهنگ‌سازی تقاطع‌های در طول یک شریانی

با ۱۲ تقاطع چراغدار را در استرالیا بررسی نموده‌اند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد مصرف سوخت، NOx و PM_{10} به ترتیب ۱۹، ۱٤ و ۱۷ درصد کاهش داشته است. نتایج میدانی با اندازه‌گیری در حال سوار بر وسیله در طول مسیر مشخصی از شریانی و با ۲ خودرو انجام و مقایسه شده است که نتایج خوبی ملاحظه شد[De Coensel et al., 2012].

مادیردی و همکاران[۷] در پژوهشی با عنوان ارزیابی تاثیر کاهش سرعت و هماهنگی چراغ‌های ترافیکی در انتشار آلودگی خودروها که با استفاده از رویکرد یکپارچه که به روش مدل‌سازی انجام شده، مدل بهم پیوسته شبیه‌ساز ترافیکی خرد نگر Paramics و مدل نشر CO_2 و NO_x را با هم ترکیب نموده‌اند. نتیجه حاکی از آن بود که اگر سرعت در ناحیه مسکونی منطقه مورد مطالعه از ۵۰ به ۳۰ کیلومتر بر ساعت برسد کاهش ۲۵ درصدی انتشار دو آلاینده و با ایجاد موج سبز، کاهش ۱۰ درصدی آنها مورد انتظار است [Madireddy et al., 2011]. پارک و چن[۸] در تحقیقی با عنوان مزایای کیفی سیستم چراغ‌های راهنمایی هماهنگ که با روش میدانی و مدل سازی با نرم‌افزار Synchro و مقایسه متغیرها، و علاوه بر این، ویژگی تطبیقی فازها که برای سیستم هماهنگ استفاده می‌شود؛ انجام شده به این نتیجه رسیدند که سیستم هماهنگ نسبت به مجزا کاهش ۳۰ درصدی زمان سفر را ارایه کرده است؛ اما اضافه کردن ویژگی تطبیقی فازها کاهش ٤۰ درصدی تأخیر را در یک شریانی بدون هماهنگی چراغ را نشان داده است. بر اساس این مطالعه، بخش حمل و نقل ویرجینیا، اجرای سیستم چراغ راهنمایی هماهنگ نسبت به بدون هماهنگی و ویژگی فازبندی تطبیقی با هماهنگی شریانی‌ها را برای کاهش تأخیرها پیشنهاد داده است. به علاوه نسبت فایده به هزینه در حالت چراغ هماهنگ نسبت به بدون هماهنگی، برابر ٤٦۱/۳ است. با توجه به اندازه گیری میدانی، زمان سفر در حالت هماهنگ، ۳۰ تا ۳٤ درصد نسبت به حالت بدون هماهنگی بهبود یافته، در حالی که تأخیر توقف در رویکرد هماهنگ نشده ۱٤ درصد افزایش یافته است[Park and Chen,2010]. ژانگ و همکاران[۹] در تحقیقی با عنوان ارزیابی تأثیرات کنترل هماهنگی چراغ راهنمایی بر آلودگی هوا که به روش میدانی در پکن چین انجام شده با نصب سیستم اندازه‌گیری انتشار، میزان انتشار CO، HC و NOx یک وسیله نقلیه قبل و بعد از هماهنگ‌سازی در دو مسیر مختلف را اندازه‌گیری نمودند. نتایج حاکی از آن است که در مسیر با چراغ راهنمایی هماهنگ، انتشار HC، ۵۰ درصد و CO، ۳۰ درصد کاهش یافته ولی انتشار NOx، ۱۰ درصد بیشتر شده است. جزییات تحلیل نشان داد؛ با افزایش سرعت انتشار، NOx افزایش یافته درحالی که HC و CO با افزایش سرعت، کاهش داشته است. همچنین نتایج نشان داد، در حالت هماهنگ به ازای واحد مسافت، انتشار آلودگی هوا ۹ تا ۱٤ درصد کاهش یافته است[Zhang et al., 2009]. محمودی نشلی، چپوان و مرادخانی روشنده[۱۰] در مطالعه‌ای با عنوان تأثیر بهینه‌سازی چراغ راهنمایی بر تراکم که به روش میدانی صورت گرفته است به اندازه‌گیری تاخیر در تقاطع‌های هماهنگ شده با فاصله‌ی تقریبی ۸۵۰ متری در مالزی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد کاهش متوسط تأخیر از ٦۸/۳ به ۳۷/۲ ثانیه بر وسیله برای پیک صبحگاهی و ٦۵/۱ تا ۳۵/٦ ثانیه بر وسیله نقلیه برای پیک عصر، بوده است [Mahmoodi Nesheli, Chepuan and Moradkhani Roshandeh, 2009]. جانسوان و ناروپیتی[۱۱] در پژوهشی با عنوان ارزیابی سیستم کنترل ترافیک در شهر بانکوک که به روش مدل شبیه‌سازی مایکروسکوپیک انجام شده به بررسی تأثیر سیستم SCOOT با شبیه سازی Paramics در سه ناحیه‌ی تقاطع منفرد، شریانی و شبکه راه‌ها، پرداخته‌اند. نتایج حاکی ازآن است که در تقاطع منفرد مقایسه‌ی بین کنترل موجود و کنترل با زمان بهینه ثابت، بیان کرد که عملکرد SCOOT و کنترل پلیس بهتر از طرح زمان بندی بهینه ثابت، است. در شریانی، SCOOT تأخیر کمتری نسبت به طرح هماهنگ با زمان ثابت داشته و در شبکه بدون کنترل، SCOOT تأثیر بیشتری در کاهش تأخیر نسبت به زمان بندی ثابت داشته و SCOOT نسبت به طرح بهینه، سودمندی خاصی نداشته است [Jansuwan and Narupiti,2005].

آنال، روفیل و فری[۱۲] در مطالعه‌ای با عنوان تأثیرات هماهنگ سازی شریانی بر سطح سرویس با اندازه‌گیری تولید آلایندگی وسایل نقلیه که به روش میدانی انجام شده به اندازه‌گیری‌های انتشار آلودگی در مسیر شریانی چراغ‌دار در کارولینای شمالی آمریکا با استفاده از ٤ راننده مختلف و ٤ وسیله نقلیه سبک بنزینی و قبل و بعد از هماهنگ سازی، اهتمام نموده‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که با توجه به نوع وسیله و سطح تراکم، هماهنگ‌سازی تقاطع‌ها، کاهش ۱۰ تا ۲۰ درصدی انتشار CO،

NO و HC را در واحد مسافت، دارد [Unal, Rouphail and Fery,2003].

اسکاباردونیز[۱۳] در پژوهشی با عنوان مزایای هوشمندسازی سیستم کنترل چراغ‌های ترافیکی که به روش میدانی و مدل سازی انجام شده به بررسی بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی هماهنگ و کنترل تطبیقی با نرم افزار TRANSYT-7F پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که این سیستم باعث کاهش ۷/۷ درصد زمان سفر، ۱۳/۸ درصد تأخیر و ۱۲/۵ درصد توقف‌ها، شده است[Skabardonis,2001].

همانطور ملاحظه می‌شود تاکنون در خصوص اثرات بکارگیری سیستم حمل‌ونقل هوشمند و هماهنگی چراغ‌ها در تقاطع‌های چراغ‌دار و مخصوصا BITS بر متغیرهای ترافیکی و زیست محیطی، به روش میدانی و شبیه‌سازی مطالعه‌ی خاصی در داخل کشور صورت نگرفته است. لذا انجام پژوهشی در این ارتباط می‌تواند دیدگاه بهتری برای استفاده از سیستم‌های هوشمند و هماهنگی چراغ‌هایی راهنمایی، ارایه کند. نکته قابل توجه این است که دلیل ابداع و بکارگیری سیستم‌های کنترل هوشمند، بهینه‌سازی و عملکرد بهتر ترافیکی و زیست محیطی بوده است ولی مقدار تاثیر آن، درجه ارزش و اهمیت آنها را معلوم می‌کند.

روش تحقیق

اثرات و کارآیی سیستم کنترل هوشمند و هماهنگ کننده تقاطع‌های چراغ‌دار نسبت به ثابت، علاوه بر مطالعه میدانی می‌تواند با شبیه‌سازی در نرم افزارهای ترافیکی مشخص گردد. همانطور که بیان شد سیستم هوشمند BITS با ویژگی‌های مشترک با SCATS و SCOOT در دانشگاه فردوسی مشهد بومی سازی شده است.

روش پژوهش بدین صورت است که با آماربرداری میدانی و شبیه‌سازی، متغیرهای ترافیکی و زیست محیطی، با کنترل تقاطع‌های در سه حالت ثابت، هوشمند و هماهنگ با یکدیگر و در شرایط مختلف ترافیکی مقایسه شدند. متغیرهای ترافیکی و زیست محیطی شامل طول صف، زمان تأخیر، زمان توقف، زمان سفر، سرعت متوسط، آلودگی هوا ناشی از گازهای کربن منواکسید، هیدروکربن و اکسیدهای نیتروژن، مصرف سوخت و آلودگی صدا، بودند. متغیرها مورد برآورد قرارگرفته و با مقایسه‌ی نتایج، بهترین حالت کنترل تقاطع‌های از نظر کمترین اثرات منفی ترافیکی و زیست محیطی تعیین شدند.

ذرات معلّق در محدوده‌ی تقاطع به صورت میدانی و با دستگاه سنجش گرد و غبار و میزان انتشار صدای ناشی از ترافیک عبوری از تقاطع، با صداسنج در دو حالت ثابت و هوشمند، اندازه‌گیری شده است.

برآورد آلودگی هوا و مصرف سوخت ناشی از وسایل نقلیه در بخش شبیه‌سازی با توجه به توابع انتشار آلایندگی و مصرف سوخت بر حسب سرعت متوسط برای خودروهای سواری شخصی بنزین سوز، برگرفته از گزارش میزان آلاینده‌های مختلف خودروهای داخلی انجام شده است [Sharif University of Technology,2014]. ضرایب انتشار آلاینده‌های مختلف بر حسب گرم بر کیلومتر و گرم بر ثانیه در جدول (۱) آمده است. با توجه به این که شرایط شبیه‌سازی آلاینده ذرات معلّق در نرم افزار **AIMSUN** وجود ندارد، امکان مقایسه‌ی نتایج میدانی با شبیه‌سازی آن وجود ندارد. جدول (۲) ضرایب انتشار آلاینده‌های مختلف در حالت‌های درجا، شتاب افزایشی و شتاب کاهشی بر اساس راهنمای نرم افزار **AIMSUN** را نشان می‌دهد. سناریوهای مختلفی که در این مطالعه با هم مقایسه می‌شوند عبارتند از:

– در تقاطع‌های منفرد

کنترل ثابت چراغ راهنمایی

کنترل هوشمند چراغ راهنمایی

– در شریانی‌ها

کنترل ثابت مجزای چراغ راهنمایی

کنترل هوشمند مجزای چراغ راهنمایی

کنترل ثابت هماهنگ چراغ راهنمایی

گام‌های انجام مطالعه‌ی حاضر در دو بخش میدانی و شبیه سازی، به شرح زیر است:

گام۱: انتخاب تقاطع‌های چراغ‌دار با توجه به محدودیت‌ها و نظرات کارشناسی برای آماربرداری.

گام۲: بررسی ساعات اوج، متوسط و خلوتی تردد در تقاطع های انتخابی با توجه به نمودارهای نرخ تردد مرکز کنترل ترافیک شهرداری یزد و نظرات کارشناسان مرکز. بیشترین حجم مشاهده شده در برداشت‌ها به عنوان حجم ساعت اوج، کمترین آنها حجم ساعت خلوتی و میانگین بین آنها حجم متوسط در نظر گرفته شده است.

گام۳: طراحی فرم‌های ثبت پلاک و برگزاری جلسه‌ی توجیهی برای آماربرداران.

گام٤: آماربرداری در حالت کنترل ثابت و هوشمند چراغ راهنمایی به طور جداگانه.

گام۵: مقایسه اندازه‌گیری‌های میدانی ذرات معلّق و آلودگی صدا در دو حالت کنترل ثابت و هوشمند چراغ راهنمایی.

گام٦: شبیه سازی با نرم‌افزار ترافیکی AIMSUN.

گام۷: محاسبه‌ی متغیرهای ترافیکی و زیست محیطی در سه حالت کنترل ثابت، هوشمند و هماهنگ با کنترل ثابت در محیط شبیه سازی.

گام۸: ارزیابی و مقایسه دو حالت کنترل در محیط شبیه‌سازی.

گام۹: ارزیابی نهایی مطالعه‌ی میدانی و شبیه‌سازی.

جدول۱. ضرایب انتشار آلاینده های مختلف بر اساس سرعت*

سرعت متوسط (Km/hr)	CO (gr/Km)	CO (gr/s)	HC (gr/Km)	HC (gr/s)	NOx (gr/Km)	NOx (gr/s)
۱۰	٦/٤۰	۰/۰۱۷۷	۰/۳۹۱	۰/۰۰۱۱	۰/٦۷۸	۰/۰۰۱۹
۲۰	٦/۰۰	۰/۰۳۳۳	۰/۲۹۵	۰/۰۰۱٦	۰/٦۵۵	۰/۰۰۳٦
۳۰	٦/۳۵	۰/۰۵۲۹	۰/۲٦۰	۰/۰۰۲۱	۰/۸۹۵	۰/۰۰۷٤
٤۰	۵/۸۰	۰/۰٦٤٤	۰/۲٦۵	۰/۰۰۲۹	۰/۹٤۰	۰/۰۱۰٤
۵۰	۳/۵۵	۰/۰٤۹۳	۰/۲۲۰	۰/۰۰۳۰	۰/۷٦۵	۰/۰۱۰٦
٦۰	۲/۵۰	۰/۰٤۱٦	۰/۱۵۰	۰/۰۰۲۵	۰/٦۸۵	۰/۰۱۱٤
۷۰	۲/٦۰	۰/۰۵۰۵	۰/۱٤۵	۰/۰۰۲۸	۰/۵۱۵	۰/۰۱۰۰

*منبع: سیستم شبیه سازی حمل و نقل[۱۴]، ۲۰۱۴

جدول ۲. ضرایب انتشار آلاینده های مختلف در حالت‌های مختلف*

حالت	CO (gr/s)	HC (gr/s)	NOx (gr/s)
درجا	۰/۰٦۰	۰/۰۰٦۷	۰/۰۰۰۸
شتاب افزایشی	۰/۳۷۷	۰/۰۲۰۰	۰/۰۱۰۰
شتاب کاهشی	۰/۰۷۲	۰/۰۰٦۷	۰/۰۰۰۵

*منبع: سیستم شبیه سازی حمل و نقل ، ۲۰۱۴

۳- برداشت میدانی

۳-۱- شناسایی تقاطع‌های مورد مطالعه

با بررسی تقاطع‌های چراغدار و بازدید میدانی و همچنین نظرات کارشناسان مرکز کنترل ترافیک شهرداری یزد، تعداد ۵ تقاطع که شناسگرهای آنها کاملاً سالم بودند انتخاب شدند. از این ۵ تقاطع، سه تقاطع (ایرانشهر، پژوهش و شهدا یا امیر چخماق) به صورت چهار راه و ۲ تقاطع (مسکن و امام جعفر صادق(ع))، سه راهه بودند. چهار راه ایرانشهر و شهدا تقریباً در بافت مرکزی و قدیمی شهر واقع شده و اطراف آنها دارای کاربری تجاری و مسکونی است. چهار راه پژوهش در جنوب شهر واقع و دارای کاربری تجاری و مسکونی بوده و اکثر مراکز آموزشی دانشگاهی از جمله دانشگاه یزد، علوم پزشکی یزد و آزاد یزد در خیابان‌های اطراف آن پراکنده شده است؛ بنابراین از تقاطع‌های هستند که دارای ترافیک اوج صبحگاهی قابل توجه است. شکل (۱) شریانی کاشانی که از شریانی‌های پر تردد شهر است را، نشان می‌دهد. سه راه مسکن و امام جعفر صادق(ع) در فاصله‌ی ۳۸۰ متر از یکدیگر و در مسیر شریانی پر رفت و آمد آیت الله کاشانی قرار دارند که برای ارزیابی تاثیر هوشمندسازی و چراغ‌های هماهنگ، انتخاب شدند.

شکل ۱. شریانی کاشانی

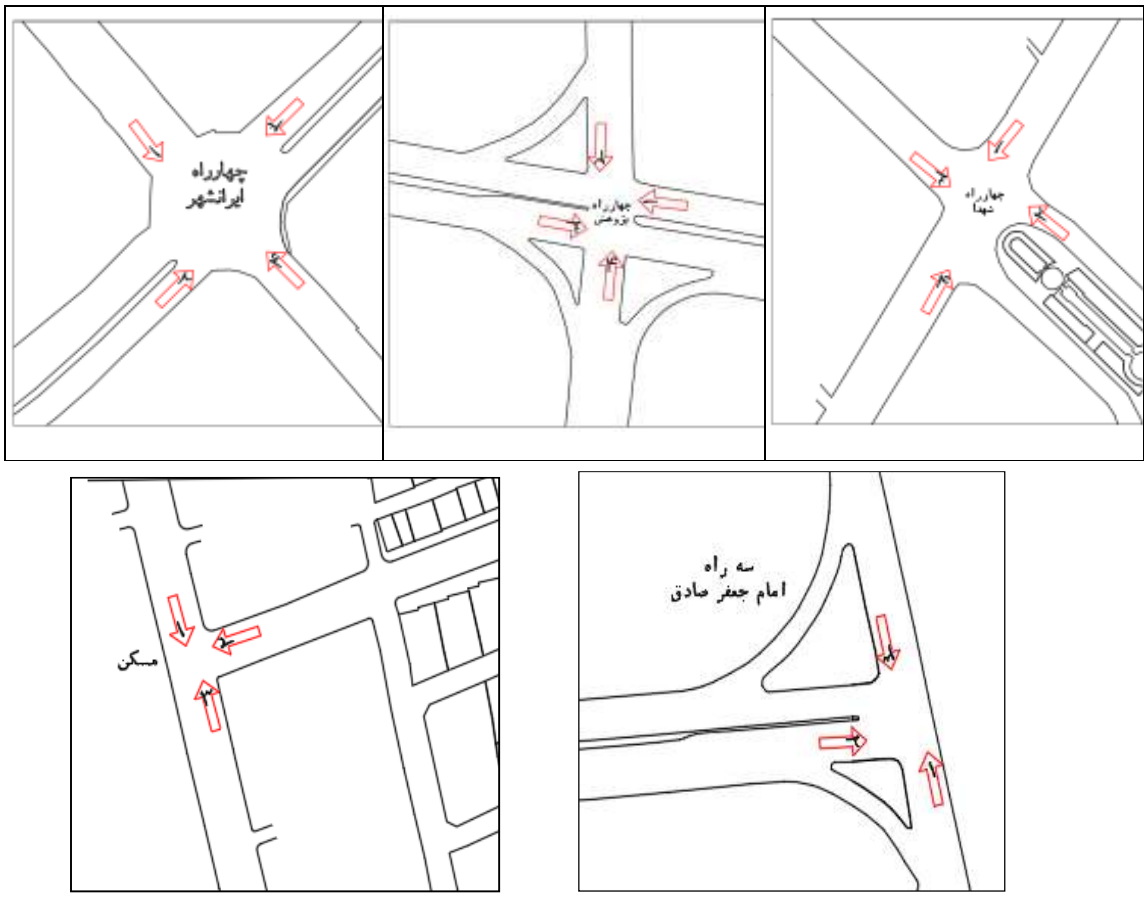
۳-۲- برداشت حجم تردد و زمان سفر

آماربرداری به مدت ٤ روز با ۸ آماربردار در روزهای یکشنبه لغایت چهارشنبه، ۱۳ تا ۱٦ اردیبهشت ماه سال ۹٤ انجام گردید. مدت آماربرداری هر تقاطع ۲ ساعت در زمان اوج صبح و ۱ ساعت در خلوتی ترافیک بود. برداشت حجم تردد برای تمام رویکردها به تفکیک گردش‌ها و ترکیب وسایل نقلیه، توسط دوربین‌های مرکز و ضبط تصویر با دوربین دستی برای رویکردهای غیر قابل مشاهده از مرکز کنترل، انجام شده و با هماهنگی مرکز کنترل ترافیک، چراغ‌های راهنمایی در بازه‌های نیم‌ساعتی و به صورت یک در میان از حالت کنترل هوشمند به ثابت و بالعکس تغییر می‌کرد (شکل ۲). نتایج برداشت‌ها در جداول (۳) و (٤) ارایه شده است. همچنین

زمان‌بندی در حالت ثابت و هوشمند براساس حجم ترافیک ساعت اوج و حداقل نمودن زمان تاخیر از روابط مربوطه، انجام شده است.

۳-۳- برداشت میدانی آلودگی هوا و صدا

همزمان با آماربرداری ترافیکی، برداشت میزان ذرات معلّق ۱۰ میکرونی با دستگاه EPAM-5000 و صدا با صداسنج نورسنیک Nor131,132 انجام شد. میزان این آلودگی‌ها در بازه‌های نیم ساعتی که چراغ از کنترل ثابت به هوشمند و بالعکس تغییر می‌کرد، اندازه‌گیری شده است. داده‌های ارایه شده مقدار متوسط در هر بازه نیم‌ساعتی هستند. با توجه به این که در ٤ روز آماربرداری تغییرات دما، رطوبت و سرعت باد زیاد نبوده و فضای اطراف تقاطع‌های و کاربری‌های آنها تقریباً مشابه است؛ از ملحوظ کردن عواملی چون توپوگرافی، دما، رطوبت، سرعت و جهت باد در محل، صرف نظر شده است.



شکل ۲. پلان چهار راه‌ها و سه راه‌های تحت مطالعه

جدول ۳. جمع بندی احجام برداشت شده در چهار راه‌ها

زمان	نرخ تردد ساعتی(veh/hr)، تقاطع ایرانشهر			
	رجایی – ایرانشهر(۱)	فرهنگیان – ایرانشهر(۲)	بعثت – ایرانشهر(۳)	بهشتی – ایرانشهر(٤)
۱۲:۰۰–۱۱:۳۰	۹٦۳	۹٤٤	۱۱٤٤	۱۰٤۰
۱۲:۳۰–۱۲:۰۰	۹٤۸	۹۵۵	۹۷٤	۹۸٦
۱۳:۰۰–۱۲:۳۰	۹۹۳	۱۱٤۵	۱۰۷۲	۹۸۰
۱۳:۳۰–۱۳:۰۰	۸۸۷	۷۹۱	۱۲۹۱	۱۰٦۹
۱٤:۳۰–۱٤:۰۰	٤۹۹	٦۵۹	۷۲۱	۷٦٦
۱۵:۰۰–۱٤:۳۰	۳۳٦	۵۳٤	٦۲۷	٤۵۳

زمان	نرخ تردد ساعتی(veh/hr)، تقاطع پژوهش			
	اطلسی – پژوهش (۱)	نعل اسبی – پژوهش (۲)	عالم – پژوهش (۳)	بوستان – پژوهش (٤)
۰۷:۳۰–۰۷:۰۰	۸۵۳	۵۹٦	۸۹۳	۹٦٦
۰۸:۰۰–۰۷:۳۰	۱۲۵۳	۱۱۷٤	۱٤۳۲	۱۱۱۲
۰۸:۳۰–۰۸:۰۰	۱۱٤۸	۷٦٤	۱۱۸۹	۹۰۲
۰۹:۰۰–۰۸:۳۰	۷۷۵	٤٦۸	٦۸۹	۵۰۸
۱۰:۳۰–۱۰:۰۰	۹٦۱	۵۱۵	۸۹۱	٦۰۰
۱۱:۰۰–۱۰:۳۰	۹۲۹	۵۳۲	۸٤۰	٤۸٦

زمان	نرخ تردد ساعتی(veh/hr)، تقاطع شهدا			
	حظیره- شهدا (۱)	سلمان – شهدا (۲)	بعثت – شهدا (۳)	بهشتی- شهدا (٤)
۱۲:۰۰–۱۱:۳۰	۱۱۵۳	۹۳۹	۹٤٦	۱۲۰٤
۱۲:۳۰–۱۲:۰۰	۱۰٦۰	۸۳۹	۸۵۱	۱۰۵۰
۱۳:۰۰–۱۲:۳۰	۹۱۲	۸۲۰	۷۸۰	۱۱۱۰
۱۳:۳۰–۱۳:۰۰	۱۱۵۷	۷۵٦	۹۱۷	۱۰۸٦
۱٤:۳۰–۱٤:۰۰	۸۹۰	٦۳۳	۷۰۳	۸۳۵
۱۵:۰۰–۱٤:۳۰	۷۳٤	٤۱۳	٦٤۰	۷۰٤

جدول ٤. جمع بندی احجام برداشت شده در سه راه‌ها

زمان	نرخ تردد ساعتی(veh/hr)، تقاطع مسکن		
	مجیبیان – مسکن (۱)	میدان مسکن – مسکن (۲)	امام جعفر صادق(ع) – مسکن (۳)
۰۷:۳۰–۰۷:۰۰	۷۱۲	٤۸۷	۹۲۸
۰۸:۰۰–۰۷:۳۰	۸۸۲	۵۹۳	۸۲۱
۰۸:۳۰–۰۸:۰۰	۸۷۹	۵٤۳	۱۲۲۱
۰۹:۰۰–۰۸:۳۰	۸۵۰	۳٦۲	۹۰٤
۱۵:۳۰–۱۵:۰۰	۸۲۱	۳٤۸	۱۰۰۹
۱٦:۰۰–۱۵:۳۰	٦۸۰	۲۰۰	۹٦۰
زمان	نرخ تردد ساعتی(veh/hr)، تقاطع امام جعفر صادق (ع)		
	شهدای محراب – امام جعفر صادق(ع) (۱)	مهدیه – امام جعفر صادق(ع) (۲)	مسکن – امام جعفر صادق(ع) (۳)
۰۷:۳۰–۰۷:۰۰	۱٤۲۵	٦۲۱	۷۲۸
۰۸:۰۰–۰۷:۳۰	۱۵۷۵	٦٤۷	۱۰۷۰
۰۸:۳۰–۰۸:۰۰	۱٤٦۲	٦۱٤	۱٤٤۲
۰۹:۰۰–۰۸:۳۰	۱۳۰٤	۵۵۰	۸٤۷
۱۵:۳۰–۱۵:۰۰	۱۱۹۲	۵۳۹	۸۷۹
۱٦:۰۰–۱۵:۳۰	۱۱٦۱	۳۸۵	٦٦۵

٤- شبیه‌سازی

برای استفاده از نرم افزار خردنگر شبیه‌ساز AIMSUN، ابتدا باید شبکه در محیط نرم افزار ساخته شده و پس از رفع خطاهای احتمالی و کالیبراسیون اقدام به اعتبار سنجی نموده تا مدل برای تعریف سناریوهای مختلف آماده شود.

٤-١- ساخت شبکه اولیه (مدل پایه)

ساخت شبکه بر اساس اطلاعات میدانی و آماری برداشت شده صورت می‌گیرد که این اطلاعات شامل هندسه‌ی شبکه بر اساس عکس‌های هوایی، نرخ تردد، ضرایب مربوط به مصرف سوخت و آلایندگی در سرعت‌های مختلف و شرایط مختلف (جداول ۱ و ۲)، زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و مسیرهای گردش در تقاطع و مسیر و زمان بندی حمل و نقل همگانی، است.

٤-٢- کنترل خطاهای مدل

پس از ساخت شبکه لازم است شبکه مورد بازبینی قرارگرفته تا خطاهای احتمالی در همین مرحله شناسایی و برطرف شوند. در این شبیه‌سازی موارد زیر برای کنترل خطاهای مدل انجام شده است.

- کنترل نرم افزار و پیش فرض‌های آن
- بازبینی داده‌های ورودی که شامل احجام و نوع وسایل نقلیه، احجام به تفکیک حرکت‌ها در تقاطع‌ها، هندسه شبکه، صف‌های مجازی
- کنترل با استفاده از خروجی‌های گرافیکی

٤-٣-کالیبراسیون

هدف از کالیبراسیون، یافتن مجموعه متغیرهایی است که به بهترین شکل، شرایط ترافیک محل را شبیه سازی کند. از متغیرهای قابل کنترل برای فرآیند کالیبراسیون، موارد زیر انتخاب گردیدند:

-گام شبیه سازی[15] که بر اساس راهنمای نرم افزار و زمان عکس العمل راننده محدوده‌ی ۰/۱ تا ۱/۵ را داراست و در این مطالعه مقدار ۰/۲ اتخاذ گردیده است.

-زمان عکس العمل راننده[16]

-زمان عکس العمل در توقف[17]

زمان‌های عکس العمل راننده و عکس العمل در توقف بر اساس گام شبیه‌سازی انتخاب می‌شود و می‌تواند مقادیر ثابت یا متغیر را به خود اختصاص دهد. در این پروژه از مقادیر ثابت و معمول به صورت سعی و خطا استفاده گردیده و در نهایت مدل کالیبره و معتبر شده است. با استفاده از داده‌های در دسترس و قضاوت مهندسی، شاخص‌های GEH [18] و MTRE[19] برای محاسبه‌ی خطای کالیبراسیون انتخاب شده است. GEH فرمول تجربی و اصلاح شده‌ی آزمون آماری خی دو[20] بوده که برای کاهش خطاهای ناشی از مقایسه‌ی احجام که در محدوده‌ی زیادی تغییر دارند، پیشنهاد گردیده است [The deputy of studies and planning, 2012].

منطبق کردن حجم و زمان سفر مشاهده شده با مدل در تقاطع‌ها، با تکرار انجام می‌شود. بدین صورت که با در نظر گرفتن گام شبیه‌سازی برابر با ۰/۲ و زمان عکس العمل راننده و زمان عکس العمل در توقف به ترتیب از ۰/٦ و ۱ و افزایش آنها تا ۱ و ۱/٤، حجم و زمان سفر در ورودی‌های تقاطع از مدل بدست آمده و محاسبه‌ی GEH برای حجم، و میانگین خطای نسبی برای زمان سفر، مطابق روابط زیر صورت می‌پذیرد:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(E-V)^2}{(E+V)}} \qquad (1)$$

در رابطه‌ی (۱)، V حجم مشاهده شده و E حجم مدل است.

برای ارزیابی GEH سه بازه وجود دارد:

- انطباق خوب ۰-۵
- نیاز به بررسی بیشتر ۵-۱۰
- غیر قابل قبول ۱۰<

$$MTRE = \frac{ABS(y_i - x_i)}{y_i} \qquad (2)$$

در رابطه‌ی (۲)، yi زمان سفر مشاهده شده و xi زمان سفر مدل است.

همچنین برای انتخاب حالت بهینه یا منطبق‌ترین مشاهده‌ی میدانی با شبیه‌سازی، از کمینه جذر مجموع مربعات خطاهای بدست آمده یا همان فاصله‌ی نقطه از خط ایده‌آل که با عبارت A نمایش داده می‌شود استفاده شده است. واضح است به شرط مطلوب بودن مقدار GEH، درحالت مقایسه‌ای کمترین مقدار A مطلوب‌ترین وضعیت خواهد بود.

$$A = \sqrt{GEH^2 + MTRE^2} \quad (۳)$$

تعداد تکرارهای محاسبات در نرم افزار نیز با قضاوت مهندسی ۵ بار در نظر گرفته شد. در جدول (۵) نتایج فرآیند کالیبراسیون برای چهار راه ایرانشهر در زمان ۱۲:۰۰-۱۱:۳۰ به عنوان نمونه ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود برای این چهار راه، با ضرایب عکس العمل ۱ و عکس العمل در توقف ۱/٤، مدل کالیبره شده است. در این مطالعه نیمی از داده‌های برداشت شده در فرآیند کالیبراسیون و نیمی دیگر در اعتبار سنجی استفاده شده است که در مجموع ۱۰۸ بار فرآیند کالیبراسیون صورت گرفته است.

جدول۵. نتایج کالیبراسیون چهار راه ایرانشهر در زمان ۱۲:۰۰-۱۱:۳۰

عکس العمل راننده	عکس العمل در توقف	شبیه سازی شده (sec/km)	مشاهده شده (sec/km)	MTRE	GEH	A
۰/٦	۱/۰	۱۱۱/۰٦۳	۱۷۸/٤٦	۰/۳۸	۱/۷۸۷	۱/۸۲۷
۰/٦	۱/۲	۱۱۱/٤۱۹	۱۷۸/٤٦	۰/۳۸	۱/۷۰۷	۱/۷٤۸
۰/٦	۱/٤	۱۱۲/۱۰۷	۱۷۸/٤٦	۰/۳۷	۱/۸۱٦	۱/۸٥٤
۰/۸	۱/۰	۱۱۸/۷۳۳	۱۷۸/٤٦	۰/۳۳	۱/٦۸۲	۱/۷۱٥
۰/۸	۱/۲	۱۱٦/۸٦٤	۱۷۸/٤٦	۰/۳٥	۱/٦٦٤	۱/٦۹۹
۰/۸	۱/٤	۱۱٦/۲۹۷	۱۷۸/٤٦	۰/۳٥	۱/٦۳۸	۱/٦۷٤
۱/۰	۱/۰	۱۱۸/۷۳٥	۱۷۸/٤٦	۰/۳۳	۱/۲٥۷	۱/۳۰۱
۱/۰	۱/۲	۱۱۷/٦۷۲	۱۷۸/٤٦	۰/۳٤	۱/۲۱۰	۱/۲٥۷
۱/۰	۱/٤	۱۱۹/٤۹۳	۱۷۸/٤٦	۰/۳۳	۱/۱۷۱	۱/۲۱۷

٤-٤- اعتبارسنجی

برای این که مدل ساخته شده برای حالات گوناگون قابل استفاده بوده؛ لازم است با داده‌هایی مستقل اعتبارسنجی انجام گردد. در مجموع ۱۲ بار فرآیند اعتبارسنجی با استفاده از اطلاعات مشاهده شده و آماری صورت گرفت. در این حالت حجم، زمان سفر و طول صف، شاخص‌های مقایسه‌ای بوده که نتایج حاکی از عدم وجود اختلاف قابل ملاحظه است. جدول (٦) نتایج اعتبارسنجی چهار راه ایرانشهر در زمان ترافیک متوسط را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. بعد از کالیبره کردن و اعتبار سنجی تمام تقاطع‌ها و با فرض بهینه بودن زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی، احجام ورودی جدید که بر اساس برداشت‌های میدانی بدست آمده در نرم افزار در دو حالت کنترل ثابت و هوشمند وارد شده و تغییرات بررسی می‌گردد.

۵- یافته‌های پژوهش

۵-۱- یافته‌های میدانی

الف) آلودگی هوا : در جدول (۷) اطلاعات میدانی برداشت شده ارایه شده است. جهت بیان روند تغییرات آلاینده با توجه به نرخ تردد، بهترین برازش با بالاترین R^2، منحنی درجه‌ی دو گذرنده بر داده‌های میانگین برداشت شده بوده که در شکل (۳) ارایه شده است.

ب) آلودگی صدا: تراز صدای معادل بر حسب دسی‌بل در مقابل نرخ تردد (حجم ترافیک ساعتی) بر حسب وسیله نقلیه بر ساعت در دو حالت کنترل چراغ (ثابت و هوشمند) انجام شده که نتایج آن درجدول (۸) ارایه شده است. برای بررسی روند تغییرات آن با نرخ تردد از لگاریتم نرخ تردد استفاده شده که بهترین خط گذرنده از داده‌های آن در شکل (٤) نشان داده شده است.

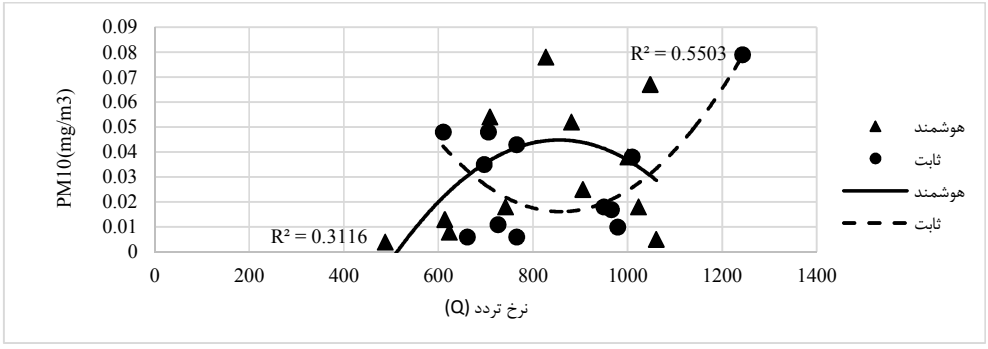
لازم به توضیح است با توجه به محدویتهای اجرایی برای برداشت داده‌ها توسط مرکز کنترل ترافیک شهرداری یزد امکان برداشت و جمع‌آوری تعداد داده بیشتر فراهم نشد. لذا براساس اطلاعات بدست آمده برازش‌های زیادی انجام و از بین آنها بهترین، ارایه شده است.

جدول٦. نتایج اعتبارسنجی چهار راه ایرانشهر در زمان ترافیک متوسط (۱۳:۳۰-۱۳:۰۰)

تقاطع ایرانشهر (۱۳:۰۰-۱۳:۳۰)	v	E	GEH	MEAN GEH	شبیه سازی شده (sec/km)	مشاهده شده (sec/km)	MTRE	A
بعثت	۱۲۹۱	۱۳۲۸	۱/۰۲	۱/۲۵	۱۳۱/۹۸	۱۷۷/٤۳	۰/۲٥٦	۱/۲۷٥
رجایی	۸۸۷	۸۲٤	۲/۱٥					
فرهنگیان	۷۹۱	۷٦۰	۱/۱۱					
بهشتی	۱۰۹٦	۱۰٤٦	۱/٥۳					

جدول ۷. اطلاعات میدانی برداشت میانگین آلودگی هوا ناشی از ذرات معلّق ۱۰ میکرونی

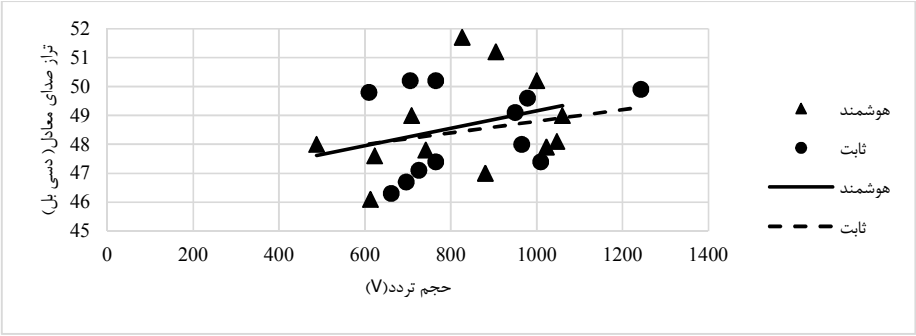
تقاطع	زمان بندی هوشمند		زمان بندی ثابت	
	حجم ساعتی	PM10(mg/m3)	حجم ساعتی	PM10(mg/m3)
شهدا	۱۰۲۳	۰/۰۱۸	۹٦٦	۰/۰۱۷
	۱۰٤۸	۰/۰٦۷	۱۰۱۰	۰/۰۳۸
	٤۸۸	۰/۰۰٤	٦٦۱	۰/۰۰٦
مسکن	۸۲۷	۰/۰۷۸	۱۲٤۳	۰/۰۷۸
	۱۰۰۱	۰/۰۳۸	٦۱۰	۰/۰٤۸
	۷٤۲	۰/۰۱۸	٦۹۷	۰/۰۳٥
پژوهش	۱۰٦۱	۰/۰۰٥	۹٥۰	۰/۰۱۸
	۹۰٦	۰/۰۲٥	۹۷۹	۰/۰۱۰
	٦۲۳	۰/۰۰۸	۷٦٥	۰/۰۰٦
ایرانشهر	۷۰۹	۰/۰٥٤	۷٦٥	۰/۰٤۳
	۸۸۱	۰/۰٥۲	۷۰٥	۰/۰٤۸
	٦۱۳	۰/۰۱۳	۷۲٦	۰/۰۱۱



شکل ۳. تغییرات میزان آلاینده ی PM10 و نرخ تردد متناظر

جدول ۸. اطلاعات میدانی برداشت تراز صدای معادل بر حسب دسی بل در مقابل نرخ تردد

تقاطع	زمان بندی هوشمند		زمان بندی ثابت	
	حجم ساعتی	تراز صدای معادل (دسی بل)	حجم ساعتی	تراز صدای معادل (دسی بل)
شهدا	۱۰۲۳	٤٧/٩	٩٦٦	٤٨/٠
	۱۰٤٨	٤٨/١	۱۰۱۰	٤٧/٤
	٤٨٨	٤٨/٠	٦٦١	٤٦/٣
مسکن	٨٢٧	٥١/٧	١٢٤٣	٤٩/٩
	۱۰۰۱	٥٠/٢	٦١٠	٤٩/٨
	٧٤٢	٤٧/٨	٦٩٧	٤٦/٧
پژوهش	۱۰٦١	٤٩/٠	٩٥٠	٤٩/١
	٩٠٦	٥١/٢	٩٧٩	٤٩/٦
	٦٢٣	٤٧/٦	٧٦٥	٥٠/٢
ایرانشهر	٧٠٩	٤٩/٠	٧٦٥	٤٧/٤
	٨٨١	٤٧/٠	٧٠٥	٥٠/٢
	٦١٣	٤٦/١	٧٢٦	٤٧/١



شکل٤. نمودار خطی تراز صدای معادل و نرخ تردد

۵-۲- یافته‌های شبیه‌سازی

در بخش شبیه‌سازی متغیرهای ترافیکی که شامل طول صف، زمان تأخیر، زمان توقف، زمان سفر، سرعت متوسط، بودند مورد بررسی قرار گرفتند. در بین این متغیرها، متغیر طول صف و زمان توقف از همه بیشتر برای رانندگان ملموس است. همچنین متغیرهای زیست محیطی آلودگی هوا که شامل گازهای کربن منواکسید، هیدروکربن و اکسیدهای نیتروژن نیز مورد بررسی قرار گرفتند. این سه متغیر با مقدار مصرف سوخت نیز مرتبط بوده که مقدار آن در حالت‌های مختلف بررسی گردید. نتایج میزان تغییر متغیرها در بخش‌های مطالعه شده به طور خلاصه شده در جداول (۹) تا (۱۱) ارایه شده و میزان درصد اختلاف مقدار هر متغیر در حالت‌های مختلف کنترل چراغ راهنمایی در اشکال (۵) تا (۸) نشان داده شده است. همانطور که از جداول و اشکال مشاهده می‌شود بیشترین تأثیر در بهبود اکثر متغیرها در شرایط ترافیکی متوسط اتفاق افتاده است. مطالعه نشان داد که متغیرها در کنترل ثابت هماهنگ نسبت به ثابت مجزا بهبود داشته ولی باز هم کنترل هوشمند مجزا نسبت به ثابت هماهنگ بهتر عمل کرده است. نکته دیگر اینکه، در جدول (۱) مشاهده شد که NOx (gr/Km) در بازه ۲۰-٤۰ کیلومتر بر ساعت ابتدا با افزایش سرعت افزایش و سپس کاهش می‌یابد ولی در جدول (۱۱) فقط بهبود مشاهد می‌شود که ناشی از آن است که در حالت متوسط و خلوتی، سرعت‌های متوسط بیش از ٤۰ کیلومتر بر ساعت بوده است.

جدول ۹. نتایج متغیرهای مختلف در شبیه‌سازی شریانی کاشانی

متغیر	اوج			متوسط			خلوت		
	هوشمند	ثابت	هماهنگ ثابت	هوشمند	ثابت	هماهنگ ثابت	هوشمند	ثابت	هماهنگ ثابت
زمان تأخیر (ثانیه بر کیلومتر)	٤٦/٧	٥٦/٨	٥٥/٩	٤١/٧	٥٥/٤	٥٠/٦	٣٩/٤	٥١/٣	٥٠/١
زمان توقف (ثانیه بر کیلومتر)	٢٨/٥	٣٧/٨	٣٧/١	٢٤/٤	٣٧/٥	٣٢/٨	١٩/٩	٣٠/٨	٢٩/٦
زمان سفر (ثانیه بر کیلومتر)	١١٥/١	١٢٥/٢	١٢٤/٣	١١٠/٣	١٢٤	١١٩/٢	١٠٨/١	١٢٠	١١٨/٨
سرعت (کیلومتر بر ساعت)	٣١/٣	٢٨/٨	٢٩/٠	٣٢/٦	٢٩/٠	٣٠/٢	٣٣/٣	٣٠/٠	٣٠/٣
آلودگی CO (کیلوگرم در ساعت)	٢٧/٩٠٦	٢٩/٣٧٨	٢٩/٢١٧	٢٢/٠٣٨	٢٣/٦٤٠	٢٢/٨٧٤	١٧/٠٤٠	١٨/٦١٠	١٨/٤٢٢
آلودگی HC (کیلوگرم در ساعت)	١/٧٨٢	١/٩٣٠	١/٩١٦	١/٣٨٤	١/٥٥٠	١/٥٠٠	١/٠٤٤	١/١٨٠	١/١٦١
آلودگی Nox (کیلوگرم در ساعت)	٠/٨٩٦	٠/٩١٦	٠/٩١٤	٠/٧٢٠	٠/٧٤٣	٠/٧٣٦	٠/٥٦٢	٠/٥٨٨	٠/٥٨٥
مصرف سوخت (لیتر در ساعت)	٤٠٢/٠	٤١٠/٨	٤٠٩/٧	٣٢١/٣	٣٣٢/٢	٣٢٨/٨	٢٦١/٠	٢٧٠/٢	٢٦٩/٣

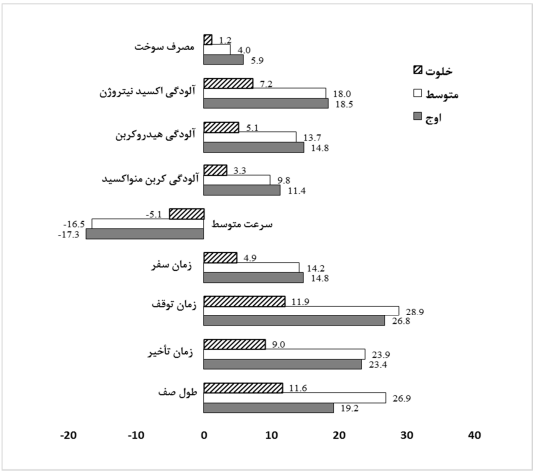
جدول ۱۰. میانگین (وسیله نقلیه) طول صف در سه راه‌های شریانی کاشانی

تقاطع	اوج			متوسط			خلوت		
	هوشمند	ثابت	ثابت هماهنگ	هوشمند	ثابت	ثابت هماهنگ	هوشمند	ثابت	ثابت هماهنگ
سه راه مسکن	١/٢٥	١/٦٦	١/٥٧	٠/٧٣	١/٢٣	١/٢٠	٠/٤٥	٠/٨٠	٠/٧٨
سه راه امام جعفر صادق (ع)	٠/٩٧	١/٢٤	١/٠٦	٠/٧٩	١/١٠	٠/٨٤	٠/٤٨	٠/٦٤	٠/٥٩

جدول ۱۱. نتایج متغیرهای مختلف در شبیه‌سازی چهار راه‌ها

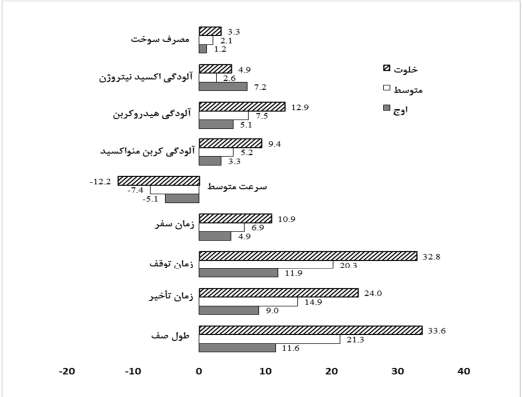
تقاطع ایرانشهر						
متغیر	اوج		متوسط		خلوت	
	هوشمند	ثابت	هوشمند	ثابت	هوشمند	ثابت
طول صف (وسیله نقلیه)	٢/٨٦	٣/٤٠	٠/٩٧	١/٢٣	٠/٢٦	٠/٤٨
زمان تأخیر (ثانیه بر کیلومتر)	٢١٧/٧	٢٧٩/٨	٦٢/١	٧٣/٤	٣٦/٦	٥٢/٧
زمان توقف (ثانیه بر کیلومتر)	١٩٥/٩	٢٦٢/٧	٤٢/٥	٥٣/٥	١٩/٦	٣٥/٢
زمان سفر (ثانیه بر کیلومتر)	٢٩٤/٥	٣٥٦/٧	١٣٩/١	١٥٠/٤	١١٣/٥	١٢٩/٥
سرعت (کیلومتر بر ساعت)	١٢/٢	١٠/١	٢٥/٩	٢٣/٩	٣١/٧	٢٧/٨
آلودگی CO (کیلوگرم در ساعت)	٥١/٤٨	٥٩/٢٩	١٧/٧٢	١٨/٧٢	٧/٨٨٦	٨/٧٣٨
آلودگی HC (کیلوگرم در ساعت)	٣/٥٣١	٤/١٥١	١/١٣٣	١/٢٢٦	٠/٤٨٤	٠/٥٦٢
آلودگی Nox (کیلوگرم در ساعت)	١/٣٠٢	١/٤٥٣	٠/٥٣٥	٠/٥٥١	٠/٢٦٢	٠/٢٧٦
مصرف سوخت (لیتر در ساعت)	٤٣٠/٤	٤٤٤/٩	٢٣٦/٠	٢٤١/١	١٢١/٥	١٢٦/٧
تقاطع پژوهش						
طول صف (وسیله نقلیه)	٢/٠٢	٢/٥	١/٠٨	١/٥	٠/٦٧	٠/٧٦
زمان تأخیر (ثانیه بر کیلومتر)	٨٧/٠	١١٣/٥	٧٢/٠	٩٤/٦	٦٢/٦	٦٨/٩
زمان توقف (ثانیه بر کیلومتر)	٦٨/٧	٩٣/٨	٥٤/٤	٧٦/٥	٤٨/٠	٥٤/٥
زمان سفر (ثانیه بر کیلومتر)	١٥٤/٦	١٨١/٤	١٣٩/١	١٦٢/٠	١٢٩/٨	١٣٦/٤
سرعت (کیلومتر بر ساعت)	٢٣/٣	١٩/٨	٢٥/٩	٢٢/٢	٢٧/٧	٢٦/٤
آلودگی CO (کیلوگرم در ساعت)	٢٨/٥٣٠	٣٢/١٨٨	١٦/٠٣٦	١٧/٧٨٥	٩/٧٣١	١٠/٠٦٦
آلودگی HC (کیلوگرم در ساعت)	١/٩٧٨	٢/٣٢٢	١/٠٧٧	١/٢٤٧	٠/٦٥٨	٠/٦٩٣

آلودگی Nox (کیلوگرم در ساعت)	۱/۵۶۰	۱/۹۱۳	۰/۸۱۹	۱/۰۰۰	۰/۵۱۵	۰/۵۵۵
مصرف سوخت (لیتر در ساعت)	۳۴۳/۲	۳۶۴/۸	۲۰۸/۳	۲۱۶/۹	۱۲۸/۴	۱۲۹/۹
تقاطع شهدا						
طول صف (وسیله نقلیه)	۲/۷۶	۲/۸۳	۱/۰۰	۱/۳۰	۰/۶۰	۰/۸۸
زمان تأخیر (ثانیه بر کیلومتر)	۹۶/۲	۱۲۶/۲	۵۳/۰	۶۲/۳	۴۶/۴	۶۱/۱
زمان توقف (ثانیه بر کیلومتر)	۷۲/۳	۱۰۰/۷	۳۴/۶	۴۳/۴	۲۷/۹	۴۱/۵
زمان سفر (ثانیه بر کیلومتر)	۱۶۹/۴	۱۹۹/۴	۱۲۶/۲	۱۳۵/۵	۱۱۹/۹	۱۳۴/۶
سرعت (کیلومتر بر ساعت)	۲۱/۲۰	۱۸/۰۵	۲۸/۵۰	۲۶/۵۰	۳۰/۰۰	۲۶/۷۰
آلودگی CO (کیلوگرم در ساعت)	۲۷/۷۷۷	۳۱/۶۳۳	۱۶/۲۰۱	۱۷/۰۹۳	۱۱/۰۵۰	۱۲/۲۰۱
آلودگی HC (کیلوگرم در ساعت)	۱/۹۰۳	۲/۲۵۳	۱/۰۴۶	۱/۱۳۰	۰/۶۹۸	۰/۸۰۱
آلودگی Nox (کیلوگرم در ساعت)	۰/۷۹۳	۰/۸۶۱	۰/۵۱۶	۰/۵۲۹	۰/۳۶۵	۰/۳۸۴
مصرف سوخت (لیتر در ساعت)	۳۳۱/۱	۳۵۱/۵	۲۲۰/۴	۲۲۵/۱	۱۶۱/۷	۱۶۷/۲

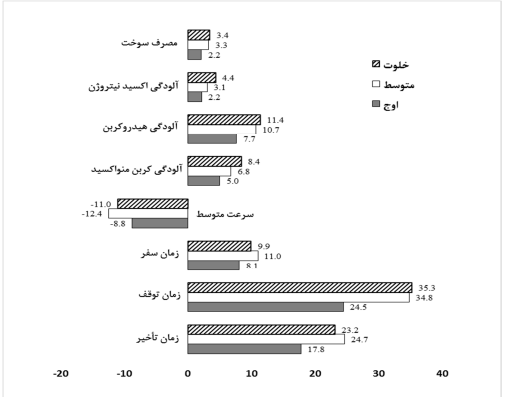


شکل۵. درصد بهبود متغیرهای مختلف در دو نوع کنترل ثابت و هوشمند چهار راه ایرانشهر

شکل٦. درصد بهبود متغیرهای مختلف در دو نوع کنترل ثابت و هوشمند چهار راه پژوهش



شکل۷. درصد بهبود متغیرهای مختلف در دو نوع کنترل ثابت و هوشمند چهار راه شهدا



شکل۸. درصد بهبود متغیرهای مختلف در دو نوع کنترل ثابت و هوشمند مجزا در شریانی کاشانی

شکل ۹. درصد بهبود متغیرهای مختلف در دو نوع کنترل ثابت و ثابت هماهنگ در شریانی کاشانی

۵- نتیجه‌گیری

بکارگیری سیستم‌های هوشمند برای تقاطع‌های چراغ‌دار و هماهنگی آنها برای ایجاد موج سبز یکی از راهکارهایی افزایش بهره‌وری و بهبود عملکرد است. در این ارتباط سیستم هوشمند BITS در داخل کشور مطابق با عملکرد سیستم‌های SCATS و SCOOT طراحی، ارایه و پیاده‌سازی شده است. میزان تاثیر گذاری سیستم هوشمند بر متغیرهای ترافیکی و زیست محیطی عامل مهمی در توجیه توسعه این سیستم‌ها با توجه به هزینه‌های آنها، است. لذا در این پژوهش به ارزیابی این متغیرهای با اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی در نرم افزار AIMSUN، پرداخته شده است. در بخش مطالعه‌ی میدانی تغییرات حجم ترافیک، آلودگی هوا و صوت در کنترل ثابت و هوشمند، بدست آمد. سایر متغیرها با شبیه‌سازی انجام شده در نرم‌افزار، ارزیابی شدند. مطالعه حاضر در ۵ تقاطع (سه چهار راه‌ها منفرد و دو سه راه نزدیک به هم با قابلیت هماهنگ سازی) و در شهر یزد که سیستم هوشمند BITS در آن پیاده شده، انجام شده است. نتایج حاصل عبارتند از:

الف) نتایج ارایه شده برای تقاطع‌های منفرد و برای متغیرهای ترافیکی نشان می‌دهد بیشترین تاثیر هوشمندسازی در ترافیک اوج، متوسط و خلوتی به ترتیب بر زمان توقف (۲۶/۸ درصد)، مجددا زمان توقف (۲۸/۹ درصد) و طول صف (٤٦/٦ درصد) است که مقادیر قابل توجهی است. همچنین کمترین تاثیر در ترافیک اوج، متوسط و خلوتی در هر سه وضعیت بر زمان سفر بوده که به ترتیب برای آن مقادیر ٤/٩ درصد، ٦/٩ درصد و ٤/٩ درصد، ثبت شده است. در بین متغیرهای فوق، متغیر طول صف و زمان توقف از همه بیشتر برای راننده ملموس است لذا همانطور که مشاهد می‌شود کاهش قابل توجه آنها می‌تواند رضایت بیشتر استفاده کننده را به همراه باشد.

ب) همچنین در تقاطع‌های منفرد و برای متغیرهای زیست محیطی بیشترین تاثیر هوشمندسازی در ترافیک اوج، متوسط و خلوتی به ترتیب بر اکسید نیتروژن (۱۸/۵ درصد)، مجددا اکسید نیتروژن (۱۸/۰ درصد) و هیدروکربن (۱۳/۹ درصد) است که مقادیر قابل توجهی است. همچنین کمترین تاثیر در ترافیک اوج، متوسط و خلوتی به ترتیب بر کربن منواکسید (۳/۳)، اکسید نیتروژن (۲/٦) و کربن منواکسید (۳/۳) است. مقادیر کاهش آلودگی قابل توجه بوده که اگر در تمام سطح شهر بتوان به این مقدار کاهش دست یافت نقش مهمی در بهبود سلامت ایفاء شده است.

ج) متغیرهای ترافیکی که از شریانی کاشانی در حالت چراغ‌های هماهنگ، هوشمند و منفرد برداشت شده نشان می‌دهد بیشترین تاثیر هماهنگی چراغ‌ها در ترافیک اوج، متوسط و خلوتی در هر سه وضعیت بر زمان توقف بوده که مقادیر ٢٤/٥، ٣٤/٨ و ٣٥/٣ ثبت شده است. همچنین کمترین تاثیر در ترافیک اوج، متوسط و خلوتی در هر سه وضعیت بر زمان سفر بوده که به ترتیب برای آن مقادیر ٢/٤ درصد، ٣/٩ درصد و ١/٠ درصد، ثبت شده است. مقایسه نتایج حاکی از آن است که وجود چراغ‌های هماهنگ هوشمند می‌تواند تاثیر بسزایی بر متغیرهای مطرح شده داشته باشد. لذا لزوم هماهنگی هوشمند در جهت بهبود وضعیت فعلی محرز خواهد بود.

د) اطلاعاتی که برای متغیرهای زیست محیطی از شریانی کاشانی در حالت چراغ‌های هماهنگ، هوشمند و منفرد

برداشت شده نشان می‌دهد بیشترین تاثیر هماهنگی چراغ‌ها در ترافیک اوج، متوسط و خلوتی در هر سه وضعیت بر آلودگی هیدروکربن بوده که برای آن مقادیر ۷/۷، ۱۰/۷ و ۱۱/٤ ثبت شده است. همچنین کمترین تاثیر در ترافیک اوج، متوسط و خلوتی در هر سه وضعیت بر اکسید نیتروژن بوده که به ترتیب برای آن مقادیر ۰/٦ درصد، ۱/٦ درصد و ۰/٦ درصد، اندازه-گیری شده است. مجددا مقایسه نتایج حاکی از آن است که وجود چراغ‌های هماهنگ هوشمند می‌تواند تاثیر بسزایی بر متغیرهای مطرح شده داشته باشد و لذا توصیه به چراغ‌های هماهنگ هوشمند می‌شود.

ه) همانطور که مشاهده شد کارایی سیستم BITS و هماهنگ سازی چراغ‌ها قابل توجه بوده که بیشترین تاثیرگذاری بر زمان توقف بود است چرا که سیستم با هدف حداقل نمودن تاخیر طراحی شده و بدین ترتیب عملکرد آن مورد تایید واقع می‌شود.

و) تاثیر سیستم BITS روی مصرف سوخت کمترین مقدار بوده زیرا در این محدوده از سرعت‌ها، مصرف سوخت تغییر چندانی ندارد و کاهش نشان داده شده بیشتر به علت کاهش زمان سفر است.

ز) بهبود طول صف در نقاطی که احتمال پس زدگی وجود دارد بسیار حایز اهیمت است که مقادیر آن در شرایط اوج و متوسط قابل توجه است که می‌تواند در عدم تداخل ترافیک ناشی از طول صف و ظرفیت ذخیره، موثر باشد.

ح) در بین سه آلودگی اندازه گیری شده بدترین‌ها برای انسان به ترتیب منواکسیدکربن، اکسید نیتروژن و هیدروکربن است که مقادیر کاهش آن در زمان ترافیک اوج و متوسط، قابل توجه است. عمده این کاهش ناشی از کاهش تاخیر و زمان توقف، است.

ط) یک محاسبه ساده بر اساس نتایج نشان می‌دهد سالانه به ازای هر تقاطع با احتساب درآمد ساعتی ۵۰۰۰ تومان برای هر کارگر و بنزین لیتری ۱۰۰۰ تومان، حدود ۳/۷۵ میلیون تومان کاهش پولی زمان سفر و ٦٤/۵ میلیون تومان کاهش پولی مصرف سوخت نتیجه شده است. این میزان صرفه جویی‌ها و بهبودها در سطح شهر با وجود تقاطع‌های زیاد قابل توجه بوده که وجود چراغ‌های هوشمند هماهنگ را کاملا توجیه می‌کند.

ی) اندازه‌گیری میدانی آلودگی نشان داد که در نرخ تردد کم و زیاد (خلوت و اوج) عملکرد کنترل هوشمند و در نرخ تردد متوسط، کنترل ثابت چراغ بهتر بوده است. همچنین اندازه‌گیری میدانی تراز صدای معادل نشان داد با افزایش نرخ تردد و ثابت بودن سایر متغیرها، مقدار آن سیر صعودی دارد. در حالت کنترل هوشمند این افزایش با شیب بیشتری بوده و در نرخ تردد کم، عملکرد هوشمند بهتر از ثابت و در نرخ تردد متوسط و زیاد، عملکرد کنترل ثابت بهتر بوده است. این نتایج با شبیه‌سازی انجام شده در نرم‌افزار تطابق دارد.

بنابراین با توجه به نتایج ارایه شده استفاده از چراغ‌های راهنمایی هوشمند BITS و هماهنگ‌سازی تقاطع‌های یا به عبارتی کاربرد موج سبز در تقاطع‌های پشت سر هم، تاثیر قابل توجهی بر متغیرهای ترافیکی و زیست محیطی دارد. لذا توصیه به پیاده‌سازی فراگیر این سیستم در تمام تقاطع‌های شهر می-شود. نتیجه عملی تر آن کاهش آلودگی هوا، صدا و تأخیر وسایل نقلیه پشت چراغ‌های راهنمایی است.

٦- سپاسگزاری

لازم است از کارشناسان مرکز کنترل ترافیک شهرداری یزد که پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه نمودند و ریاست محترم و مسئولان آزمایشگاه بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی یزد که تجهیزات آزمایشگاهی در اختیار گذاشتند؛ صمیمانه تشکر و قدردانی گردد.

۷-پی‌نوشت‌ها

1.Sydney Coordinated Adaptive Traffic System
2.Split Cycle Offset Optimization Technique
3.Bavar Intelligent Transportation System (BITS)
4.Intelligent Transportation System
5.Gastadli et al.
6.De Coensel et al.
7.Madireddy et al.
8.Park and Chen
9.Zhang et al.
10.Mahmoodi Nesheli, Chepuan, and Moradkhani Roshandeh
11.Jansuwan and Narupiti
12.Unal, Rouphail, and Fery
13.Skabardonis
14.Transport Simulation Systems (TTS)
15.Simulation Step
16.Reaction Time
17.Reaction Time at Stop
18.Geoffrey E. Havers
19.Mean Time Relative Error
20.Chi-squared

۸-مراجع

- ابوالحسن پور، ام. (۱۳۸۷)، "بررسی تأثیر به کارگیری سیستم های حمل و نقل هوشمند در روان‌سازی ترافیک شهر اصفهان"، فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک، سال سوم، شماره۸

-پاشایی هولاسو، ا. و نارنجی، م. (۱۳۹۷)، "ارایه مدل تاثیرگذاری سیستم حمل‌ونقل بر توسعه پایدار با استفاده از رویکرد دیمتل فازی"، مجله علمی ترویجی جاده، زیر چاپ.

- پورمعلم، ن.، رضاپور، م.ا. و امیرمستوفیان، م.، (۱۳۸۷)، "بررسی عملکرد تقاطع‌ها با بکارگیری سیستم های حمل و نقل هوشمند (ITS) از دیدگاه مصرف سوخت و انرژی"،

هشتمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران، معاونت حمل و نقل و ترافیک.

– حاجی حسینلو، م. و عظیمی، س. س.، (۱۳۸۷)، "مقایسه عملکرد چراغ های هوشمند و ثابت کنترل ترافیک در ایجاد تأخیر و آلایندگی در تقاطع های شهر تهران"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران.

– حاجی حسینلو، م. قائمی، س.ع.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی اثر زمان‌بندی هوشمند تقاطع‌ها بر جریان ترافیک و آلودگی هوای شبکه‌های ترافیکی درون شهری"، فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک، دوره هشتم، شماره ۲۹، ص. ۱تا ۱٤.

– دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۹۳)، "ضرایب انتشار آلایندگی اگزوز در حالت گرم برای خودروهای بنزین سوز ساخت داخل با استاندارد آلایندگی یورو۲، هسته پژوهشی سوخت، احتراق و آلایندگی.

–رحیمی، ا.م. و طاهری، س. (۱۳۹۷)، بررسی اثرات هماهنگ سازی زمانبندی تقاطع‌های چراغدار به روش عرض باند عبوری (مطالعه موردی: شهر قزوین)، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۰، شماره ۲، ص. ۲۳۱–۲۱۳.

–عبدلی، ب.، میرحسنی، س.ع. و هوشمند، ف.، (۱۳۹۷)، "مسأله مسیریابی وسایل نقلیه سبز و کاهش انتشار آلودگی"، پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۱۵، شماره ۱، ص. ۲۱۵–۲۳۹.

–مختارانی، ن.، زاهد، ف. و پرتانی، ص.، (۱۳۹۲)، "تعیین الگوی ممیزی زیست محیطی راه‌های کشور"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ٤، شماره ۳، ص. ۲٦۲–۲٤۷.

– معاونت امور برق و انرژی (۱۳۹۰)، ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، وزارت نیرو، تهران.

– معاونت مطالعات و برنامه ریزی، (۱۳۹۱)، "ارایه دستورالعمل نحوه شبیه سازی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی نرم افزار Aimsun"، تدوین: معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران.

-De Coensel, B., Can, A., Degraeuwe, B., De Vlieger, I. and Botteldooren, D., (2012), Effects of traffic signal coordination on noise and air pollutant emissions, Environmental Modelling & Software, Vol. 35, PP. 74-83.

-Gastadli, M., Meneguzzer, C., Rossi, R., Lucia, L. D. and Gecchele, G., (2014), Evaluation of air pollution impacts of a signal control to roundabout conversion using microsimulation, Transportation Research Procedia, Vol. 3, PP. 1031-1040.

-Jansuwan, S. and Narupiti, S., (2005), Assessment of area traffic control system in Bangkok by the microscopic simulation model, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, PP. 1367-1378.

- Madireddy, M., De Coensel, B., Can, A., Degraeuwe, B., Beusen, B., De Vlieger, I. and Botteldooren, D., (2011), Assessment of the impact of speed reduction and traffic signal coordination on vehicle emissions using an integrated approach, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.16, Issue 7, pp. 504-508.

- Mahmoodi Nesheli, M., Chepuan, O. and Moradkhani Roshandeh, A., (2009), Optimization of Traffic Signal Coordination System on Congestion: a case study, wseas transctions on advances in engineering education, Vol. 6, pp. 203-21.

- Park, B. and Chen, Y., (2010), "Quantifying the Benefits of Coordinated Actuated Traffic Signal Systems: A Case Study, Virginia Transportation Research Council, Department of Civil & Environmental Engineering University of Virginia, Final Report, VTRC 11-CR2.

- Skabardonis, A., (2001), ITS Benefits: The Case of Traffic Signal Control Systems, In Transportation Research Board, 80th Annual Meeting, Washington, D.C.

- Transport Simulation Systems (TTS), (2014), Micro simulator and Meso simulator in Aimsun V8-Users Manual.

- Unal, A., Rouphail, N. M. and Fery, H. C., (2003), "Effect of Arterial Signalization and Level of Service on Measured Vehicle Emissions", In 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board, TRB Paper # 03-2884.

- Zhang, Y., Chen, X., Zhang, X., Song, G., Hao, Y., and Yu, L., (2009), "Assessing Effect of Traffic Signal Control Strategies on Vehicle Emissions, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology", Vol. 9, Issue 1, pp.150-155.

The Effect of BITS Intelligent Signals and Coordinated Intersections on Traffic and Environmental Variables (Case Study: Yazd)

M. Aboutalebi Esfahani, Assistant Professor, Faculty of Civil and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

G. R. Shiran, Assistant Professor, Faculty of Civil and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

M. Fallah Tafti, Associate Professor, Faculty of Civil Eng., University of Yazd, Yazd, Iran.

Z. Salimi, M.Sc., Grad., Faculty of Civil and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
E-mail: m.aboutalebi.e@eng.ui.ac.ir

Received: June 2019- Accepted: October 2019

ABSTRACT
In order to reduce the adverse effects of intersections, intelligent systems and the alignment of lights can be used. The BITS system is a localized version of SCATS and SCOOT systems. The aim of this study was to evaluate of BITS system on traffic and environmental variables. The system was evaluated in both cases of coordinated and isolated signals. Traffic variables include line length, delay time, stop time, travel time, and average speed. Environmental variables include fuel consumption, air pollution caused by carbon monoxide, hydrocarbons, and nitrogen oxides, and noise pollution. Prescheduled, intelligent, and coordinated control systems were compared by collecting field data on the traffic flow rate, travel time, and air and noise pollution and simulation in AIMSUN software in three four-way and two three-way intersections in Yazd, Iran. The results showed that all variables were significantly improved in the isolated intelligent control system compared to the isolated prescheduled control system, and the coordinated prescheduled control system performed better than the isolated prescheduled control system. The isolated intelligent control system showed the best traffic and environmental performance. In addition, line length and stop time were the most affected. Compared to other variables, these two could mostly be measured through drivers' perceptions. According to the above, using BITS intelligent traffic signals and coordinating nearby intersections – the green wave in successive intersections – can prevent the waste of time and national resources. More immediate effects are reduced air and noise pollution, and reduced delay.

Keywords: Traffic Signal, BITS Intelligent Signals, Coordinated Intersections, Traffic Variables, Environmental Variables