کنترل و بهینه‌سازی آلاینده‌ها و سوخت ناشی از وسایل نقلیه در تقاطع‌های شهری مبتنی‌بر سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی

حمید شیرمحمّدی*[1] و فرهاد حدادی[2]

[1] دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه
[2] کارشناس ارشد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه

(دریافت: ۹۷/۲/۲، پذیرش: ۹۸/۲/۷، نشر آنلاین: ۹۸/۲/۷)

چکیده

امروزه پدیده ترافیک یکی از مشکلات جدی در اکثر شهرها به شمار می‌رود. این پدیده بر روی کیفیت هوا و زندگی مردم پیامدهای منفی ایجاد کرده است. با به‌کارگیری روش‌های نوین کنترل هوشمند می‌توان اثرات منفی ترافیک ناشی از قبیل افزایش آلاینده‌ها و سوخت مصرفی ناشی از وسایل نقلیه را کاهش داد. بنابراین هدف این مطالعه، کاهش و کنترل اثر پدیده ترافیک بر آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه و میزان سوخت مصرفی در تقاطع‌های شهرستان بروجرد توسط سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی است. نتایج حاصل از کنترل میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی در تقاطع‌ها نشان می‌دهد که پس از بهره‌گیری از سیستم کنترل‌گر فازی میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است. این کاهش میزان در آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربنی، منوکسیدکربن به‌ترتیب ۲۷/۶۴ درصد، ۳۰/۸۸ درصد و ۲۱/۵۰ درصد و برای میزان سوخت مصرفی در تقاطع‌ها به ۳۳/۴۱ درصد رسیده است که کاهش قابل ملاحظه‌ای را برای این میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی نسبت به کنترل زمان‌بندی ثابت نشان می‌دهد. نوآوری این مطالعه به‌گونه‌ای است که نقش سیستم های هوشمند فازی در کنترل میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی توسط وسایل نقلیه مفید ارزیابی می‌شود طوری که سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی نسبت به کنترل زمان‌بندی ثابت توانسته این میزان افزایش آلاینده‌ها و مصرف سوخت را بهینه کند. در پایان به‌منظور درستی و نرمال بودن داده‌ها در این پژوهش آزمون‌های مختلف آماری نظیر چولگی،کولموگروف اسمیرنوف، همبستگی و t زوجی مستقل، بین متغیرهای قبل و بعد انجام شده و نتایج نشان داد که این سیستم استنتاج فازی نقش مثبتی در کاهش آلاینده‌ها، و سوخت مصرفی ناشی از وسایل نقلیه ایفا می‌کند.

کلیدواژه‌ها: پدیده ترافیک، تقاطع‌های شهری، آلاینده‌های وسایل نقلیه، سوخت مصرفی، منطق فازی.

۱- مقدمه

امروزه، رشد بی‌رویه وسایل نقلیه موجب بروز پدیده ترافیک در جامعه شهرنشینی شده است (Kermanian و همکاران، ۲۰۱۳). این پدیده به‌عنوان یکی از مشکلات رایج در سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه باعث افزایش هزینه‌ها، افزایش زمان سفر، افزایش تأخیر در سفرها، افزایش مصرف سوخت و غیره گردیده است (Haregewoin، ۲۰۱۰). از طرفی، افزایش میزان آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه، مشکلاتی را در کیفیت هوای شهرها و سلامت شهروندان به‌وجود آورده است (Ciyun و همکاران، ۲۰۱۵). پدیده ترافیک یکی از مشکلات جدی در بخش حمل‌ونقل به شمار می‌رود. این پدیده باعث صرف زمان‌های ارزشمند مسافران، تأخیر در تحویل کالا به مقصد و مشکلات روانی شهروندان و آلودگی هوا می‌شود در نتیجه بهره‌وری و سطح سرویس جاده‌ها را به کم‌ترین حالت می‌رساند. ترافیک معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که تقاضای سفر بیشتر از ظرفیت جاده باشد یا در قسمتی از جاده تصادفی وجود داشته باشد که مانع رفت‌وآمد وسایل نقلیه شود. که این باعث می‌شود رانندگان زمان زیادی را در صف بمانند (Schrage، ۲۰۰۶). به‌طورکلی، پدیده ترافیک باعث به وجود آوردن اثرات منفی نظیر: افزایش زمان سفر، افزایش مصرف سوخت، افزایش آلاینده‌های محیطی، خطر افزایش تصادفات، خستگی و ناراحتی مسافران و افزایش هزینه‌ها در بخش حمل‌ونقل می‌شود (Maitra، ۱۹۹۹). همچنین پدیده تراکم طولی و عرضی ترافیک در شهرها نقش مهمی در آلاینده‌های زیست‌محیطی دارد (شکوهیان و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین به‌منظور کاهش اثرات منفی پدیده ترافیک بر آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه و میزان سوخت مصرفی، اهداف این پژوهش را می‌توان به کاهش و بهینه‌سازی اثر

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۴۴-۳۲۷۵۲۷۴۱

آدرس ایمیل: h.shirmohammadi@urmia.ac.ir (ح. شیرمحمدی)، farhad.hadadi1370@gmail.com (ف. حدادی).

پارامترهای ترافیکی حجم وسایل نقلیه[1]، توقفات[2]، تأخیر- توقف[3] و طول صف[4] روی آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه در تقاطع‌های چراغ‌دار و غیرچراغ‌دار تحت سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی اشاره کرد. و سپس به‌منظور درستی کارایی آن از آزمون‌های آماری چولگی، کولموگروف- اسمیرنوف و آزمون همبستگی و t زوجی مستقل و مقایسه دو سیستم در حالت غیرهوشمند (زمان‌بندی ثابت) و دیگری هوشمند فازی استفاده می‌شود. بنابراین نوآوری این پژوهش در این است که توانسته سیستم کنترل‌گر فازی را به عنوان سیستمی بهینه در پدیده ترافیک و اثرات پیرامون آن پیشنهاد دهد و از طرفی نقش و عملکرد دو سیستم کنترل زمان-بندی ثابت و هوشمند فازی را برای مهندسان و ناظران بر کنترل ترافیک و اثرات منفی این پدیده را در تقاطع‌ها روشن سازد. در آینده نیز می‌توان از این سیستم کنترل‌گر هوشمند در بهسازی راه‌ها، پیش‌بینی تصادفات و کنترل آن‌ها و همچنین ایجاد یک پایگاه اطلاعاتی دقیق برای نگهداری داده‌های ترافیک استفاده کرد.

بنابراین ساختار این پژوهش بدین گونه است که در ابتدا به بررسی پدیده منفی ترافیک در شهرها می‌پردازد و اثرات آن بر آلاینده‌های زیست محیطی را بیان می‌کند و در بخش روش‌شناسی تحقیق، ایجاد سیستم هوشمند فازی را برای کنترل و کاهش اثرات ترافیک بر آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه و میزان سوخت مصرفی در تقاطع‌ها پیشنهاد می‌کند و در بخش نتایج، خروجی-های حاصل از دو نرم‌افزار Synchro 8 (Trafficware LLC.، ۲۰۱۴) و Matlab (The Math Works, Inc.، ۲۰۱۴) را نشان می-دهد. همچنین در بخش تحلیل حساسیت به بحث آزمون‌های آماری می‌پردازد و در بخش نتیجه‌گیری به نقش مثبت سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی نسبت به سیستم کنترل‌گر زمان‌بندی تأکید می‌کند.

۲- مطالعات پیشین

اثرات پدیده ترافیکی، و آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه به‌هم وابسته است. این بدان منظور است که با کاهش تأخیر ترافیک، میزان آلودگی‌ها نیز کاهش می‌یابد (Barth و Boriboonsomsin، ۲۰۰۸). مطالعات گوناگونی انجام شده که به بررسی اثر سیستم-های کنترل ترافیک بر آلاینده‌های زیست‌محیطی پرداخته‌اند. مطالعات نشان داده است که کنترل زمان‌بندی ثابت باعث افزایش میزان آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه می‌شود (Hallmark و همکاران،۲۰۰۰؛ Coelho و همکاران، ۲۰۰۵؛ Unal و همکاران، ۲۰۰۳). از طرفی مطالعات دیگری به استفاده از سیستم حمل‌ونقل هوشمند در کاهش این میزان آلاینده‌ها پرداختند. و نقش این سیستم‌ها را به عنوان سیستم‌های کنترل‌گر بهینه و کاهشی در نظر گرفتند (Li و همکاران، ۲۰۰۹). در پژوهشی Ghanim و Abu-Lebdeh (۲۰۱۶)، به بررسی محاسبه تقاطع‌های کنترل شده و آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه تحت شرایط ترافیکی در تقاطع‌های کنترل شده با استفاده از نرم‌افزار VISSIM پرداختند و برای این تحقیق از پارامترهای میانگین تأخیر، تعداد توقفات و تأخیر- توقف برای محاسبه این آلاینده‌ها استفاده کردند. در پژوهشی دیگر Meszaros و Torok (۲۰۱۴)، به بررسی تأخیر و آلاینده ترافیکی در تقاطع‌های کنترل شده با استفاده از نرم‌افزار Synchro 8 پرداختند و پارامتر تأخیر و اثر آن را با افزایش و کاهش آلاینده‌های دی‌اکسیدکربن (CO_2)، هیدروکربنی (HC)، منوکسیدکربن (CO)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، ذرات معلق (PM) بررسی کردند. Li و Shimamoto (۲۰۱۲)، نیز به بررسی محاسبه آلاینده دی‌اکسیدکربن در تقاطع‌های چراغ‌دار با استفاده از پارامترهای ترافیکی زمان سفر، جریان ترافیک، و تعداد توقفات وسایل نقلیه استفاده کردند. آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه عبارتند از دی‌اکسیدکربن، هیدروکربنی، منوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، ذرات معلق که توسط وسایل نقلیه در محیط منتشر می‌شوند. محققین مدل‌های تعقیب خودرو را نیز برای آگاهی از مصرف سوخت وسایل نقلیه و میزان این آلاینده‌ها توسعه دادند (Tang و همکاران، ۲۰۱۴، Tang و همکاران، ۲۰۱۵). به-منظور محاسبه مصرف سوخت در چهارراه‌ها مدل‌های مختلفی ارائه شده است. بعضی مدل‌ها به صورت ماکروسکوپیک[5] مصرف سوخت را تحلیل می‌کنند. و مدل سوخت مصرفی توسط وسایل نقلیه براساس میانگین سرعت در چهارراه‌ها می‌تواند تنها برای سرعت‌های کمتر از ۵۷ کیلومتر بر ساعت جوابگو باشند. درحالی‌که بعضی مدل‌های دیگر میکروسکوپیک[6] هستند و قابلیت دقیق‌تری محاسبه آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه در تقاطع‌ها دارند این مدل‌ها بیشتر در نرم‌افزارهای Synchro، VISSIM، CMEM برای محاسبه این میزان آلاینده‌ها استفاده می‌شوند. این مدل‌ها به صورت تابعی از متغیرهای طول صف، زمان‌بندی تقاطع‌ها، تأخیر، تعداد توقفات محاسبه می‌شوند (Shen، ۲۰۱۸). در پژوهشی دیگر Noland (۲۰۰۷) و Stathopoulos و Noland (۲۰۰۳)، مدلی را برای محاسبه میزان آلاینده‌ها ارائه دادند که به‌صورت تابعی از جریان ترافیکی ورودی به تقاطع، طول ورودی به تقاطع، تأخیر در تقاطع می‌باشد. همچنین به‌منظور ارزیابی میزان سوخت مصرفی توسط وسایل نقلیه در تقاطع‌ها مطالعاتی انجام شده که می-توان به تحقیق (García Castro و Monzón de Cáceres، ۲۰۱۴) اشاره کرد. آن‌ها در تحقیق خود نشان دادند که اثر پدیده

1. Volume
2. Stops
3. Stop-delay
4. Average queue
5. Macroscopic
6. Microscopic

تراکم ترافیکی نظیر تأخیر بر میزان سوخت مصرفی بیشتر است و می‌توان آن را به عنوان تابعی از تأخیر و طول راه به‌دست آورد. از طرفی Khaki و Pour (۲۰۱۴)، به‌منظور بهینه کردن زمان‌بندی تقاطع‌ها در نرم‌افزار Synchro و Aimsun نیز بر اساس حجم ورودی به تقاطع، طول خیابان، زمان سفر نیز توانستند با ثابت در نظر گرفتن سرعت از یک تقاطع به تقاطع دیگر، میزان آلایندگی و سوخت مصرفی ناشی از وسایل نقلیه را به‌دست آوردند.

آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه یکی از منابع اصلی آلودگی هوا در مناطق شهری محسوب می‌شود. مطالعات گسترده‌ای توسط مؤسسه‌های مختلف علمی و زیست‌محیطی برای ارزیابی مقدار آلاینده در میدان‌ها انجام شده است. Al-Khateeb (۱۹۹۳)، مدلی را به‌منظور پیش‌بینی آلاینده‌های زیست محیطی نظیر اکسیدهای نیتروژن، منوکسیدکربن و دی‌اکسیدنیتروژن براساس متغیر حجم وسایل نقلیه به‌ترتیب معادلات (۱)، (۲) و (۳) برحسب ppm را ارائه داد:

$$NO(ppm) = 0.000147 \times (vph)^{0.949} \quad (۱)$$

$$CO(ppm) = 0.004331 \times (vph)^{0.993} \quad (۲)$$

$$NO_2(ppm) = 0.000038 \times (vph)^{1.008} \quad (۳)$$

۳- روش‌شناسی تحقیق

نگرانی‌ها در مورد آلودگی هوا در شهرها بر اثر میزان آلاینده‌های وسایل نقلیه موتوری، مدل‌هایی را برای ارتباط بین مصرف سوخت و مقدار آلاینده‌ها به وجود آورده است. از طرفی، بسیاری از مدل‌ها، برآورد قابل اطمینانی برای آلاینده‌های وسایل نقلیه در جاده‌ها فراهم نمی‌کنند (Leung و همکاران، ۲۰۰۰). امروزه روش‌های متنوعی به منظور پیش‌بینی و کنترل آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه استفاده می‌شود که این روش‌ها عبارتند از شبکه عصبی، فازی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی اشاره کرد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین در سال ۱۹۷۵ سیستم استنتاجی Mamdani توسط Mamdani و Assilian پیشنهاد داده شد. این سیستم به دلیل دارا بودن طبیعت بصری و تفسیری در سیستم‌های پشتیبانی و نظارتی استفاده شد (Mamdani و Assilian، ۱۹۷۵). با توجه به این که انسان در کنترل وقایع اطرافش همیشه نمی‌تواند به درستی تصمیم بگیرد ضروری است از دستگاه‌هایی با هوش مصنوعی استفاده نماید. یکی از کاربردهای هوش مصنوعی استفاده از منطق فازی است. تئوری منطق فازی کاربردهای بسیاری در حل مسائل احتمالات دارد و در سیستم‌های دارای عدم قطعیت پدیده‌ها، منطق فازی روش مناسبی برای مدل‌سازی می‌باشد (Zadeh، ۲۰۰۳). استفاده از منطق فازی در مهندسی حمل‌و نقل، اولین بار توسط Mamdani در سال ۱۹۷۷صورت گرفته است (شاهی و کرمانشاهی، ۱۳۸۵). به‌طورکلی این سیستم استنتاج فازی شامل مدل فازی‌سازی، موتور استناج فازی، پایگاه قواعد فازی و دانش براساس «اگر- آنگاه» و دفازی‌سازی[7] به‌منظور به دست آوردن مقدار قطعی[8] داده‌ها به کار می‌رود. و از توابع مختلف مثلثی، ذوزنقه‌ای، گووسین، زنگوله‌ای و سیگموید‌ال[9] تشکیل شده است (Jyh-Shing Roger و همکاران، ۱۹۸۷). همچنین از این سیستم در صنعت تعمیر و نگهداری روسازی مانند بررسی و ارزیابی مدول ارتجاعی آسفالت ماستیکی[10] استفاده شده است (Shirmohammadi و Hadadi، ۲۰۱۷) و در سیستم‌های هوشمند ارزیابی خواب‌آلودگی راننده این سیستم فازی توانسته میزان خواب‌آلودگی راننده را تحت شرایط مختلف جاده‌ای و آب و هوایی ارزیابی کند (Shirmohammadi و Hadadi، ۲۰۱۷).

۳-۱- مواد و روش تحقیق

در منطق فازی به‌منظور تصمیم‌گیری در مورد متغیرهای خروجی، با در نظر گرفتن متغیر ورودی این مقدار مشخص می‌شود و همان‌طور که اشاره شد یک سیستم استنتاج فازی تشکیل می‌شود. این سیستم استنتاج مبتنی بر دانش یا مبتنی بر قوانین می‌باشد. و مرکز سیستم این سیستم فازی، پایگاه دانش است که از قوانین «اگر-آنگاه» فازی ایجاد می‌شود. به‌طوری که با استفاده از این قوانین، می‌توان بین متغیر ورودی و خروجی ارتباط ایجاد کرد (تشنه‌لب، ۱۳۷۸). بنابراین این سیستم استنتاجی به عنوان یک مدل پیش‌بینی و بهینه‌ای برای مواقعی که داده‌های ورودی و خروجی از عدم قطعیت زیادی برخوردارند استفاده می‌شود که شامل:

پایگاه قوانین) این پایگاه از گزاره‌های فازی (کلامی) از فرد خبره و یا تولید شده از داده‌های پیشین، به صورت اگر-آنگاه به عنوان موتور و قلب این سیستم استنتاج فازی استفاده می‌شود.

پایگاه داده) این پایگاه شامل متغیرهای موردنیاز در مجموعه‌های فازی استفاده شده در گزاره‌های فازی می‌باشد. در این پژوهش متغیرهای ورودی و خروجی مطابق جدول (۱) از نرم‌افزار Synchro 8 استفاده شده‌اند.

واحد تصمیم‌گیری) عملیات استنتاج مجموعه قوانین فازی را به عهده دارد.

واحد فازی‌سازی) اطلاعات عددی ورودی را به صورت فازی درمی‌آورد.

واحد فازی‌زدایی) نتیجه نهایی این سیستم استنتاجی را که به صورت فازی است به اعداد مشخص و یا کلامی برای کاربران پیشنهاد می‌دهد.

7. Defuzzification
8. Crisp value
9. Sigmoidal
10. Mastic asphalt

مراحل انجام پژوهش

مرحله اول) ساخت پایگاه قوانین فازی توسط افراد خبره.

در این مرحله به‌منظور کنترل و کاهش اثر پدیده ترافیک بر آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه در تقاطع‌ها، با بهره‌گیری از قوانین فازی یا گزاره‌های شرطی فازی که به صورت ساده یا مرکب هستند استفاده می‌شود. گزاره فازی مرکب، از ترکیب گزاره فازی ساده با استفاده از اتصال‌دهنده «و»، «یا»، «نه»، که نشان دهنده اشتراک، اجتماع فازی و مکمل فازی می‌باشند. بنابراین هر قانون از فازی از شرط و نتیجه تشکیل می‌شود. با توجه به این‌که روش‌های مختلفی برای ایجاد قوانین فازی از اطلاعات و داده‌های عددی وجود دارد. در این پژوهش با استفاده از دانش خبره برای ایجاد پایگاه قوانین فازی استفاده شده است. این دانش خبره، مبتنی بر پرسش‌نامه و ارتباط با کارشناسان مرتبط با بحث ترافیک و محیط‌زیست است و پرسشنامه مذکور تحت عنوان اثر پدیده ترافیکی بر آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه و میزان سوخت مصرفی در تقاطع‌ها سؤال شد و پس از بررسی و تکمیل، تأخیر، توقف، حجم ورودی به میدان، و صف ایجاده شده بیشترین میزان تأکید را از جانب کارشناسان در افزایش آلاینده‌ها و سوخت مصرفی ناشی از وسایل نقلیه برخوردار بود. بنابراین پایگاه قوانینی مطابق جدول (۲) تشکیل می‌شود که می‌تواند میزان آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه و سوخت را با استفاده از تجربیات تعداد زیادی کارشناس خبره، تخمین بزند. برای مثال اگر حجم وسایل نقلیه، کل تأخیرات و تأخیر-توقف آن‌ها در تقاطع‌ها کم و میانگین طول صف متوسط باشند. آنگاه میزان آلاینده‌های منوکسیدکربن، هیدروکربنی و اکسیدهای نیتروژن به ترتیب متوسط، متوسط و کم می‌باشند، همچنین میزان سوخت مصرفی نیز متوسط می‌باشد.

در نهایت برای هر مدل، ۱۹ قانون یا قاعده فازی تشکیل می‌شود. برای متغیرهای حجم، تعداد توقف، تأخیر- توقف و میانگین طول صف به ترتیب از سه تابع عضویت گووسین کم، متوسط و زیاد و برای متغیرهای منوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربنی و میزان سوخت مصرفی نیز به‌ترتیب از سه تابع عضوت گووسین کم، متوسط و زیاد استفاده می‌شود. شکل توابع عضویت و تعریف بازه هر تابع عضویت، از بررسی اثر پدیده ترافیک بر آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه و سوخت مصرفی آن‌ها در تقاطع‌ها مبتنی بر مطالعات انجام شده و دانش خبره است. دلیل انتخاب تابع عضویت گووسین مبتنی بر این است که این تابع رایج‌ترین نوع توابع استفاده شده در توابع فازی می‌باشد. و از طرفی این‌که هدف پژوهش در راستای کاهش و کنترل آلاینده‌ها و میزان سوخت مصرفی است این نوع تابع فازی در مواقعی که عدم قطعیت در محاسبه این پارامترها وجود دارد، مناسب می‌شود و اعداد واقعی‌تر را نشان می‌دهد (Kreinovich و همکاران، ۱۹۹۲).

مرحله دوم) در این مرحله، ابتدا حجم، تعداد توقف، تأخیر-توقف و میانگین طول صف حاصل از نرم‌افزار Synchro 8 مطابق جدول (۱) در پایگاه داده به عنوان متغیرهای ورودی اثرگذار در کنترل میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی هستند. و سپس وارد مدل استنتاج فازی یا واحد تصمیم‌گیری می‌شوند. سپس برآیند خروجی‌ها پس از محاسبه به صورت توابع عضویت گووسین فازی‌اند و در محاسبات مهندسی کاربرد ندارند بنابراین نتایج تحلیل‌های فازی به اعداد معمولی براساس روش ممدانی و از روش مرکز ثقل برای فازی‌زدایی استفاده می‌شود (Mamdani و Assilian، ۱۹۷۵). در این روش، نتایج به ازای هر زوج مرتب اعداد ورودی، به یک عدد حقیقی تبدیل می‌شود. این روش رایج‌ترین روش تبدیل کمیت فازی به کلاسیک است. محاسبات مربوط به مراحل اول و دوم توسط نرم‌افزار Matlab صورت گرفته است.

مرحله سوم) در این مرحله، میزان آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه و سوخت مصرفی در تقاطع‌ها محاسبه می‌شود. و این محاسبات با بیشینه، کمینه و میانگین آلاینده‌ها و میزان سوخت مصرفی محاسبه می‌شود. این کمیت‌های آماری به عنوان متغیر قبل (زمان‌بندی ثابت) و بعد (کنترل‌گر هوشمند فازی) شناخته می‌شوند و نقش مهمی در شناسایی سیستم بهینه و کاهشی ایجاد می‌کنند. و این برآوردها بر اساس تحلیل آماری (مثل آزمون نرمال بودن داده‌ها، و آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و آزمون t جفت نمونه‌ها) انجام می‌شود. بنابراین برای ایجاد سیستم فازی در ارزیابی تقاطع‌های شهرستان بروجرد، در شکل (۱) به صورت شماتیکی نقشه این تقاطع‌ها نشان داده شده است، که تقاطع‌های شهرستان بروجرد ویژگی‌های هندسی با عرض خط ۳/۶۵ متر، بدون شیب، بدون توقف پارکینگ، و سرعت ثابت در هر قسمت ورودی تقاطع موجود می‌باشند. تقاطع‌های صفا تا قیام به طول ۶۱۵ متر، صفا تا چهارراه باغمیری به طول ۶۸۰ متر، چهارراه باغمیری تا شهدا به طول ۳۱۲ متر و میدان شهدا تا قیام به طول ۸۶۶ متر حجم تردد زیادی در ساعت اوج ترافیک دارند. این تقاطع‌ها در حالت کنترل زمان‌بندی ثابت می‌باشند که همین باعث مشکلات ترافیکی تأخیر، صف زیاد، توقفات پی‌درپی وسایل نقلیه و درنتیجه افزایش آلاینده‌ها و سوخت مصرفی را دارد. همچنین به‌منظور اجرای سیستم کنترل‌گر زمان‌بندی ثابت و محاسبه آلاینده‌ها و سوخت توسط نرم‌افزار Synchro 8 در حالت آب‌وهوای نرمال و بدون بارندگی و آفتابی فصل تابستان با توجه به وضعیت کوهستانی این منطقه در این تقاطع‌ها در نظر گرفته شده است. سپس داده‌های ورودی و خروجی از نرم‌افزار ترافیکی Synchro 8 به عنوان ورودی و خروجی سیستم منطق فازی مطابق جدول (۱) نشان داده می‌شود.

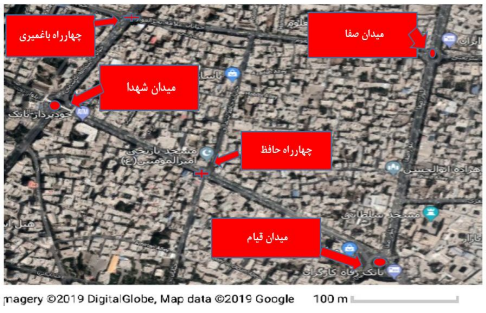
جدول ۱- نتایج متغیرهای ورودی و خروجی بر اساس کنترل زمان‌بندی ثابت توسط نرم‌افزار ترافیک Synchro 8

	میدان شهدا	چهارراه حافظ	میدان قیام	میدان صفا	چهارراه باغمیری
مسافت سفر (کیلومتر)	۷۷۱۶/۱	۶۹۱۵	۱۵۵۹۷	۱۱۸۵۰/۶	۱۱۷۲۱/۳
زمان سفر (ساعت)	۲۲۷/۵	۲۱۵/۵	۴۱۷	۲۹۳/۵	۴۲۶/۷
میانگین طول صف (متر)	۳۹/۵	۷۹/۹	۱۰۱/۵	۱۹۴/۲	۲۰۱/۸
کل تأخیر (ساعت)	۵۳/۷	۵۲/۹	۷۳/۵	۱۲۷/۶	۱۵۸/۳
حجم کل (وسیله نقلیه در ساعت)	۲۵۰۷۶	۲۲۵۹۵	۲۸۳۵۸	۲۳۹۱۶	۲۳۲۵۸
کل توقف (ساعت)	۳۸۲۲	۵۸۹۷	۱۸۷۵۴	۱۸۲۳۷	۱۴۶۳۵
سرعت (کیلومتر در ساعت)	۳۴	۳۲	۳۸	۳۰	۲۸
میزان آلاینده منوکسیدکربن (گرم)	۸۵۶۰۰	۸۶۴۰۰	۸۹۷۰۰	۱۱۱۰۰۰	۹۵۲۰۰
میزان آلاینده هیدروکربنی (گرم)	۲۵۶۰	۲۵۵۰	۲۵۵۰	۲۵۶۰	۲۵۵۰
میزان آلاینده اکسیدهای نیتروژن (گرم)	۱۰۱۰۰	۹۴۴۰	۷۸۷۰	۱۱۷۰۰	۱۱۲۰۰
میزان سوخت مصرفی (لیتر)	۶۷۰	۶۹۵	۵۷۳	۷۵۴	۶۲۵

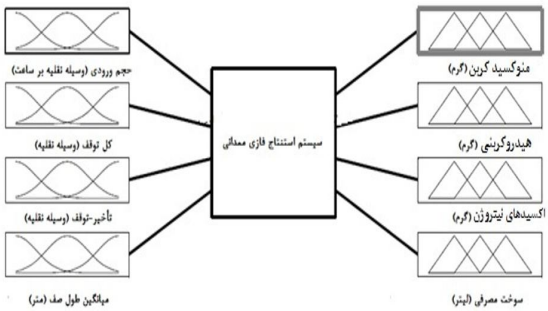
جدول ۲- قوانین فازی ارزیابی میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی در تقاطع‌ها در سیستم کنترل‌گر فازی در نرم‌افزار Matlab

ردیف	میانگین طول صف (متر)	تأخیر توقف (ساعت)	تأخیر کل وسایل نقلیه (ساعت)	حجم وسایل نقلیه (وسیله نقلیه بر ساعت)	منوکسیدکربن (گرم)	هیدروکربنی (گرم)	اکسیدهای نیتروژن (گرم)	سوخت مصرفی (لیتر)
۱	کم	کم	متوسط	کم	کم	متوسط	کم	کم
۲	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
۳	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
۴	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
۵	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
۶	متوسط	کم	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
۷	متوسط	کم	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد
۸	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
۹	کم	کم	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
۱۰	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط
۱۱	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط
۱۲	متوسط	متوسط	متوسط	کم	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط
۱۳	متوسط	متوسط	متوسط	کم	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد
۱۴	متوسط	متوسط	متوسط	کم	کم	زیاد	زیاد	زیاد
۱۵	متوسط	متوسط	متوسط	کم	کم	زیاد	زیاد	متوسط
۱۶	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط
۱۷	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد
۱۸	کم	متوسط	متوسط	کم	کم	زیاد	کم	کم
۱۹	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد

داده‌های ورودی تقاطع‌ها در منطق فازی، حجم وسایل نقلیه برحسب وسیله نقلیه در ساعت، کل توقف برحسب وسیله نقلیه، تأخیر توقف برحسب ساعت، و میانگین طول صف برحسب متر می‌باشند و داده‌های خروجی نیز به‌صورت آلاینده‌های منوکسیدکربن، هیدروکربنی و اکسیدهای نیتروژن و سوخت مصرفی توسط وسایل نقلیه در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. به همین منظور پارامترهای ورودی و خروجی مورد پیش‌بینی و کنترل به صورت شکل (۲) در نرم‌افزار Matlab به صورت تابع‌های مختلف فازی ساخته می‌شوند.



شکل ۱- محدوده تقاطع‌های مورد مطالعه در شهرستان بروجرد



شکل ۲- متغیرهای ورودی و خروجی سیستم استنتاج فازی پژوهش حاضر

۳-۲- توابع ورودی و خروجی سیستم کنترل‌گر فازی

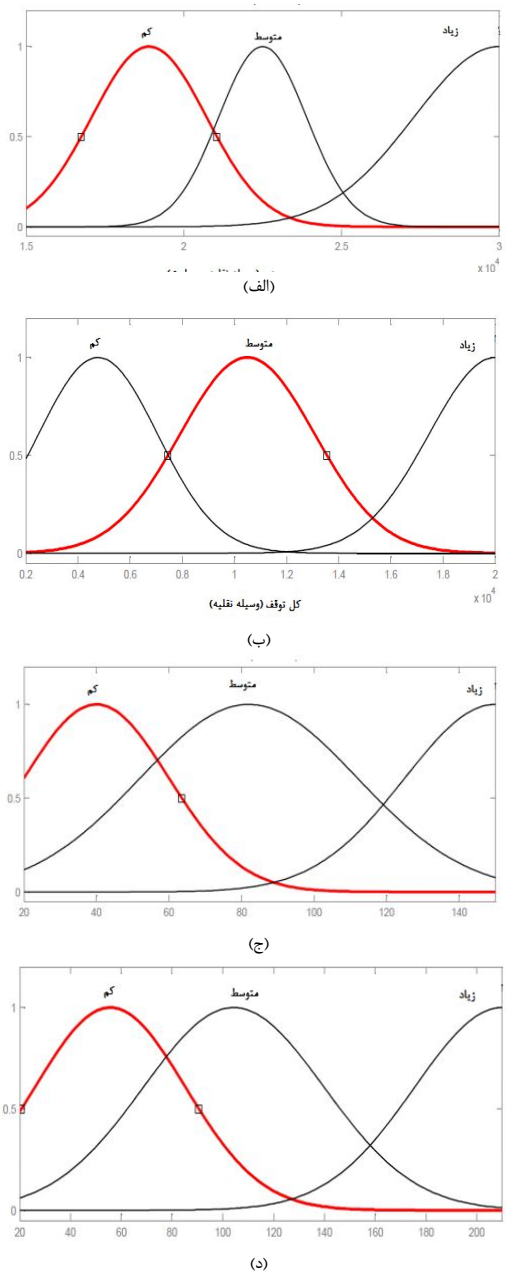
در ارزیابی میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی وسایل نقلیه توسط منطق فازی متغیرهای ورودی به ترتیب حجم، کل توقف، تأخیر- توقف و میانگین طول صف هستند که در شکل‌های (۳-الف) و (۳-ب) (۳-ج) (۳-د) نشان داده شده‌اند و متغیرهای خروجی به ترتیب میزان آلاینده‌های منوکسیدکربن، هیدروکربنی، اکسیدهای نیتروژن و سوخت مصرفی است که در شکل‌های (۴-الف)، (۴-ب)، (۴-ج) و (۴-د) نشان داده شده‌اند که به کمک تابع عضویت گووسیین در بازه‌های مختلف ارزش‌گذاری کلامی کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی می‌شوند.

برای کاهش و کنترل میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی ناشی از وسایل نقلیه در تقاطع‌ها توسط قوانین فازی، مجموعه قوانینی بر اساس تجربه کارشناسی به کار می‌روند. بنابراین در این پژوهش همان‌طور که اشاره شد ۱۹ قانون مطابق جدول (۲) به‌کار رفته است که به عنوان مثال سه قانون از مجموع ۱۹ قانون در زیر بیان می‌شود و درقسمت پایگاه فازی در نرم‌افزار Matlab نشان داده می‌شوند.

قانون ۱) اگر حجم وسایل نقلیه، کل تأخیرات و تأخیر- توقف در تقاطع‌ها کم و میانگین طول صف متوسط باشند. آنگاه میزان آلاینده‌های منوکسیدکربن، هیدروکربنی و اکسیدهای نیتروژن به ترتیب متوسط، متوسط و کم می‌باشند، همچنین میزان سوخت مصرفی نیز متوسط می‌باشد.

قانون ۲) اگر حجم وسایل نقلیه، کل تأخیرات، تأخیر-توقف و میانگین طول صف در تقاطع‌ها متوسط باشد. آنگاه میزان آلاینده-های منوکسیدکربن، هیدروکربنی و اکسیدهای نیتروژن و میزان سوخت مصرفی نیز متوسط می‌باشد.

قانون ۳) اگر حجم وسایل نقلیه در تقاطع‌ها متوسط و کل تأخیر، تأخیر- توقف و میانگین طول صف آن‌ها زیاد باشد. آنگاه میزان آلاینده‌های منوکسیدکربن، هیدروکربنی و اکسیدهای نیتروژن و میزان سوخت مصرفی نیز زیاد می‌باشد.

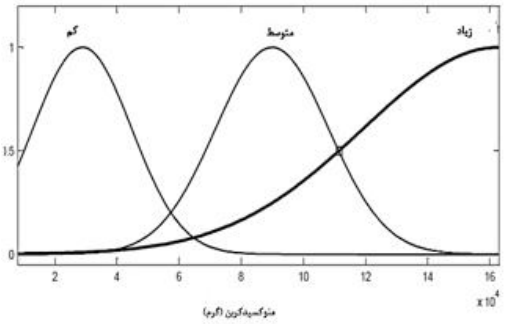


شکل ۳- متغیرهای ورودی اثرگذار بر آلاینده‌ها و سوخت مصرفی تقاطع‌ها توسط تابع عضویت گووسین فازی: الف) حجم ورودی (وسیله‌نقلیه برساعت)، ب) کل توقف (وسیه‌نقلیه)، ج) تأخیر- توقف (وسیله‌نقلیه)، د) متوسط طول صف (متر)

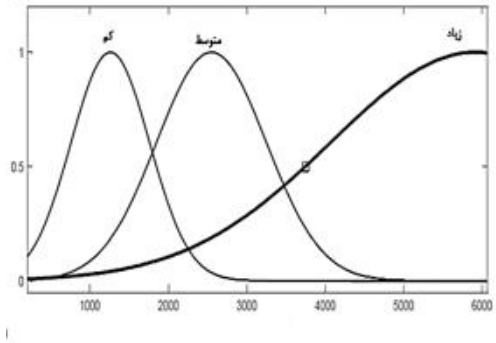
بر اساس ۱۹ قانون به‌کار برده شده، میانگین کل وزن ۱۹ قانون بر اساس درجه عضویت متغیرهای ورودی مطابق معادله (۴) محاسبه می‌شود:

$$y = \frac{\sum_{k=1}^{19} w_k Y_k}{\sum_{k=1}^{19} w_k} \quad (۴)$$

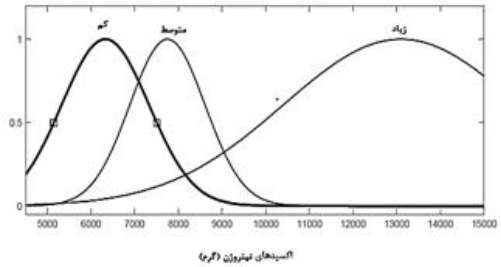
که W_k وزن هندسی مربوط به هر قانون و Y_k درجه عضویت متغیرهای ورودی



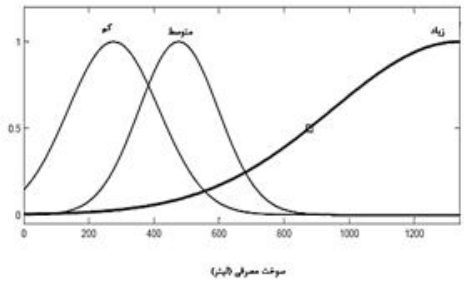
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۴- متغیرهای خروجی میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی در تقاطع‌ها در تابع عضویت گووسین فازی: الف) منوکسید کربن (گرم)، ب) هیدروکربنی (گرم)، ج) اکسیدهای نیتروژن (گرم)، د) سوخت مصرفی (لیتر)

۴- نتایج و یافته‌های تحقیق

پس از ایجاد سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی اثر متغیرهای ورودی حجم، تأخیر، توقف و طول صف بر میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی ناشی از وسایل نقلیه توسط نرم‌افزار Matlab در شکل‌های (۵) تا (۹) ارزیابی می‌شود. که به‌صورت زیر بیان می‌گردند:

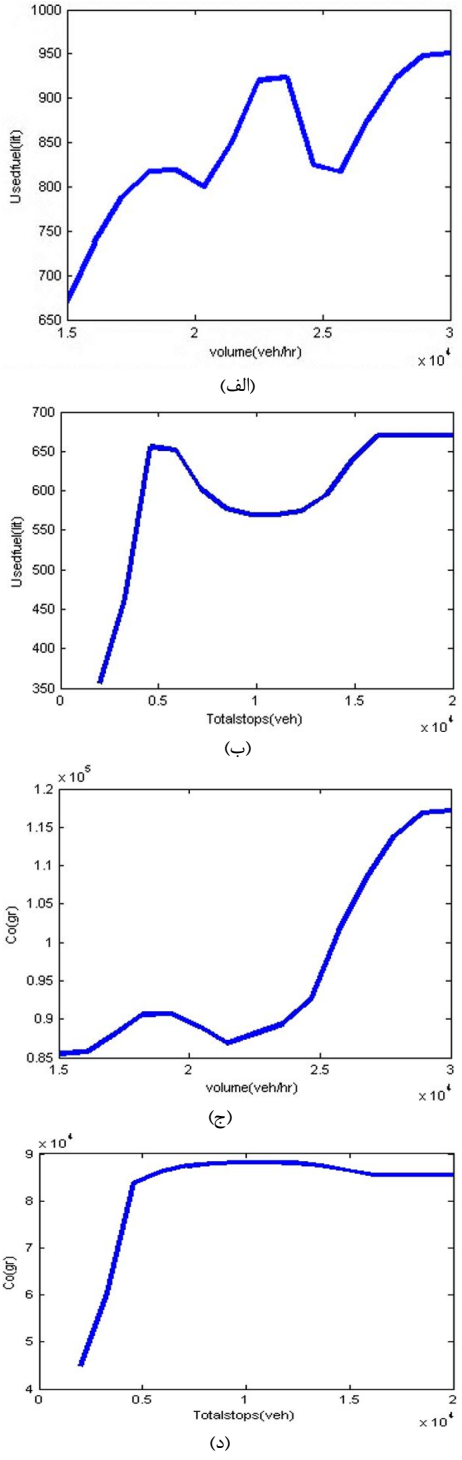
در شکل (۵-الف) متغیر خروجی سوخت مصرفی تحت تأثیر متغیر ورودی حجم وسایل نقلیه می‌باشد. این بدان معنا است که با افزایش لحظه‌ای حجم وسایل نقلیه در تقاطع‌ها، سوخت مصرفی افزایش می‌یابد. البته در این شکل ممکن است با افزایش حجم وسایل نقلیه، میزان سوخت مصرفی به دلیل عملکرد مناسب تقاطع‌ها، میزان سوخت مصرفی کاهش یابد. سپس بعد از مدتی با افزایش حجم ترافیک و کاهش عملکرد تقاطع‌ها، این میزان سوخت افزایش می‌یابد. همچنین، در شکل (۵-ب) با افزایش کل توقف وسایل‌نقلیه، میزان سوخت مصرفی افزایش می‌یابد. این افزایش حاکی از آن است که با افزایش حجم وسایل نقلیه، به کل توقفات افزوده می‌شود. به‌طور مشابه می‌توان از شکل‌های (۵-ج) و (۵-د) میزان اثرگذاری متغیرهای حجم و کل توقف وسایل نقلیه را بر افزایش میزان آلاینده منوکسیدکربن مشاهده کرد و نتیجه گرفت که افزایش مصرف سوخت بر افزایش این میزان آلاینده تأثیر بسزایی داشته است. به‌منظور ارزیابی بیشتر و گسترده‌تر ارزیابی منطق فازی در میزان آلاینده وسایل نقلیه، در این تحقیق سعی شده است که متغیرهای ورودی بیشتری از وسایل نقلیه در تقاطع‌ها مورد مطالعه قرار گیرند.

بدین منظور در کنترل و ارزیابی دیگری، تأثیر متغیرهای ورودی نظیر حجم و کل تأخیرات وسایل نقلیه بر میزان آلاینده هیدروکربنی به‌دست می‌آید. مطابق شکل (۶-الف) با افزایش حجم وسایل نقلیه در تقاطع‌ها، میزان آلاینده هیدروکربنی به‌طور لحظه‌ای افزایش می‌یابد و سپس بعد از این‌که عملکرد تقاطع بهبود می‌یابد و حجم زیادی از وسایل نقلیه را عبور می‌دهد این مقدار کاهش پیدا می‌کند و سپس با افزایش حجم و ساعات اوج ترافیک دوباره افزایش می‌یابد. در شکل (۶-ب) با افزایش کل توقفات وسایل‌نقلیه، میزان آلاینده هیدروکربنی در ابتدا به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و سپس با افزایش عملکرد کمی کاهش این آلاینده مشاهده می‌شود و دوباره با افزایش تعداد کل توقفات میزان آلاینده هیدروکربنی افزایش می‌یابد. اما در شکل‌های (۷-الف) و (۷-ب) با افزایش حجم و کل توقفات وسایل نقلیه در تقاطع‌ها، ابتدا میزان آلاینده اکسیدهای نیتروژن افزایش یافته و سپس باوجود این‌که تقاطع‌ها با افزایش حجم روبه‌رو هستند به دلیل افزایش کارایی آن‌ها این میزان آلاینده کاهش پیدا می‌کند، و دوباره با افزایش حجم ترافیک و کل توقفات و کاهش کارایی و

عملکردی تقاطع‌ها این میزان آلاینده افزایش یافته است. همان‌طور که در شکل (۷-ج) تأثیر تأخیر توقف ساعتی را بر میزان سوخت مصرفی نشان می‌دهد. در این شکل ابتدا با افزایش متغیر تأخیر توقف ساعتی، سوخت مصرفی ابتدا افزایش می‌یابد و سپس با بهبود عملکرد تقاطع به دلایل مختلفی از قبیل کاهش حجم ترافیک، این میزان آلاینده کاهش می‌یابد و دوباره با افزایش تأخیرات توقف ساعتی بر میزان سوخت مصرفی افزوده می‌شود. به‌علاوه، در شکل (۷-د) میزان تأثیرگذاری تأخیر توقف ساعتی را بر افزایش میزان آلاینده منوکسیدکربن نشان می‌دهد. این بدان معنا است که افزایش حجم و طول صف وسایل نقلیه که منجر به افزایش مصرف سوخت شده‌اند به‌طور لحظه‌ای میزان آلاینده منوکسیدکربن را افزایش داده‌اند و در ساعات منتهی به شب با کاهش حجم ترافیک و کاهش تأخیر- توقف، میزان آلاینده منوکسیدکربن کاهش می‌یابد. در شکل (۸-الف) افزایش میزان آلاینده هیدروکربنی تحت تأثیر تأخیر- توقف ساعتی نشان می‌دهد. این بدان معنا است که با افزایش این مقدار که ناشی از تشکیل صف‌های طولانی و حجم ترافیک زیاد است منجر به افزایش آلاینده هیدروکربنی گردیده است.

مشابه شکل (۸-الف)، شکل (۸-ب) افزایش میزان آلاینده اکسیدهای نیتروژن را تحت تأثیر تأخیر توقف ساعتی نشان می‌دهد. این بدان معنا است که با افزایش این مقدار که ناشی از تشکیل صف‌های طولانی و حجم ترافیک زیاد است منجر به افزایش آلاینده هیدروکربنی گردیده است. یکی از عوامل مؤثر بر افزایش میزان سوخت در تقاطع، میانگین طول صف وسایل نقلیه هستند.

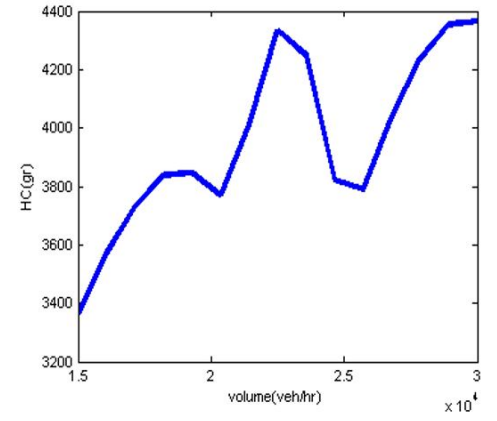
بدین‌صورت در شکل (۹-الف) در ابتدا میانگین طول صف افزایش یافته و منجر به افزایش سوخت گردیده است و با روند افزوده شدن به آن در اواسط صبح چون تقاطع عملکرد بالایی داشته توانسته است این میزان سوخت را کاهش دهد یعنی حجم زیادی از وسایل نقلیه که با افزایش میانگین طول صف روبرو بوده‌اند را عبور دهد. مطابق شکل (۹-ب)، با افزایش میانگین طول صف در تقاطع‌ها، میزان آلاینده منوکسیدکربن تولیدی وسایل نقلیه افزایش می‌یابد که ناشی از کاهش عملکرد تقاطع و افزایش سوخت و آلاینده است. همچنین در شکل (۹-ج)، توسط سیستم فازی میزان آلاینده هیدروکربنی تحت تأثیر میانگین طول صف وسایل نقلیه، ابتدا کاهش پیدا می‌کند و سپس با افزوده شدن به تعداد وسایل نقلیه پشت سر هم، این میزان آلاینده افزایش می‌یابد.



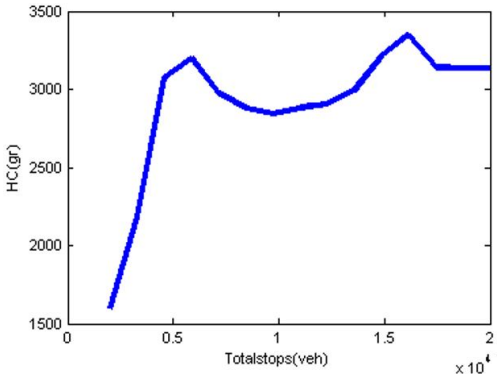
شکل ۵- نمودارهای ارزیابی فازی سوخت مصرفی، آلاینده منوکسید تحت تأثیر متغیرهای حجم، کل توقف توسط کنترل‌گر هوشمند فازی: الف) نمودار تغییر سوخت مصرفی تحت تأثیر حجم ورودی به تقاطع‌ها، ب) نمودار سوخت مصرفی تحت تأثیر کل توقف، ج) نمودار میزان آلاینده منوکسیدکربن تحت تأثیر حجم، د) نمودار میزان آلاینده منوکسیدکربن تحت تأثیر کل توقف

یکی دیگر از نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، تأثیر میانگین طول صف بر میزان آلاینده اکسیدهای نیتروژن است که همان‌طور که در شکل (۹-د) نشان داده‌شده است حاکی از افزایش این آلاینده به دلیل افزایش میانگین طول صف است که به متغیرهایی نظیر کل تأخیر و توقف وسایل نقلیه که افزایش یافته‌اند وابسته است.

پس از ایجاد سیستم فازی و مقایسه میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی با سیستم زمان‌بندی ثابت مطابق شکل‌های (۱۰-الف)، (۱۰-ب)، (۱۰-ج) و (۱۰-د) نشان داده‌شده است. با توجه به این شکل‌ها می‌توان دریافت که میزان آلاینده‌ها و سوخت به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. این کاهش میزان آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربنی، منوکسیدکربن به ترتیب ۲۷/۶۴ درصد، ۳۰/۸۸ درصد و ۲۱/۵۰ درصد و برای میزان مصرف سوخت مصرفی در تقاطع‌ها به ۳۳/۴۱ درصد رسیده است که کاهش قابل ملاحظه‌ای را برای این میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی نشان می‌دهد.

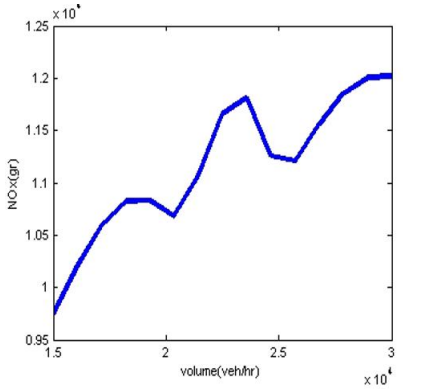


(الف)

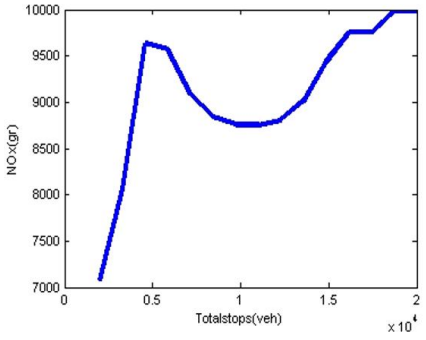


(ب)

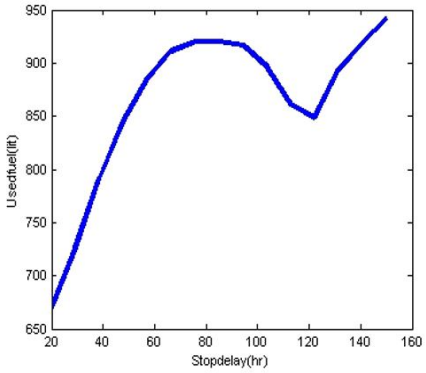
شکل ۶- نمودارهای ارزیابی فازی آلاینده هیدروکربنی تحت تأثیر متغیر حجم و کل توقف توسط کنترل‌گر هوشمند فازی: الف) نمودار میزان آلاینده هیدروکربنی تحت تأثیر حجم، ب) نمودار میزان آلاینده هیدروکربنی تحت تأثیر کل توقف



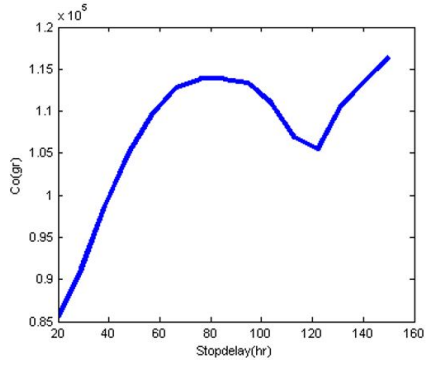
(الف)



(ب)

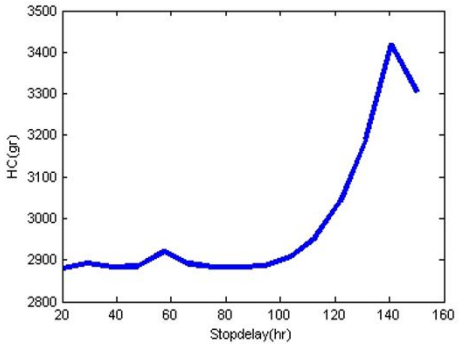


(ج)

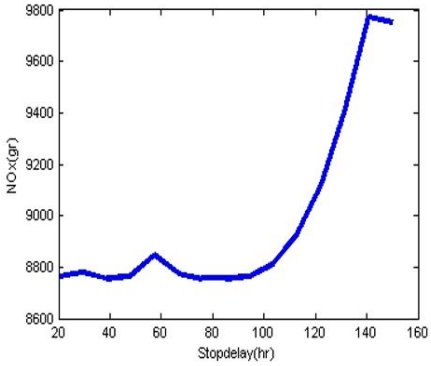


(د)

شکل ۷- نمودارهای ارزیابی فازی میزان آلایندگی اکسیدهای نیتروژن و سوخت مصرفی تحت تأثیر حجم، کل توقف و کل تأخیر توسط کنترل‌گر هوشمند فازی



(الف)

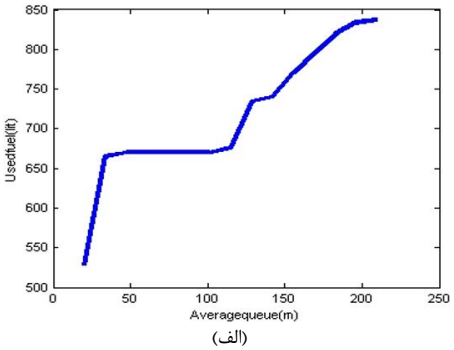


(ب)

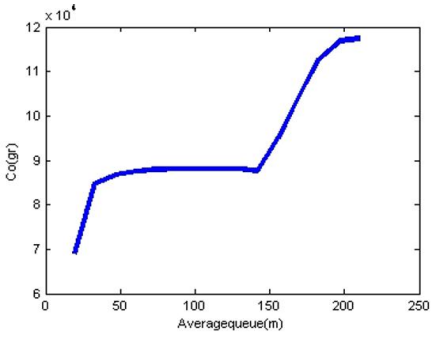
شکل ۸- نمودارهای ارزیابی فازی میزان آلاینده هیدروکربنی و اکسیدهای نیتروژن تحت تأثیر تأخیر توقف ساعتی توسط کنترل‌گر هوشمند فازی: الف) نمودار تغییر میزان آلاینده هیدروکربنی تحت تأثیر تأخیر توقف، ب) نمودار تغییر میزان آلاینده اکسیدهای نیتروژن تحت تأثیر تأخیر توقف

۵- مقایسه پژوهش حاضر با پژوهش دیگران

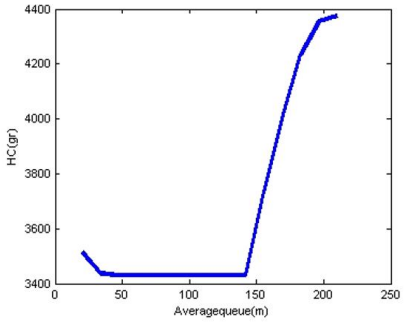
به‌منظور بررسی درستی این پژوهش، نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از مطالعات Ghanim و Abu-Lebdeh (۲۰۱۶)، و Kwak و همکاران (۲۰۱۲)، مقایسه شده است. و این مقایسه مطابق شکل (۱۱) نشان داده‌شده است. همان‌طور که در شکل (۱۱) مشخص است کاهش میزان آلاینده‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه و پدیده ترافیک در این مطالعه نسبت به آلاینده‌ها و سوخت مصرفی کاهش یافته در مطالعه Ghanim و Abu-Lebdeh (۲۰۱۶)، و مطالعه Kwak و همکاران (۲۰۱۲) به‌طور قابل ملاحظه‌ای چشم‌گیر بوده است و این نشان می‌دهد که پژوهش حاضر نسبت به دو پژوهش پیشین توانسته جامع‌تر و کاهش بیشتری را در میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی توسط سیستم کنترل‌گر فازی به‌وجود آورد. بنابراین استفاده از سیستم فازی به عنوان کنترل‌گر هوشمند و سیستم کاهشی نسبت به دو پژوهش دیگر که تقاطع‌ها را با زمان‌بندی ثابت کنترل کرده‌اند مؤثر واقع-شده است.



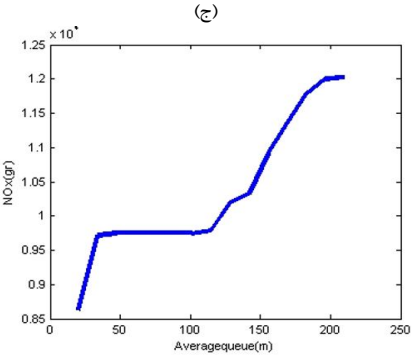
(الف)



(ب)

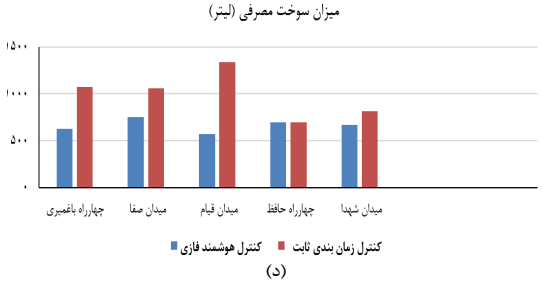


(ج)

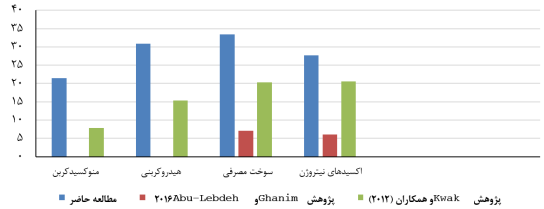


(د)

شکل ۹- نمودارهای ارزیابی فازی میزان سوخت مصرفی، آلاینده منوکسیدکربن، هیدروکربنی و اکسیدهای نیتروژن تحت تأثیر میانگین طول صف توسط کنترل‌گر هوشمند فازی: الف) نمودار تغییر سوخت مصرفی تحت تأثیر میانگین طول صف، ب) نمودار تغییر منوکسیدکربن تحت تأثیر میانگین طول صف، ج) نمودار تغییر هیدروکربنی تحت تأثیر میانگین طول صف، د) نمودار تغییر اکسیدهای نیتروژن تحت تأثیر میانگین طول صف



شکل ۱۰- مقایسه میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی ناشی از وسایل نقلیه در تقاطع‌ها بین سیستم کنترل زمان‌بندی ثابت و هوشمند: الف) مقایسه منوکسیدکربن در دو حالت کنترل ثابت و هوشمند، ب) مقایسه هیدروکربنی در دو حالت کنترل ثابت و هوشمند، ج) مقایسه اکسیدهای نیتروژن در دو حالت کنترل ثابت و هوشمند، د) مقایسه میزان سوخت مصرفی در دو حالت کنترل ثابت و هوشمند



شکل ۱۱- مقایسه درصد میزان کاهش آلاینده‌ها و سوخت مصرفی ناشی از وسایل نقلیه در پژوهش حاضر با مطالعات پیشین

جدول ۳- مقایسه میانگین درصد خطا میزان سوخت مصرفی و آلاینده‌ها در سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی

تقاطع‌های شهری	سوخت مصرفی	اکسیدهای نیتروژن	هیدروکربنی	منوکسیدکربن
میدان شهدا	۱۸	۱۷	۳۳	۳
چهارراه حافظ	۰/۳	۱/۳	۰/۴۷	۴/۴
میدان قیام	۵۷	۵۷	۵۷	۴۵
میدان صفا	۲۹	۳۱	۱۷	۳
چهارراه باغمیری	۴۲	۱۲	۲۹	۱۱
میانگین درصد خطا پیش‌بینی (کالیبراسیون مدل)	۲۹/۲۶	۲۳/۶۶	۲۷/۲۹	۱۳/۲۸

جدول ۴- آزمون آماری چولگی به‌منظور بررسی درستی نرمال بودن داده‌ها

تعداد نمونه‌ها	سوخت مصرفی (بعد)	سوخت مصرفی (قبل)	هیدروکربنی (بعد)	هیدروکربنی (قبل)	منوکسیدکربن (بعد)	منوکسیدکربن (قبل)	اکسیدهای نیتروژن (بعد)	اکسیدهای نیتروژن (قبل)
معتبر	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
حذف	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
انحراف معیار استاندارد	۸۳/۵۹	۲۱۱/۰۴	۴۵۴/۴۶	۸۹۴/۲۶	۱۲۲۴۳/۳۸	۲۱۳۸۲/۳۵	۹۵۳/۱۴	۲۵۱۷/۷۱
چولگی	-۰/۱۲۹	۰/۲۱۸	۰/۷۱۳	۱/۰۴۸	۱/۵۹۲	۱/۱۸۰	-۰/۳۷۳	۱/۲۲۱
خطای انحراف چولگی	۰/۹۱۳	۰/۹۱۳	۰/۹۱۳	۰/۹۱۳	۰/۹۱۳	۰/۹۱۳	۰/۹۱۳	۰/۹۱۳

جدول (۳) نیز میانگین درصد خطاهای پیش‌بینی و کنترل سیستم فازی را که کمتر از ۳۰ درصد بوده نشان می‌دهد که قابل-اطمینان می‌باشد و این در حالی است که در بعضی از تقاطع‌ها به دلیل افزایش حجم ترافیک، تعداد توقف‌ها، تأخیر-توقف و طول صف زیاد شده که بار ترافیکی زیادی را به تقاطع وارد شده است که این خود میزان آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه و سوخت را زیاد کرده و حجم داده‌ها به همان نسبت افزایش یافته است. مثلاً در میدان قیام چون در هسته مرکزی شهر قرار دارد میزان آلاینده-ها و سوخت مصرفی افزایش یافته است، خطا نیز افزایش یافته است.

۶- تحلیل حساسیت

۶-۱- بررسی نرمال‌بودن داده‌ها توسط معیار چولگی

در ابتدا به‌منظور بررسی داده‌های مورد استفاده در نرم‌افزار SPSS 17، معیار نرمال بودن دادها موردنظر می‌باشد. بدین منظور ابتدا چولگی و کشیدگی داده‌ها مطابق جدول (۴) بررسی می‌شود. چولگی معیاری از تقارن یا عدم تقارن تابع توزیع می‌باشد. برای یک توزیع کاملاً متقارن چولگی صفر و برای یک توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر بالاتر چولگی مثبت و برای توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر کوچک‌تر مقدار چولگی منفی است. پس از ارزیابی دادها با نرم‌افزار آماری ذکرشده ثابت می‌شود که تمام چولگی‌های مشاهده شده متغیرهای قبل و بعد در بازه (۲+ ۲-) قرار دارند. بنابراین داده‌ها و بررسی آزمون نرمال بودن دادها به‌درستی نرمال بودن داده‌های این پژوهش صحت دارد.

۶-۲- آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و همبستگی و t زوجی مستقل

در بررسی آزمون‌های آماری علاوه بر بررسی معیار چولگی داده‌ها، برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مطابق جدول (۵) استفاده می‌شود و این آزمون نرمال بودن داده‌های آلاینده‌ها و میزان سوخت مصرفی توسط وسایل نقلیه را در دو حالت قبل و بعد نیز تأیید کرده است. همچنین برای مؤثر بودن سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی ابتدا شاخص‌های آماری از قبیل میانگین، تعداد نمونه‌ها، انحراف معیار و انحراف خطای میانگین جفت متغیرهای آلاینده‌ها و سوخت ناشی از وسایل نقلیه مطابق جدول (۶) انجام شده است. سپس مطابق جداول (۷) و (۸) با استفاده از آزمون همبستگی و t زوجی، جفت نمونه‌های میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی ناشی از وسایل نقلیه از نظر ارزش آماری مطابق با همبستگی کمتری دارند که نشان از درستی انتخاب آزمون t زوجی مستقل است.

جدول ۵- آزمون یک‌طرفه کولموگروف- اسمیرنوف برای انجام نرمال بودن جفت نمونه‌ها بر اساس کنترل زمان‌بندی ثابت و هوشمند فازی در تقاطع‌ها

		سوخت مصرفی (بعد)	سوخت مصرفی (قبل)	اکسیدهای نیتروژن (بعد)	اکسیدهای نیتروژن (قبل)	هیدروکربنی (بعد)	هیدروکربن ی (قبل)	منوکسیدکربن (بعد)	منوکسیدکربن (قبل)
تعداد نمونه		۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
پارامترهای نرمال آماری	میانگین	۶۵۷/۴۰	۸۸۲/۳۴	۹۴۷۳/۰۰	۱۲۱۸/۵۰	۳۰۳/۰۰	۴۰۹۴/۴۰	۸۷۰۴۰/۰۰	۱۱۲۲۵۴/۸۰
	انحراف معیار	۸۳/۵۹	۲۱۱/۰۴	۹۵۳/۱۴	۸۹۴/۷۱	۴۵۴/۴۶	۸۹۴/۲۶	۱۲۲۴۳/۳۸	۲۱۳۸۲/۳۵
بیشترین شدت	مطلق	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۱۷
اختلاف	مثبت	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۱۷
	منفی	-۰/۱۶	-۰/۱۶	-۰/۱۵	-۰/۱۴۹	-۰/۱۲	-۰/۱۱۰	-۰/۱۲۲	-۰/۱۴۶
آزمون کولموگروف اسمیرنوف z		۰/۵۱	۰/۸۱	۰/۴۶	۰/۶۰	۰/۳۸	۰/۵۳	۰/۳۸	۰/۵۳
معناداری غیرمتقارن (دوطرفه)		۰/۹۶	۰/۵۳	۰/۹۸	۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۴

جدول ۶- آمار جفت نمونه‌ها بر اساس کنترل زمان‌بندی ثابت و هوشمند فازی در تقاطع‌ها

		میانگین	تعداد	انحراف معیار استاندارد	انحراف میانگین استاندارد
جفت نمونه منوکسید کربن	متغیر قبل	۱۱۲۲۵۴/۸۰	۱۰	۲۱۳۸۲/۳۵	۶۷۶۱/۶۹
	متغیر بعد	۸۷۰۴/۰۰	۱۰	۱۲۲۴۳/۳۸	۳۸۷۱/۷۰
جفت نمونه هیدروکربنی	متغیر قبل	۴۰۹۴/۴۰۰	۱۰	۸۹۴/۲۶	۲۸۲/۷۹
	متغیر بعد	۳۰۳۰/۰۰	۱۰	۴۵۴/۴۶	۱۴۳/۷۱
جفت نمونه اکسیدهای نیتروژن	متغیر قبل	۱۲۱۸۱/۵۰	۱۰	۲۵۱۷/۷۱	۷۹۶/۱۷
	متغیر بعد	۹۴۷۳/۰۰	۱۰	۹۵۳/۱۴	۳۰۱/۴۱
جفت نمونه سوخت مصرفی	متغیر قبل	۸۸۲/۳۴	۱۰	۲۱۱/۰۴	۶۶/۷۴
	متغیر بعد	۶۵۷/۴۰	۱۰	۸۳/۵۹	۲۶/۴۴

جدول ۷-آزمون همبستگی جفت نمونه‌ها بر اساس کنترل زمان‌بندی ثابت و هوشمند فازی در تقاطع‌ها

	تعداد	همبستگی	معناداری
جفت نمونه منوکسیدکربن	۱۰	۰/۲۷	۰/۴۵
جفت نمونه هیدروکربنی	۱۰	-۰/۱۵	۰/۶۸
جفت نمونه اکسیدهای نیتروژن	۱۰	-۰/۴۳	۰/۲۱
جفت نمونه سوخت مصرفی	۱۰	-۰/۱۲	۰/۷۳

جدول ۸- آزمون t جفت نمونه‌ها بر اساس کنترل زمان‌بندی ثابت و هوشمند فازی در تقاطع‌ها

	اختلاف جفت نمونه‌ها							
			اختلاف سطح معناداری در ۹۵ درصد					
	میانگین	انحراف معیار	میانگین خطا استاندارد	پایین‌تر	بالاتر	t	df	معناداری
جفت نمونه منوکسیدکربن	۲۵۲۱۴/۸۰	۲۱۵۵۹/۰۲	۶۸۱۷/۵۶	۹۷۹۲/۴۱	۴۰۶۳۷/۱۹	۳/۷۰	۹	۰/۰۱
جفت نمونه هیدروکربنی	۱۰۶۴/۴۰	۱۰۶۱/۳۸	۳۳۵/۶۴	۳۰۵/۱۳	۱۸۲۳/۶۷	۳/۱۷	۹	۰/۰۱
اکسیدهای نیتروژن جفت نمونه	۲۷۰۸/۵۰	۳۰۵۳/۵۳	۹۶۵/۶۱	۵۲۴/۱۴	۴۸۹۲/۸۶	۲/۸۱	۹	۰/۰۲
جفت نمونه سوخت مصرفی	۲۲۴/۹۴	۲۳۶/۴۷	۷۴/۷۸	۵۵/۷۸	۳۹۴/۱۰	۳/۰۱	۹	۰/۰۲

بنابراین با استفاده از آزمون t زوجی در این مطالعه، می‌توان میزان آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه و سوخت در حالت قبل را بر اساس کنترل زمان‌بندی ثابت در نرم‌افزار ترافیکی Synchro 8 را با میزان آلاینده‌ها و سوخت حالت بعد در سیستم هوشمند فازی مقایسه کرد که در جدول (۸) نیز نشان داده شده‌اند. اثبات کارایی روش کنترل‌گر هوشمند فازی بدین‌صورت است که دو متغیر قبل و بعد از نظر معنادار بودن مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در جدول (۸) ضریب معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۵ شده است، پس تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین جفت نمونه‌های قبل و بعد مشاهده می‌شود و این تفاوت همان کاهش میزان آلاینده‌ها و مصرف سوخت در میانگین جفت نمونه‌های بعد، نسبت به میانگین جفت نمونه‌های قبل یعنی حالت کنترل زمان‌بندی ثابت می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سیستم فازی نقش بسزایی در کاهش و بهینه کردن میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی در تقاطع‌ها داشته است.

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر پارامترهای ترافیکی حجم وسایل نقلیه، توقفات، تأخیر- توقف، و طول صف روی آلاینده‌ها و میزان سوخت مصرفی ناشی از وسایل نقلیه در تقاطع‌های چراغ‌دار و غیرچراغ‌دار تحت سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی به عنوان سیستم بهینه بررسی شد و با سیستم کنترل‌زمان‌بندی ثابت مقایسه شد و نتایج پژوهش به صورت زیر می‌باشند:

۱- نتایج حاصل از ایجاد سیستم کنترل‌گر فازی در تقاطع‌های شهری با استفاده از نرم‌افزار Matlab نشان می‌دهد که بهره‌گیری از سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است. که این کاهش میزان در آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربنی، منوکسیدکربن به‌ترتیب ۲۷/۶۴ درصد، ۳۰/۸۸ درصد و ۲۱/۵۰ درصد و برای میزان مصرف سوخت مصرفی در تقاطع‌ها به ۳۳/۴۱ درصد رسیده است که کاهش قابل ملاحظه‌ای را برای این میزان آلاینده‌ها و سوخت مصرفی نسبت به کنترل زمان‌بندی ثابت نشان می‌دهد.

۲- به‌منظور اثبات کارایی این سیستم هوشمند فازی در ارزیابی جفت متغیرهای میزان آلاینده، مصرف سوخت، در تقاطع‌ها، از نرم افزار SPSS 17 استفاده شده است و آزمون‌های آماری نظیر چولگی، کولموگروف- اسمیرنوف برای نرمال بودن داده‌ها و آزمون t جفت زوجی برای بررسی شاخص‌های آماری آن‌ها از قبیل ضریب اهمیت و آزمون همبستگی و t مستقل و مقدار آماری F به کار گرفته شده‌اند. نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که استفاده از سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی نسبت به سیستم کنترل زمان-بندی ثابت در تقاطع‌ها نقش بسزایی در کاهش جفت متغیرها داشته و این انتخاب بهینه به‌درستی انجامیده است. بنابراین سیستم کنترل‌گر هوشمند فازی به عنوان روشی بهینه برای میزان آلاینده‌ها، و سوخت مصرفی در تقاطع‌ها مؤثر بوده است.

۸- مراجع

تشنه‌لب م، صفاپور ن، افیونی د، "سیستم‌های فازی و کنترل فازی"، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ۱۳۷۸.

شاهی ی، کرمانشاهی ش، "استفاده از منطق فازی در کنترل تقاطع‌های چراغ‌دار"، نشریه دانشگاه فنی، ۱۳۸۶، ۴۳ (۱)، ۷۱-۸۰.

شکوهیان م، شاد ر، قاضی‌نژاد م، "تأثیر تراکم طولی و عرضی در آلودگی ناشی از ترافیک در محیط GIS مطالعه موردی: شهر مشهد"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۳۹۳، ۴۴ (۲)، ۶۹-۷۹.

محمدی ن، ظروفچی‌بنیس خ، شاکرخطیبی م، فاتحی‌فر ا، بهروز سرند ع، محمودیان ا، شیخ‌الاسلامی ف، "پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های گازی در هوای شهر تبریز با استفاده از شبکه عصبی"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۱۳۹۵، ۴۶ (۲)، ۸۷-۹۴.

Al-Khateeb G, "Effect of traffic movement and volume on air pollution in irbid city", Master thesis, Civil Engineering Department, Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan, 1993.

Barth M, Boriboonsomsin K, "Real-world carbon dioxide impacts of traffic congestion", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2008, 2058 (1), 163-171.

Ciyun L, Bowen G, Xin Q, "Low Emissions and Delay Optimization for an Isolated Signalized Intersection Based onVehicular Trajectories", PloS one, 2015, 10 (12), 146-158.

Coelho MC, Farias TL, Rouphail NM, "Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2005, 10 (4), 323-340.

García Castro A, Monzón de Cáceres A, "Measuring the effects of traffic congestion on fuel consumption", 2014.

Ghanim MS, Abu-Lebdeh G, "Improving signalised intersections performance for better built environment", International Journal of Sustainable Society, 2016, 8 (2), 145-152.

Hallmark SL, "Assessing impacts of improved signal timing as a transportation control measure using an activity-specific modeling approach", Transportation Research Record, 2000, 1738 (1), 49-55.

Haregewoin Y, "Impact of Vehicle Traffic Congestion in Addis Ababa (A Case study of Kolfe sub-city: Total - Ayer Tena Road)", MSc Thesis, Ethiopian Civil Service College, 2010.

Jyh-Shing Roger J, Chuen-Tsai S, Eiji M, "Neuro-fuzzy and soft computing a computational approach to learning and machine intelligence", Matlab Curriculum Series, 1987.

Kermanian D, Zare A, Balochian S, "Coordinated signal control for arterial intersections using fuzzy logic", Central European Journal of Engineering, 2013, 3 (3), 436-445.

Khaki AM, Pour PJH, "The impacts of traffic signal timings optimization on reducing vehicle emissions and fuel consumption by Aimsun and Synchro software's (Case study: Tehran intersections)", International Journal of Civil and Structural Engineering, 2014, 5 (2), 144.

Kreinovich V, Quintana C, Reznik L, "Gaussian membership functions are most adequate in representing uncertainty in measurements", In Proceedings of NAFIPS, 1992, 92, 15-17.

Kwak J, Park B, Lee J, " Evaluating the impacts of urban corridor traffic signal optimization on vehicle emissions and fuel consumption", Transportation Planning and Technology, 2012, 35 (2), 145-160.

Leung DYC, Williams DJ, "Modelling of Motor Vehicle Fuel Consumption and Emissions Using a Power-Based Model", Environmental Monitoring and Assessment, 2000, 65 (1), 21-29.

Li C, Shimamoto S, "An Open Traffic Light Control Model for Reducing Vehicles'$\hbox {CO}_{2} $ Emissions Based on ETC Vehicles", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012, 61 (1), 97-110.

Li M, "Traffic energy and emission reductions at signalized intersections: a study of the benefits of advanced driver information", International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 2009, 7 (1), 49-58.

Maitra B, Sikdar PK, Dhingra SL, "Modeling Congestion on Urban Roads and Assessing Level of Service", Jornal of Transportation Engineering, 1999, 125 (6), 508-514.

Mamdani EH, Assilian S, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic Controller", International Journal of Man-Machine Studies, 1975, 7 (1), 1-13.

Meszaros F, Torok A, "Theoretical investigation of emission and delay based intersection controlling and synchronising in Budapest", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 2014, 42 (1), 37-42.

Nie NH, Bent DH, Hull CH, "SPSS: Statistical package for the social sciences (Vol. 227)", New York, McGraw-Hill, 1975.

Noland RB, "Relationships Between Highway Capacity and Induced Vehicle Travel", Transportation Research part A, 2007, 35 (1) 47-72.

Schrage A, "Traffic Congestion and Accidents", Nr. 419. University of Regensburg Working Papers in Business, Economics and Management Information Systems, Germany, 2006, 1-25.

Shen Y, "An optimization model of signal timing plan and traffic emission at intersection based on Synchro", In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 189 (6).

Shirmohammadi H, Hadadi F, "Application of Fuzzy Logic for Evaluation of Resilient Modulus Performance of Stone Mastic Asphalt", Journal of Theoretical & Applied Information Technology, 2017, 95 (13).

Shirmohammadi H, Hadadi F, "Assessment of Drowsy Drivers by Fuzzy Logic approach based on Multinomial Logistic Regression Analysis", International Journal of Computer Science and Network Security, 2017, 17 (4), 298-305.

Stathopoulos FG, Noland RB, "Induced Travel and Emission from Traffic Improvement Projects Transportation Research Record", Journal of the Transportation Research, 2003, 1842 (1), 57-63.

Tang TQ, Caccetta L, Wu YH, Huang HJ, Yang XB, "A macro model for traffic flow on road networks with varying road conditions", Journal of Advanced Transportation, 2014, 48 (4), 304-17.

Tang TQ, Huang HJ, Wu WX, Wu YH, "Analyzing trip cost with no late arrival under car-following model", Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 2015, 64, 123-129.

The Math Works, Inc. MATLAB. Version 2014a, The Math Works, Inc., 2014. Computer Software.

Trafficware LLC, "Synchro Studio 9 with Warrants and TripGen 2014: Getting Started and What's New in Version 8", Trafficware, LLC., Sugar Land, TX, USA, 2014. [online] Available at: http://online.trafficware.com/downloads/pdfs/GettingStarted.pdf [Accessed: 18 February 2018.

Unal A, Rouphail N, Frey H, "Effect of arterial signalization and level of service on measured vehicle emissions", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2003, 1842, 47-56.

Zadeh LA, "Probability Theory and Fuzzy Logic", Computer Science Division Department of EECS UC Berkeley, 2003.

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 50 (2020), Issue 3 (Autumn), 21-35

EXTENDED ABSTRACTS

Controlling and Optimizing Vehicular Emissions and Fuel Consumption in Urban Intersections by Fuzzy Intelligent Controller

Hamid Shirmohammadi *, Farhad Hadadi

Faculty of Civil Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 23 April 2018; **Accepted:** 28 April 2019

Keywords:
Traffic phenomenon, Urban intersections, Vehicular emissions, Fuel consumption, Fuzzy logic.

1. Introduction

Recently, the traffic phenomena are one of the most serious problems in most cities. It has had negative consequences on air quality and the quality of people's life. With the development of advanced technologies as intelligent control systems, negative consequences have been significantly decreased.

So, the aim of this study is to optimize and reduce vehicular emissions and fuel consumption of urban intersections in Boroujerd city by Fuzzy Logic (FL). For implementing this research, two software were used, including Synchro 8 and Matlab software. The novelty of this research is to design an optimized controller system for urban intersections. Additionally, this paper guides traffic engineers to control the negative effects of traffic congestion over vehicular emissions and fuel consumption in a simple way. The results of comparisons between fuzzy logic and fixed time controllers for vehicular emissions, and fuel consumption are indicated.

2. Methodology

2.1. Experimental study

As traffic congestion is a stochastic phenomenon, its negative impacts on the environment need to be controlled and predicted. From advanced technology and intelligent systems, Fuzzy logic is recommended to play as human behavior in predicting and controlling these effects. Fuzzy logic has many applications in traffic and road maintenance (Shirmohammadi and Hadadi, 2017; Shirmohammadi and Hadadi, 2017). This inference system initiates by applying input variables, an inference engine like Mamdani and Sogno and output variables. Additionally, for obtaining Crisp Value from this system, input and output variables according to fuzzy functions such as Triangular membership function, Trapezoidal membership function, Gaussian membership function, Generalized Bell membership function, and Sigmoid membership function are categorized. But in the present study from the most popular Gaussian membership function is used (Jyh- Shing Roger et al., 1987).

2.2. FL modeling

After using the Gaussian Membership Function for inputs and outputs, fuzzy operators including Union, Intersection, and Complement Operators are used to make fuzzification and defuzzification models in the inference engine based on knowledge-base. Based on this research, input variables are defined as volume, total stop, stop-delay, average queue length. Vehicular emissions such as CO, HC, NOx, and fuel consumption are applied to examine and optimize the effects of traffic phenomenon on these emissions and fuel consumption.

* Corresponding Author
E-mail addresses: h.shirmohammadi@urmia.ac.ir (Hamid Shirmohammadi), farhad.hadadi1370@gmail.com (Farhad Hadadi).

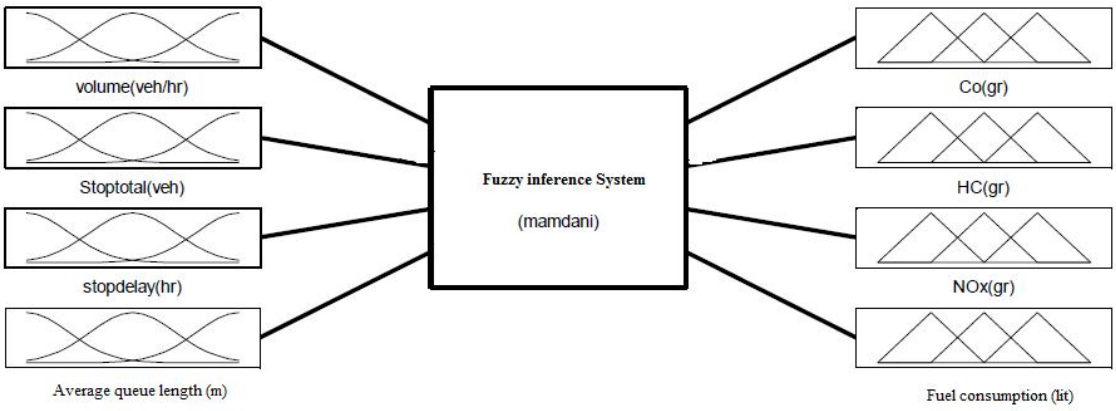


Fig. 1. Fuzzy controller system of urban intersections

3. Results and discussion

As mentioned in the paper, Fuzzy logic operated as an intelligent controlling system at urban intersections. After simulation it in Matlab software, results were obtained and categorized in Figures 2a, 2b, 2c, 2d. From these figures, and by comparing vehicular emissions and fuel consumption between fixed time with fuzzy logic controller, emissions HC, CO, Nox, and fuel consumption were reduced by 22.4%, 18.6%, 17% and 26.2%, respectively. From these, it can be inferred that fuzzy logic controller has shown lower vehicular emissions and fuel consumption than fixed time controller in Synchro 8. Also, Table 1 illustrates that the fuzzy controller has average prediction under 50% in which shows that it has acceptable accuracy. Then, in order to prove the accuracy of this intelligent controller system in comparison with the fixed-time control. The paired Skewness test, Correlation Test, T-test, and Kolmogorov-Smirnov Z test were used, and results showed that this intelligent system has a positive role in reducing vehicular emissions, fuel consumption in urban intersections.

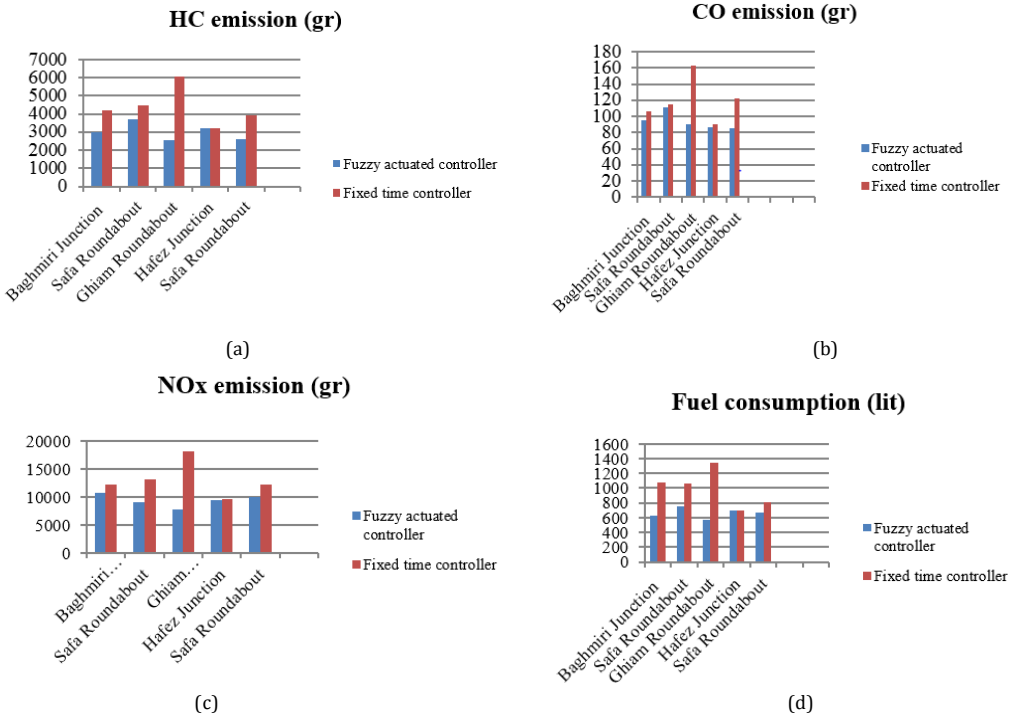


Fig. 2. Comparison of vehicular emissions and fuel consumption by the fuzzy logic controller: a) Comparison of HC emission between two proposed controllers, b) Comparison of CO emission between two proposed controllers, c) Comparison of NOx emission between two proposed controllers, d) Comparison of Fuel consumption between two proposed controllers

Table 1. Average Prediction error (%) by the fuzzy logic controller

Urban Intersections	Fuel consumption	NOx emission	HC emission	CO emission
Shohada Roundabout	18	17	33	3
Hafez Junction	0.3	1.3	0.47	4.4
Ghiam Roundabout	57	57	57	45
Safa Roundabout	29	31	17	3
Baghmiri Junction	42	12	29	11
Average Prediction error (%)	30.66%	23.66%	38.70%	13.28%

4. Conclusions

By using fuzzy logic, results showed that emissions HC, CO, NOx, and fuel consumption were reduced by 22.4%, 18.6%, 17%, and 26.2%, respectively. This study was emphasized on the positive role of fuzzy intelligent systems in controlling these parameters. These results show that using the fuzzy actuated controller system has a positive role in reducing and optimizing vehicular emissions and fuel consumptions. In addition, for approving the results, the skewness test, the pair T-test, and the Kolmogorov-Smirnov Z test indicated the accuracy of this system in controlling vehicular emissions and fuel consumption in urban intersections in comparison with fixed-time controller.

5. References

Jyh-Shing Roger J, Chuen-Tsai S, Eiji M, Book, "Neuro-fuzzy and soft computing a computational approach to learning and machine intelligence", Matlab Curriculum Series, 1987.

Shirmohammadi H, Hadadi F, "Application of Fuzzy Logic for Evaluation of Resilient Modulus Performance of Stone Mastic Asphalt", Journal of Theoretical & Applied Information Technology. 2017, 95 (13).

Shirmohammadi H, Hadadi F, "Assessment of Drowsy Drivers by Fuzzy Logic approach based on Multinomial Logistic Regression Analysis", International Journal of Computer Science and Network Security, 2017, 17 (4), 298-305.