

توسعه و ارزیابی نمودارهای کنترل آماری برای پایش وضعیت ترافیک (ارائه یک الگوریتم فراابتکاری خوشه‌بندی جدید)

مقاله علمی - پژوهشی

سید محمدمهدی بنی‌حسینی، دانشجوی دکترا، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
وحید برادران*، دانشیار، گروه فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
محمدهادی درودیان، دانش‌آموخته دکترا، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: v_baradaran@iaiu-tnb.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵

صفحه ۱۹۲-۱۷۱

چکیده

پایش و تعیین لحظه‌ای وضعیت ترافیک در بزرگراه‌های شهری و برون‌شهری نقش مؤثری در افزایش بهره‌وری منابع و زیرساخت‌ها و همچنین افزایش رضایت ذینفعان سیستم‌های حمل‌ونقل دارد. تجزیه و تحلیل متغیرهای تصادفی ترافیکی مانند تردد و سرعت به تشخیص و پیش‌بینی وضعیت‌های غیرعادی ترافیک در یک مسیر با کمترین استفاده از منابع انسانی که عموماً نشان از وجود بحران‌های ترافیکی دارند، کمک می‌کند. در این مقاله، نمودارهای کنترل آماری تک و چندمتغیره برای پایش متغیرهای ترافیکی و شتاب‌سنجی وضعیت‌های غیرعادی پیشنهاد شده است. جهت ارتقا، عملکرد نمودارهای کنترل، الگوریتمی فراابتکاری مبتنی بر روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای خوشه‌بندی بازه‌های زمانی ترافیک بر پایه‌ی داده‌های متغیرهای ترافیکی در یکی از معابر برون‌شهری تهران ارائه شده است. به ازای هر خوشه، نمودارهای کنترل مختلف توسعه داده شده و عملکرد آنها در هر خوشه ارزیابی شده است. استخراج قواعد تشخیص وضعیت‌های غیرعادی و اجرای نمودارهای کنترلی نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی دقت قابل قبولی برای تعیین وضعیت ترافیک در یک مسیر دارد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی ازدحام ذرات، خوشه‌بندی، کنترل ترافیک هوشمند، نمودار کنترلی شوهارت، وضعیت ترافیک

۱-مقدمه

مؤثر با حداقل ترافیک است (Farrel, 2021). برنامه‌ریزان و پلیس‌های راهنمایی‌وراندگی شهری به طور مداوم، جریان‌های ترافیکی در یک مسیر را نظارت می‌کنند تا عواملی را که موجب اختلال در سفر در هر مسیر می‌شود، شناسایی کنند تا بتوانند با انجام اقدامات و تدابیر ویژه و به موقع، عامل مزاحم را از بین ببرند (Carey, Ge, 2003). این نوع نظارت و کنترل به سه شیوه امکان‌پذیر است: (۱) حضور عوامل اجرایی در خیابان‌ها و نظارت مستقیم بر آمدو شد و کمک به رفع موانع؛ (۲) استفاده از تصاویر دوربین‌های ترافیکی در مراکز کنترل و پایش وضعیت ترافیک و شناسایی وضعیت‌های غیرعادی به کمک تحلیل

ترافیک شهری یکی از چالش‌های پراهمیت در عصر کنونی به شمار می‌رود که وقت قابل توجهی از افراد جامعه را به خصوص در شهرهای پرجمعیت و صنعتی به خود اختصاص می‌دهد که این زمان توأمان با صرف هزینه و مشکلات محیط زیستی است (Arbués, Baños, 2015; Akhavan, Darabi, Baradaran, 2023). اتلاف زمان و سرمایه، افزایش مصرف انرژی، افزایش استهلاک وسایل نقلیه و همچنین افزایش آلودگی‌ها از پیامدهای بارز ترافیک است. مهندسی ترافیک، دانش اندازه‌گیری و نظارت بر ترافیک است که هدف آن درک و توسعه یک شبکه جاده‌ای مطلوب با حرکت ترافیکی

طول مسیر در لحظه؛ تردد یا جریان (Q) تعداد وسایل نقلیه عبوری از یک نقطه مسیر در بازه زمانی مشخص (مثلاً یک ساعت) تعریف می‌شود. سرعت (V) مهم‌ترین متغیر ترافیکی در مهندسی ترافیک است که تعاریف مختلفی مانند میانگین زمانی سرعت، میانگین مکانی سرعت و ... دارد. شناسایی وضعیت ترافیکی بر اساس داده‌های متغیرهای ترافیکی در نوع سوم کنترل نیاز به ابزارهای تحلیلی و تکنیک‌های داده‌کاوی مناسب دارد تا جایگزین مناسبی برای اپراتورهای انسانی باشد. در این روش‌ها، مدل‌های تشخیصی مناسبی طراحی و بر اساس داده‌های گذشته آموزش داده می‌شوند تا از آنها برای تشخیص وضعیت‌های ترافیکی و پیش‌بینی آینده وضعیت‌ها استفاده شود. بنابراین، توسعه مدل‌هایی با دقت مطلوب برای تشخیص وضعیت ترافیک در یک مسیر بر اساس داده‌های متغیرهای ترافیکی از چالش‌های رویکرد سوم کنترلی است که در این مقاله به آن پرداخته شده است. نمودارهای کنترل از جمله ابزارهای آماری برای تشخیص وضعیت‌های غیر تصادفی از تصادفی یک یا چند متغیر تصادفی است. از این ابزار عموماً برای کنترل کیفیت یک فرایند استفاده می‌شود. عملکرد کیفی یک فرایند در خروجی‌ها و مقدار متغیرهای کیفی محصولات نمایان می‌شود. برای کنترل کیفی یک فرایند در بازه‌های زمانی مختلف نمونه‌های تصادفی از خروجی‌ها اخذ و مقدار مشخصه‌های کیفی آن اندازه‌گیری می‌شود. با قراردادن آماره‌هایی از نمونه‌های تصادفی مانند میانگین در یک نمودار سری زمانی و تحلیل روند تغییرات نقاط روی نمودار به حالت‌های غیرعادی فرایند پی می‌برند. اگر آمدوشد در یک خیابان را یک فرایند در نظر بگیریم که حالت‌های غیرعادی آن شامل تصادفات، گره‌های ترافیکی و ... باشد، عملکرد چنین فرایندی در متغیرهای تصادفی مانند تردد، چگالی و یا سرعت نمود پیدا می‌کند. به طور مشابه با موضوع کنترل کیفیت، با پایش مستمر مقدار متغیرهای ترافیکی و انتخاب آماره‌هایی از آنها برای نمایش در نمودارهای کنترل می‌توان وضعیت‌های غیرعادی فرایند آمدوشد را از وضعیت‌های عادی آن تشخیص داد. لذا نمودارهای کنترل، ابزار آماری مناسبی برای استفاده در نوع سوم کنترل ترافیک محسوب می‌شوند که با به‌کارگیری آنها می‌توان علاوه بر افزایش دقت تشخیص و حتی پیش‌بینی وضعیت‌ها، از هزینه‌های کنترلی در مراکز کنترل ترافیک کاست. هدف اصلی این مقاله توسعه ابزاری با دقت مناسب برای پایش

تصاویر دریافتی از دوربین‌ها؛ (۳) توسعه سیستم‌های هوشمند پایش و نظارت ترافیک برای تحلیل متغیرهای ترافیکی باهدف کشف اختلالات و اطلاع‌رسانی برخط به عوامل اجرایی (برنامه‌ریزان یا پلیس). اطلاع به‌موقع از اختلالات ترافیکی به عوامل اجرایی در کلان‌شهرها برای حضور در محل اختلال و تلاش برای رفع آنها و همچنین نمایش وضعیت‌های ترافیک (مانند وضعیت روان، شلوغ و ...) در نمایشگرها برای اطلاع رانندگان و مدیریت ترافیک از کاربردها و نتایج پایش ترافیک است. در بیشتر شهرهای کوچک به دلیل تعداد کم خیابان‌های اصلی از حضور نیروهای نظارتی در مسیرهای اصلی (کنترل نوع ۱) استفاده می‌شود (Jiang et al., 2017). کنترل همه بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی در بسیاری از کلان‌شهرها به روش نظارت مستقیم به دلیل محدودیت منابع، ممکن نیست و یا امری دشوار است. راه‌حل مقابله با این چالش، توسعه سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل برای نظارت بر آمدوشدها و شناسایی وضعیت‌های بحرانی و تأثیرگذار بر جریان ترافیک در هر مسیر است. در حال حاضر در اکثر کلان‌شهرها مانند شهر تهران با ایجاد مراکز کنترل ترافیک از رویکرد نوع دوم برای پایش وضعیت ترافیک استفاده می‌کنند (Lim, Kim and Lee, 2016). در این مراکز با استفاده از دوربین‌های مستقر در سطح شهرها و خیابان‌ها اقدام به پایش برخط مسیرها شده و بر اساس داده‌های اطلاعات جغرافیایی از خودروهای در حال گذر تصمیم‌گیری در رابطه با ترافیک و شدت آن انجام می‌شود. کارایی روش‌های نظارت نوع دوم با افزایش سیگنال‌های دریافتی کاهش می‌یابد. بازرسی چشمی تصاویر دریافتی از دوربین‌های ترافیکی و تفسیر تصاویر به‌منظور کشف اختلالات در کلان‌شهرها دشوار است. این در حالی است که استفاده از رویکرد سوم، نسبت به سایر روش‌ها کاراتر است. در این رویکرد به کمک تجهیزات سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل، داده‌های متغیرهای ترافیکی از سطح مسیر به‌صورت برخط و لحظه‌ای جمع‌آوری و پس از تحلیل آنها از وضعیت ترافیک در مسیر مطلع می‌شوند. علم مهندسی ترافیک شامل مجموعه ابزارهای تجزیه و تحلیل متغیرهای ترافیک است که از آنها برای تعیین وضعیت ترافیکی مسیرهای استفاده می‌شود. مهم‌ترین متغیرهای ترافیکی که در این علم از آنها استفاده می‌شود، عبارتند از: تراکم یا چگالی (D) عبارت است از تعداد وسایل نقلیه در حال حرکت در واحد

کنترلی تک و متغیرهای برای پایش متغیرهای ترافیکی در هر خوشه توسعه داده شده و عملکرد آنها ارزیابی شده است. در این مقاله در مرحله اول موضوع مدیریت ترافیک، نمودار کنترل پرداخته می‌شود. سپس الگوریتم پیشنهادی تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و بعد از بررسی و آمار توصیفی بر روی داده‌های جمع‌آوری شده اقدام به پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم پیشنهادی تلفیقی بر روی داده‌های تجمیع شده می‌شود. در آخر نتایج مورد ارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲-پیشینه پژوهش

در حال حاضر ۵۵ درصد از مردم جهان در شهرها زندگی می‌کنند و تخمین زده می‌شود که این نسبت تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۱۳ درصد افزایش یابد (World Population, 2019 Prospects). این امر منجر به افزایش مشکلات در سیستم‌های حمل‌ونقل از جمله موارد مربوط به کنترل ازدحام شده است که تأثیر مستقیمی بر شهروندان از نظر آلودگی زیست‌محیطی، تصادفات و نقض مقررات راهنمایی‌وراندگی، ترافیک و افزایش زمان سفر دارد (Xu et al., 2020; Baradaran, Maddahi, 2022). علی‌رغم اقدامات متعددی که برای کاهش پیامدهای جدی رشد وسایل نقلیه انجام شده است، این مشکل همچنان وجود دارد و سرعت شهرنشینی را به‌ویژه در برخی شهرها با مشکل مواجه می‌کند (Xu et al., 2020). وزارت حمل‌ونقل ایالات متحده تراکم ترافیک را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدها برای موفقیت اقتصادی تعریف می‌کند (Joshi et al., 2016). هر سال، هزینه‌های ترافیک در ایالات متحده حدود ۱۲۰۰ دلار است (Chong, Ng, 2016; Ata et al., 2022). رشد سریعی در تعداد خودروها و موتورسیکلت‌ها وجود دارد که باعث افزایش ازدحام، آلودگی هوا، تصادفات رانندگی و افزایش فشار برای گسترش سیستم جاده‌ای با استفاده از منابع عمومی که کمیاب هستند، می‌شوند (Estupinan et al., 2018).

باتوجه به شاخص ترافیک تامتوم ۲۰۲۱، استانبول، مسکو و کیو به‌عنوان شهرهایی با بیشترین ترافیک وسایل نقلیه طبقه‌بندی می‌شوند که با سطح ازدحام بیش از ۵۰٪ در هر سفر است (TomTom, 2021). دهه گذشته، استراتژی‌ها و روش‌های مختلفی برای رسیدگی به مشکلات مربوط به پیش‌بینی جریان

متغیرهای ترافیکی و تعیین وضعیت ترافیک بر پایه نمودارهای کنترل برای استفاده در نوع سوم کنترل ترافیک در شهرها است. از آنجاکه نمودارهای کنترل انواع مختلفی دارند و هر یک از آنها برای کاربردهای مشخصی توسعه یافته‌اند؛ ارزیابی عملکرد نمودارهای کنترل و انتخاب نمودار کنترل مناسب برای تحلیل داده‌های ترافیکی از دیگر اهداف این مقاله است. در این مقاله، متغیرهای ترافیکی یکی از مسیرهای پرتردد شهر تهران در یک بازه زمانی مشخص اندازه‌گیری و برای طراحی نمودارهای کنترل مختلف استفاده شده است. برخلاف فرایندهای تولیدی که عموماً مقدار متغیرهای عملکردی آنها به دلیل تکرارپذیری در شرایط ثابت مقادیری در محدوده‌های معین دارند، انتظار نمی‌رود که میانگین متغیرهای ترافیکی یک مسیر در طول شبانه‌روز مقادیر معینی داشته باشند. این انتظار در تحلیل نتایج داده‌های ترافیکی جمع‌آوری شده نشان داده شده است. اثر ثابت نبودن میانگین متغیرهای ترافیکی در طول شبانه‌روزی منجر به ناکارایی نمودارهای کنترل که برای پایش در شرایط ثابت طراحی شده‌اند، خواهد شد. در این مقاله برای برخورد با این چالش، خوشه‌بندی داده‌های ترافیکی پیشنهاد شده است. به کمک روش‌های خوشه‌بندی (از جمله روش‌های داده‌کاوی)، شبانه‌روز به بازه‌های زمانی با میانگین متغیرهای ترافیکی مشابه تقسیم شده است. سپس برای هر خوشه نمودار کنترلی مناسب طراحی و عملکرد آنها در هر خوشه ارزیابی شده است.

علاوه بر توسعه و استفاده از نمودارهای کنترل برای پایش وضعیت ترافیک در یک مسیر و ارزیابی عملکرد نمودارهای کنترل تک و چندمتغیره برای تشخیص وضعیت‌های غیرعادی ترافیکی در یک مسیر، از نوآوری‌های دیگر این مقاله، توسعه الگوریتمی ابتکاری مبتنی بر روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای خوشه‌بندی زمان‌های مختلف یک شبانه‌روز است. روش فراابتکاری تکاملی مبتنی بر جمعیت و حافظه‌دار بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده شده است که هدف آن تعیین طبقات و تخصیص ساعات ترافیکی از شبانه‌روز به هر طبقه بادقت بالا است برای قابلیت اجرایی رویکردهای پیشنهادشده، داده‌های ترددشمار و سرعت‌سنج نصب‌شده در یکی از مقاطع بزرگراه تهران-کرج جمع‌آوری شده است. متغیرهای ترافیکی مسیر در بازه‌های زمانی یک ربع محاسبه شده و از آنها در روش خوشه‌بندی توسعه داده شده استفاده شده است. نمودارهای

KNN در یک چارچوب محاسباتی موازی موجود پیشنهاد شده است (Cheng et al., 2018). لوین و پرس (۲۰۱۷) یک مدل KNN تطبیقی را پیشنهاد می‌کنند که بر روی دو مجموعه داده‌های سرعت خودرو جمع‌آوری شده در بزرگراه‌های کالیفرنیا، ایالات متحده، و در جاده‌های شهری در پکن، چین، ارزیابی شده است. نتایج ثابت می‌کند که در مقایسه با سایر تکنیک‌ها کارآمدتر است، با مقادیر MAPE کمتر از ۱۳٫۵ درصد، RMSE کمتر از ۱۲ درصد و MAE کمتر از ۹ درصد سطح دقت پیش‌بینی باتوجه به سطح مقیاس فضایی متفاوت است (Peres, 2017 Levin). کانگ و همکاران (۲۰۱۷) با در نظر گرفتن همبستگی مکانی-زمانی موجود در شبکه ترافیک، یک مدل KNN بهبودیافته را پیشنهاد می‌کنند که از یک اندازه‌گیری فاصله پویا جدید استفاده می‌کند که از ویژگی‌های فیزیکی و داده‌ای برای جایگزینی فاصله فیزیکی استفاده می‌کند و نمایش‌هایی را در حالت ایجاد می‌کند. ماتریس‌هایی برای مدل‌سازی وضعیت ترافیک طرح پیشنهادی بر روی مجموعه داده‌های ترافیکی منطقه لیولیکیانو، در پکن، ارزیابی شده و با تکنیک‌های پارامتریک و سایر الگوریتم‌های هوشمند مقایسه می‌شود. مدل پیشنهادی دقت بیشتری را با MAPE مقادیر ۲٫۹۶ درصد بالاتر از مدل اصلی KNN نشان می‌دهد. بنابراین، بهترین نتیجه از الگوریتم پیشنهادی RMSE ۰٫۵۰ درصد و MAPE ۶٫۹۹ درصد به دست می‌آید اگرچه تحقیق پیشنهادی همبستگی مکانی - زمانی را در مطالعه وضعیت ترافیک در نظر می‌گیرد (Kang et al., 2017). تانگ و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی نشان دادند که عوامل خارجی باعث تداخل در داده‌های جریان ترافیک خام می‌شوند و نویزهایی را معرفی می‌کنند که می‌تواند باعث کاهش عملکرد پیش‌بینی شود؛ بنابراین، نویسندگان یک روش پیش‌بینی را پیشنهاد می‌کنند که SVM و طرح‌های حذف نویز را برای بهبود دقت ترکیب می‌کند نویسندگان مدل را با الگوریتم‌های حذف نویز مختلف از جمله میانگین متحرک، فیلتر باترورث، تجزیه حالت تجربی، و موجک، بر روی اطلاعات حجم ترافیک جمع‌آوری شده از سه آشکارساز حلقه بزرگراه در شهر مینیاپولیس ارزیابی کردند. آزمایش نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی بهترین نتایج دقیق را باتوجه به روش‌های دیگر، از طریق معیارهای MAE، RMSE و MAPE به ترتیب ۲٫۵۹، ۳٫۳۴ و ۱۵٫۲۸ برای مقیاس زمانی ۲ دقیقه و به ترتیب ۸٫۰۳، ۱۰٫۶۳ و ۶٫۲۶ ارائه می‌کند. مقیاس زمانی ۱۰

ترافیک پیشنهاد شده است. روش‌های آماری، در مقایسه با سایر روش‌های فعلی، دقت کمتری را نشان داده‌اند (Sun et al., 2020). و اگرچه این تکنیک‌ها می‌توانند ویژگی‌های زمانی را از سری‌های زمانی استخراج کنند، اما مشکلاتی را در نمایش روابط مکانی در وظایف پیش‌بینی جریان ترافیک ارائه می‌کنند (Xie et al., 2020). چندین نویسنده ترکیبی از این روش‌ها را با مدل‌های هوش مصنوعی برای حل مشکلات فوق پیشنهاد کرده‌اند. هو و همکاران (۲۰۱۹) در مبحث عدم قطعیت جریان ترافیک، ناشی از تغییر پویا در ساختار ترافیک، گزارش می‌دهد که پیش‌بینی محدودیت‌ها را می‌توان تا حدی با استفاده از مدل‌های ترکیبی برطرف کرد و از این رو آنها یک مدل ترکیبی تطبیقی را برای پیش‌بینی پیشنهاد می‌کنند. روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشینی می‌توانند بادقت بیشتری جریان ترافیک را پیش‌بینی کنند و همچنین نیروی کار و منابع مادی صرفه‌جویی کنند (Hou et al., 2019). تحقیقات مختلف از یادگیری ماشین در پیش‌بینی داده‌های ترافیک شهری، به دلیل رفتار غیرخطی و تصادفی آن، برای استخراج الگوها و ایجاد مدل‌های پیش‌بینی استفاده می‌کنند (Fouladgar et al., 2017). به این ترتیب، آتا و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل یادگیری ماشینی را پیشنهاد کرده‌اند که از ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) برای تجزیه و تحلیل داده‌های چندین حسگر، به منظور پیش‌بینی تراکم ترافیک استفاده می‌کند، اطلاعات الگوریتم برای تجزیه و تحلیل تراکم ترافیک پیشنهادی، در طول آموزش، سطوح حساسیت، ویژگی، دقت و شکست را به ترتیب ۹۸٫۷، ۹۹٫۵، ۹۸ و ۱٫۳ درصد برای اعتبارسنجی، مقادیر ۹۷٫۵۶، ۹۸٫۳۷، ۹۷٫۹ و ۲٫۱ درصد را نشان داد. با این حال، اثربخشی الگوریتم را می‌توان تحت تأثیر تأخیر در داده‌های گرفته شده از فرایندهای قبلی قرارداد. همچنین، کسب دائمی اطلاعات به مدل می‌تواند بر پیچیدگی داده‌ها تأثیر بگذارد (Ata et al., 2020). چنگ و همکاران (۲۰۱۸) ویژگی‌های فضایی شبکه جاده‌ها را تابعی از گره‌های همسایه فضایی تطبیقی، فواصل زمانی و مقادیر هم ارزی فضا-زمان در نظر می‌گیرند. با معرفی روش‌های خوشه‌بندی به دوره‌های زمانی مناسب و گرفتن وابستگی‌های زمانی غیرثابت، مدل پیشنهادی می‌تواند دقت آن را بهبود بخشد، به همین ترتیب، الگوریتم پیشنهادی رفتارهای کمی متفاوت را در تمام بازه‌های زمانی معتبر نشان می‌دهد. با این حال، برای کاهش هزینه محاسباتی برای اجرای آنلاین، یک الگوریتم تطبیقی موازی

از جمله متغیرهای کیفیت خدمات. علاوه بر این، شاخص ترکیبی پیشنهادی می‌تواند به طور سیستماتیک منبع اصلی خطاهای پیش‌بینی را با کمی‌کردن کل مقادیر خطای پیش‌بینی و یک جزء خطای احتمالی ارزیابی و اولویت‌بندی کند. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای مدل‌های انتخاب حالت مطمئن‌تر و دقیق‌تر و در نهایت افزایش پیش‌بینی سفر حمل‌ونقل باشد (Casello, Jung, 2019). در مطالعه جیانگ و همکاران (۲۰۱۹) ازدحام ترافیک یک پدیده رایج در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای، به‌ویژه در ساعات اوج مصرف است. پیش‌بینی دقیق‌تر ترافیک دینامیک برای کنترل و مدیریت ترافیک بسیار مهم است. با این حال، اختلالات ناشی از ماتریس مقصد مبدأ متغیر با زمان، انتخاب مسیر پویا، و اختلالات، مدل‌سازی مسیرهای ترافیکی را دشوار می‌سازد؛ RLWR-RSM یک مدل ترکیبی را برای مدل‌سازی انتشار تراکم و بازیابی تراکم در کل شبکه حمل‌ونقل پیشنهاد کردند. تحلیل‌های نظری نشان داد که این مدل مزایای مدل‌های جریان ترافیک ماکروسکوپی را به ارث می‌برد و ویژگی‌های مدل‌های پیوسته مرتبه پایین و بالا را یکپارچه می‌کند و اختلالات متعدد را در نظر می‌گیرد. علاوه بر این، RLWR-RSM می‌تواند چندین پدیده ترافیکی متمایز را توضیح دهد. در نهایت، زمان تخمینی سفر می‌تواند پشتیبانی تصمیم برای جهت‌یابی وسیله نقلیه را فراهم کند (Jiang et al., 2019). صادقیان و قره داغی (۱۴۰۰) در تحقیقی در زمینه‌ی مساله‌ی مکان‌یابی هاب چندهدفه با ساختار سلسله‌مراتبی، تخصیص تکی و ظرفیت دار با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط مدل‌سازی شده است. در این تحقیق از دو روش فراابتکاری به نام‌های ژنتیک نامغلوب چندهدفه (نسخه دوم) و بهینه‌ساز شیرمورچه‌ی چندهدفه استفاده شده است. نتایج نشان داد الگوریتم شیرمورچه‌ی چندهدفه جواب‌هایی با پراکندگی بیشتر نسبت به الگوریتم ژنتیک نامغلوب تولید کرده و در مقابل الگوریتم ژنتیک نامغلوب سرعت حل بالاتری نسبت به الگوریتم بهینه‌ساز شیرمورچه داشته است (Sadeghian, Ghareh, 2021). در تحقیقی که توسط محمدی و معیری (۱۴۰۱) انجام شد، یک روش کارآمد ردیابی جهت تعیین تراکم ترافیک برای سامانه‌های ترابری هوشمند پیشنهاد شده است. در این روش، در مرحله تشخیص، به‌جای تشخیص فیزیکی خودرو از روش تشخیص نقاط ویژگی استفاده می‌شود. علاوه بر این، برای گروه‌بندی نقاط ویژگی مربوط به یک خودرو

دقیقه‌ای نتایج عملکرد بهتری را در مدل همراه با الگوریتم نوین زدایی نشان می‌دهد و نشانه‌هایی برای انتخاب مناسب مدل حذف نوین ارائه می‌دهد (Tang et al., 2019). ژانگ و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل‌های مبتنی بر همبستگی مکانی - زمانی در شبکه‌های جاده‌ای شهری به دلیل رابطه خطی همبستگی بین دو متغیر مناسب نیستند در این تحقیق یک رویکرد سلسله‌مراتبی بیزی را برای مدل‌سازی رفتار انتخاب مقصد از طریق زمان و مکان پیشنهاد می‌کند. رویکرد پیشنهادی قادر به گرفتن تنوع مکانی-زمانی در توزیع مقصد است و به اثرات تصادفی مکانی و زمانی کمک زیادی در به بهبود عملکرد مدل می‌کند (Zhang et al., 2018). آربوس و همکاران (۲۰۱۵) رویکرد نوآورانه برای تجزیه و تحلیل ترافیک حمل‌ونقل وسایل نقلیه جاده‌ای ارائه دادند که از مشخصات داده پویا مشتق شده از یک مدل گرانشی استفاده می‌کند. این رویکرد پویا که اخیراً در مدل‌های تجارت کالاهای بین‌المللی به‌جای مشخصات ثابت سنتی به کار گرفته شده است، در اسپانیا با استفاده از داده‌های مربوط به ۱۵ منطقه کشور بین سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ استفاده شد. با استفاده از روش کلی سیستم با رویکرد لحظه‌ای، ما شواهدی به‌دست‌آمده که نشان می‌دهد جریان وسایل نقلیه که کالاها را از طریق جاده حمل می‌کنند، هنگام کنترل ناهمگنی مشاهده نشده، اثر پایداری قوی دارد. همچنین مشخص شد که کیفیت زیرساخت‌های حمل‌ونقل جاده‌ای تأثیر قابل‌توجهی بر سفرهای وسایل نقلیه دارد (Arbués, Baños, 2015). هینز (۲۰۱۸) در تحقیق خود یک الگوریتم خوشه‌بندی رادیویی جدید را پیشنهاد کرده که هم تقاضای ترافیک و هم موقعیت ایستگاه‌ها را با استفاده از فاصله هندلولی در سه‌بعدی در نظر می‌گیرد. یک الگوریتم خوشه‌بندی K-means اصلاح شده به نام Hyperbolic K-means معرفی کرده که نشان می‌دهیم که این خوشه‌های RU از لحاظ جغرافیایی فشرده با هزینه ترافیک به طور مساوی بین آنها تقسیم شده (Heyns, 2018). جونگ و کازلو (۲۰۱۹) با استفاده از داده‌های AVL/APC، روشی برای شناسایی و ارزیابی مؤثر منبع خطاهای پیش‌بینی سواری ترانزیت پیشنهاد شده است. مدل‌های رگرسیون چندجمله‌ای توسعه‌یافته در این تحقیق معادلاتی را برای خطاهای پیش‌بینی انتخاب حالت به‌عنوان تابعی از: متغیرهای تقسیم‌بندی بازار قابل‌اندازه‌گیری اما حذف شده در توابع ابزار انتخاب حالت فعلی تولید می‌کنند و ویژگی‌های قابل‌کمیت جدید با منابع داده یا تکنیک‌های جدید

خوشه‌بندی داده‌های ترافیکی و تعیین وضعیت ترافیک بر اساس خوشه ساعات موردنظر پرداخته شده است. همچنین از نمودارهای کنترلی مختص هر خوشه برای پایش داده‌های مربوط به متغیرهای اصلی ترافیکی یعنی تردد و سرعت بعد از طبقه‌بندی داده‌ها استفاده می‌شود که این امر در نوبه خود گامی باارزش در راستای استفاده حداکثری از داده‌های گذشته ترافیکی برای استفاده در تصمیم‌سازی در آینده است.

۳- روش تحقیق

روش تحقیق این مقاله از چهار بخش تشکیل شده است. (۱) آماده‌سازی شامل جمع‌آوری داده‌های ترددشمار و محاسبه متغیرهای ترافیکی و تحلیل توصیفی متغیرها به منظور تعیین وضعیت‌های مختلف ترافیک (۲) الگوریتم توسعه‌یافته بر پایه الگوریتم PSO جهت خوشه‌بندی داده‌ها (ساعات مختلف شبانه‌روز) (۳) طراحی نمودارهای کنترل تک و چندمتغیره برای پایش متغیرهای ترافیکی و تعیین وضعیت ترافیک در هر خوشه (۴) اجرای الگوریتم پژوهش و تعیین وضعیت ترافیکی و کنترل داده‌های ترافیکی مختص به هر گروه.

گام ۱: ترددشمارها و سرعت‌سنج‌ها از فناوری‌های نوظهور در سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل محسوب می‌شوند. با نصب این تجهیزات در خیابان‌ها و شریان‌های حیاتی شهر، می‌توان به‌ازای هر عبور از یک نقطه مسیر، لحظه عبور و سرعت لحظه‌ای وسیله نقلیه را اندازه‌گیری کرد. این مقادیر عموماً در پایگاه‌های داده‌ای ثبت و برای محاسبه و تحلیل متغیرها ترافیکی استفاده می‌شوند. بر اساس داده‌های ترددشمار و سرعت‌سنج‌ها می‌توان متغیر تردد یا جریان در یک ربع ساعت را که شامل تعداد عبور در یک ساعت (N_{ij}) بر تعداد بازه‌های مساوی (در این مقاله، هر ساعت به چهار بازه تقسیم شده است) از زمان است محاسبه کرد. چنانچه تردد در ربع i ام از روز j ام با Q_{ij} نشان داده شود به طوری که $J=1,2,\dots, 96$ و $I=1,\dots,n$ (n تعداد روزهای مورد مطالعه) باشد. متوسط سرعت وسایل نقلیه عبوری در یک بازه، میانگین مکانی سرعت (SMS) Space Mean Speed در نظر گرفته شده است. اگر متوسط مکانی سرعت با V_{ij} نشان داده شود، n تعداد وسایل نقلیه، d طول مسیر (km) و t_i زمان سفر i امین وسیله نقلیه است.

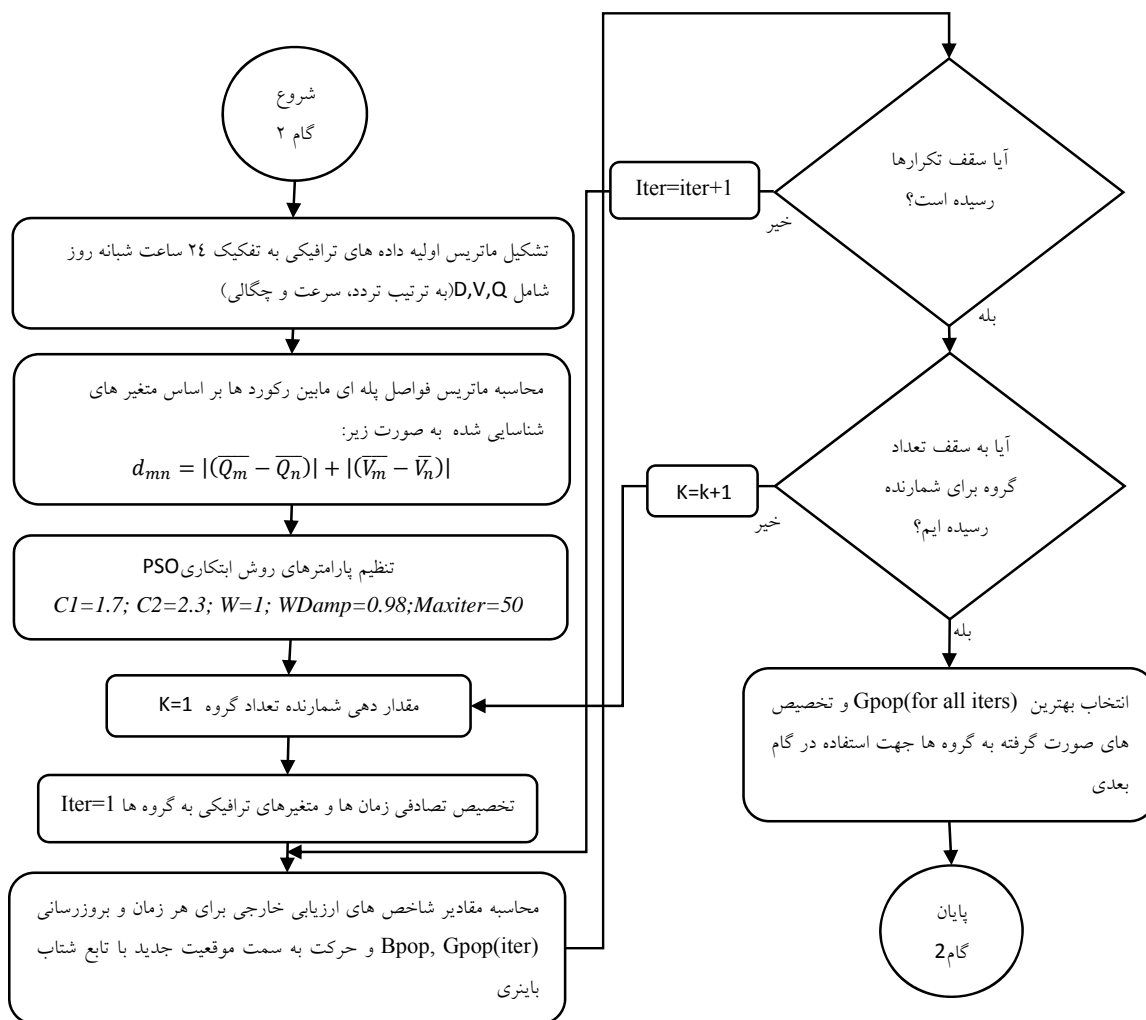
$$Q_{ij} = \frac{N_{ij}}{4} \quad (1)$$

$$V_{ij} = \frac{nd}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2)$$

از تفریق پس‌زمینه در نواحی نزدیک به دوربین و از نمای پشت خودروها استفاده می‌شود. روش پیشنهادی علاوه بر تشخیص و ردیابی دقیق خودروها، محدوده بیشتری از جاده را پوشش نیز می‌دهد که منجر به بهبود دقت تشخیص تراکم ترافیک و شمارش خودروها می‌شود. همچنین، با توجه به اهمیت پردازش بلادرنگ در تصاویر ترافیکی، با نمونه‌برداری از فریم‌ها به این مهم نیز رسیدند. بر اساس روش پیشنهادی ایشان، تراکم ترافیک سبک با دقت ۹۸/۹ درصد و تراکم ترافیک سنگین با دقت ۹۷/۸ درصد تخمین زده می‌شود (Mohammadi, Moaiyeri, 2022). در مطالعه صولتی و همکاران (۱۴۰۲) چهار ویژگی نقطه‌ای، ۵۶ ویژگی سفر و سه ویژگی پیشرفته استخراج شد، چهار مدل کلاسه‌بندی GB، XGBoost، LightGBM و CatBoost پس از انتخاب زیر مجموعه روش تقویت‌کننده (Boosting) پس از انتخاب ویژگی ترکیبی به همراه سه مدل کلاسه‌بندی LSTM، CNN و ConvLSTM زیر مجموعه روش یادگیری عمیق پیاده‌سازی و بررسی شد تا بتوان حالات حمل‌ونقلی شامل: پیاده‌روی، استفاده از دوچرخه، استفاده از اتوبوس، استفاده از اتومبیل و استفاده از قطار را با استفاده از مجموعه داده‌های GeoLife پیش‌بینی کند. نتایج نشان داد مدل LightGBM با کسب دقت بالاتر (۹۵/۴۹ درصد) و پیچیدگی زمانی کمتر، بهترین مدل نسبت به مدل‌های دیگر است (Sowlati, Abbaspour and Chehreghan, 2023). بنی‌حسینی و همکاران (۲۰۲۴) یک الگوریتم ترکیبی خوشه‌بندی تراکم ابری فازی برای خوشه‌بندی داده‌های ترافیکی ارائه کردند (Banihosseini et al., 2024). همان‌طور که در بالا اشاره شد کمتر تحقیقی علی‌رغم اهمیت نیاز به پایش و طبقه‌بندی داده‌ها و جریان‌های ترافیکی پرداخته است. تنوع و بازه گسترده نوسانات متغیرهای ترافیکی مانند تردد و سرعت در ساعات مختلف شبانه‌روز مستلزم استفاده از یک الگوی بهینه برای خوشه‌بندی ساعات شبانه‌روز و طراحی و برازش الگوریتم بهینه برای هر خوشه جهت تعیین و پیش‌بینی وضعیت ترافیکی است. از طرف دیگر عمده الگوریتم‌های مطرح شده از رویکردهای کیفی محدودکننده برای تعیین وضعیت ترافیک استفاده نموده‌اند به طور مثال برازش مدل تعیین وضعیت ترافیکی را برای ساعات عصر (ساعات ۱۷ و ۱۸) انجام داده و مدل جامع برای استفاده در کل ساعات روز ارائه نشده است (Baradaran, Dashtbani, 2014). از این رو در این مقاله به طراحی یک الگوریتم فراابتکاری جهت طبقه‌بندی و

را به میزان چشمگیری افزایش داد. در فلوچارت زیر نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای گروه‌بندی ساعات نمایش داده شده است. گام ۳: بعد از شناسایی ساعات هم‌گروه و یا خوشه‌بندی ساعات ترافیکی شبانه‌روز در این مرحله اقدام به برازش نمودار کنترلی برای داده‌های ساعات هم‌خوشه به صورت یکسان می‌شود. در این گام داده‌های مربوط به هر خوشه جمع شده و ۷۵ درصد آنها جهت فاز اول و برازش حدود کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرند و باقی داده در فاز دوم جهت پایش فرایند کنترلی استفاده می‌شوند. در این مقاله از نمودارهای کنترلی \bar{X} ، \bar{R} ، EWMA و \bar{S} جهت کنترل وضعیت ترافیکی محور مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. گام ۴: در این مرحله از الگوریتم پیشنهادی به منظور تعیین وضعیت استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا به شناسایی خوشه یا گروه ساعت داده ترافیکی مورد نظر پرداخته و سپس بر اساس وضعیت شناسایی شده برای ساعت مورد نظر وضعیت ترافیکی مشخص می‌شود. در ادامه از نمودار کنترلی برازش شده برای داده‌های ترافیکی مورد ارزیابی جهت پایش و کنترل قرارگیری در حدود استاندارد و آنالیز وضعیت تحت کنترل بودن آن استفاده می‌شود. در واقع در این مرحله هم وضعیت ترافیکی مشخص می‌شود و هم اینکه آیا ترافیک در زمان مذکور رفتار نرمال دارد یا اینکه از کنترل خارج شده و مشابه داده‌های آموزشی نیست که این امر حاکی از بروز یک علت ترافیکی است که سیستم به صورت هشدار آن را مشخص می‌سازد.

تحلیل توصیفی متغیرهای ترافیکی به منظور درک میانگین‌ها و واریانس متغیرهای ترافیکی و تفسیر آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد از طریق آنالیز مقادیر متغیرهای تردد و سرعت می‌توان به یک درک مناسب از وضعیت ترافیکی یک محور رسید به طور مثال بالا بودن مقدار تردد و پایین بودن مقدار سرعت به معنی بالا رفتن حجم ترافیک و کاهش سرعت وسایل نقلیه است که شرایط ترافیک را به سمت سنگین شدن روانه می‌سازد. در گام نخست از تحقیق با استفاده از شمارنده‌ها به جمع داده‌های مربوط به یک محور (محور تهران-کرج) در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای شده است. سپس داده‌های به دست آمده در گروه‌های یک ساعته که از ۴ عدد (بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای) تشکیل شده‌اند، قرار گرفتند. ماتریس تشکیل شده در این گام شامل مقادیر سرعت و تردد در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای برای هر ساعت است که در ادامه جهت گروه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گام ۲: در این مرحله با توجه به این امر که مقادیر متغیرهای تردد و سرعت دارای بازه تغییرات گسترده‌ای بوده و همچنین رفتار آنها متناسب با ساعات روز متفاوت است (در بخش داده‌های مطالعه موردی تشریح شده است) اقدام به گروه‌بندی ساعات بر اساس متغیرهای تردد و سرعت می‌شود. برای این منظور در این مقاله از رویکرد ابتکاری مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات جهت تعیین گروه هر یک از ۲۴ ساعت شبانه‌روز استفاده شده است. این عمل به این دلیل است که رفتار ترافیکی و وضعیت ترافیکی برخی ساعات در شبانه‌روز شبیه به هم بوده و می‌توان با جمع داده‌های آنها دقت تشخیص و تعیین وضعیت



شکل ۱. فلوجارت الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات جهت گروه بندی ساعات ترافیکی

$V_i^n =$ و سرعت آن را به صورت $x_{i2}^n, \dots, x_{id}^n$ نمایش داد و در نهایت حرکت ذره را به وسیله این دو معادله زیر تشریح کرد.

$$V_{id}^{n+1} = W * V_{id}^n + C_1 * r_1 * (P - X_{id}^n) + C_2 * r_2 * (G - X_{id}^n) \quad (۳)$$

$$X_{id}^{n+1} = X_{id}^n + V_{id}^{n+1} \quad (۴)$$

که در آن $d=1,2,3, \dots, D$ و $i=1,2,3, \dots, N$ ، برابر تعداد جمعیت و n ، شماره تکرار است. w پارامتر لختی یا وزن نامیده می شود که مقادیر بزرگ w باعث افزایش مقدار بردار سرعت می شود و در هر تکرار گام های بزرگ تری برداشته خواهد شد و با کوچک شدن w این گام ها کوچک تر می شود که برای رسیدن به پاسخ بهینه در گام های آخر مفید است. از این رو

۱-۳- طبقه بندی داده های ترافیکی

۱-۱-۳- الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

در این الگوریتم ابتدا مجموعه ذرات تولید می شوند. این آغاز سازی شامل بردارهای مکان و سرعت خواهد بود و بهینگی محلی و جمعیت کلی ($pbest, gbest$) برای هر ذره محاسبه می شود. سپس برای تعداد مشخصی از تکرار، بردارهای سرعت و مکان به روز می شوند که در نتیجه $pbest, gbest$ نیز به روز خواهند شد. باتوجه به مدل ارائه شده باید متغیر اصلی را مشخص کنیم و طراحی اجزاء را بر اساس آن انجام می دهیم و کلیه متغیرهای دیگر مدل نیز بر اساس این متغیر به دست خواهند آمد. اگر فضای جستجوی مسئله D بعدی باشد، بدین ترتیب موقعیت ذره $x_i^n = (x_{i1}^n, \dots, x_{id}^n)$ را می توان به صورت

$$X_{id}^{n+1} = X_{id}^n + V_{id}^{n+1} \quad (9)$$

هنگامی که تعداد تکرارهای الگوریتم از مقدار تعیین شده فراتر رود، الگوریتم متوقف می شود و جواب به دست آمده، بهترین جواب حاصل از اجرای الگوریتم در همه تکرارها و از همه ذرات و جواب نهایی است. چون مسئله یک مسئله مقید است و PSO برای مسائل نامقید است، بنابراین مانند روشی که کنستانتینوس برای حل مسئله مقید در PSO به کار گرفت، مسئله مزبور را با اضافه کردن تابع پناستی به تابع هدف به صورت نامقید تعریف می کنیم.

$$P = R_p * \sum_{i=1}^{n_c} \max\left(\frac{g_i}{\bar{g}_i} - 1, 0\right)^2 + \quad (10)$$

$$R_p \sum_{j=1}^{n_c} \max\left(1 - \frac{g_j}{\bar{g}_j}, 0\right)^2 \quad (11)$$

که در آن P تابع پناستی، R_p ضریب پناستی، \bar{g}_i ، g_i ، \bar{g}_j ، g_j عبارات طرفین قیود نامساوی است و همچنین F تابع هدف اولیه است (Parsopoulos, Vrahatis, 2002).

۳-۱-۲- پیاده سازی الگوریتم PSO برای گروه بندی

ترافیکی

در این مقاله از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات برای شناسایی تعداد گروه یا خوشه بهینه جهت طبقه بندی داده های ترافیکی استفاده می شود. این کار برای شناسایی گروه های ترافیکی جهت ترسیم نمودارهای کنترلی در فاز اول انجام می شود. پس از شناسایی گروه ها اقدام به محاسبه مقادیر میانگین و انحراف معیار داده های گروه نموده و بر اساس آن نمودارهای کنترلی جهت استفاده در فاز دوم ترسیم می شوند. در ادامه گام های اصلی الگوریتم تشریح شده است.

گام اول: در مرحله اول اقدام به تشکیل ماتریس داده های مربوط به سه متغیر اصلی در کنار مقادیر ساعت و دقیقه نمونه گیری صورت گرفته شده و هر سطر از این ماتریس به عنوان یک ذره در نظر گرفته می شود. سپس اقدام به تخصیص شماره خوشه به هریک از این ذرات به صورت تصادفی در بازه $k=1,2,3...K$ می شود. برای این منظور از دستور زیر در محیط نرم افزار MATLAB استفاده می شود:

گام دوم: در مرحله بعد بهترین موقعیت هر ذره برابر با موقعیت فعلی P و بهترین موقعیت جمعیت G با ذره دارای بهترین مقدار تابع هدف که در آن از تابع ارزیابی عملکرد Jaccard استفاده شده است، جایگزین می شود. در این مرحله جمعیت اولیه

با قراردادن یک رابطه بجای مقداری ثابت برای W می توان به این مهم دست یافت.

$$W_{k+1} = W_{max} - \frac{W_{max}-W_{min}}{k_{max}} * k \quad (5)$$

k_{max} ، ماکزیمم تعداد تکرار است که توسط کاربر برای برنامه تعریف می شود. r_1 و r_2 دو عدد تصادفی بین صفر و یک و P نشان دهنده بهترین موقعیت ذره G و A م و G موقعیت بهترین ذره در تمام جامعه تا تکرار n ام است و C_1 و C_2 عوامل یادگیری فردی و اجتماعی است که به آن ها ضرایب شتاب نیز گفته می شود. مقادیر C_1 و C_2 عددی بین ۱/۵ تا ۲ به خود می گیرند (Li, Wang, 2007).

x_{min} : حداقل مقداری که مکان هر پرندۀ آن را تجربه می کند.
 x_{max} : حداکثر مقداری که مکان هر پرندۀ آن را تجربه می کند.
 v_{max} : این مقدار که همان بیشینه سرعت، معمولاً برابر با x_{max} است.

$$v_{min} = -v_{max}$$

شمارنده تکرار برابر صفر در نظر گرفته می شود یعنی $t=0$. برای تولید آرایه اجزای اولیه، از یک رویکرد ساده تصادفی برحسب توزیع یکنواخت استفاده شده است. به این منظور، یک جمعیت از ذرات به تعداد N آرایه مکان که نشان دهنده مجموعه جواب مسئله هستند، ایجاد شده، خانه های آرایه اجزا با استفاده از فرمول زیر به صورت تصادفی با اعداد بین صفر و x_{max} پر می گردد.

$$x_{ij}^n = x_{min} + (x_{max} - x_{min}) * r_1 \quad (6)$$

r_1 یک عدد تصادفی است که از توزیع یکنواخت (0,1) پیروی می کند. سرعت اولیه نیز از فرمول مشابهی برای کلیه مکان ها و به صورت تصادفی از فرمول زیر ایجاد می شود:

$$v_{ij}^n = v_{min} + (v_{max} - v_{min}) * r_2 \quad (7)$$

r_2 یک عدد تصادفی است که از توزیع یکنواخت (0,1) پیروی می کند. الگوریتم بهینه سازی ذرات پس از تعیین آرایه زمان بندی، مقدار آن تابع هدف برای همه اجزاء محاسبه می شود و سپس باتوجه به G بهترین مکان برای هر جزء و تمام اجزاء در هر تکرار به دست می آید. به شمارنده تکرار یک عدد اضافه می شود و $t=t+1$. ضریب اینرسی باتوجه به فرمول گفته شده به روز می شود. سرعت هر آرایه به صورت فرمول زیر به روز می شود.

$$V_{id}^{n+1} = W * V_{id}^n + C_1 * r_1 * (P - X_{id}^n) + C_2 * r_2 * (G - X_{id}^n) \quad (8)$$

باتوجه به سرعت به دست آمده، آرایه های مکان نیز به صورت فرمول زیر به روز می شود.

گام چهارم: الگوریتم فوق برای تعداد گروه ۱ تا ۱۲ (سقف حالات ترافیکی بر اساس ساعات ترافیکی) تکرار شده و تعداد گروه دارای بهترین شاخص رند به عنوان گروه بهینه و گروه بندی انجام شده برای استفاده جهت محاسبه مقادیر پارامترهای نمودارهای کنترلی مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص رند اینکه خوشه‌ها (که توسط الگوریتم خوشه بندی باز می گردند) به چه میزان به هم شباهت دارند می پردازد. همچنین می توان شاخص رند را به عنوان ابزار اندازه گیری درصد تصمیمات درست که توسط الگوریتم ساخته شده است را استفاده کرد که می توان با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد.

$$RI = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (15)$$

TP تعداد مثبت صحیح و TN تعداد منفی صحیح و FP تعداد مثبت کاذب و FN تعداد منفی های کاذب است (Rand, 1971).

۳-۲- طراحی نمودارهای کنترلی

در این مرحله بعد از شناسایی تعداد گروه و همچنین گروه بندی ایدنال برای تعداد مشخص منتج شده از روش بهینه سازی ازدحام ذرات اقدام به طراحی نمودارهای کنترلی \bar{X} ، \bar{R} ، EWMA و \bar{S} به صورت مجزا اقدام به طراحی نمودار کنترلی بر اساس مقادیر داده های قرار گرفته در هر گروه بر اساس روابط زیر می شود. داده های ترافیکی مربوط به هر یک از متغیرهای تردد و سرعت بیانگر موضوعات و واقعیات متنوعی از دنیای واقعی هستند که آنالیز و پایش آنها مثر ثمر خواهد بود. در این مقاله برای بررسی روند کلی حجم تردها Q و میانگین سرعت V آنها از نمودار \bar{X} استفاده می شود که در طول زمان تغییرات روند حجم تردها و سرعت آنها را تا حدودی مناسبی مشخص می سازد. از طرفی دیگر برای شناسایی نیاز به اقدامات آنی و اضطراری در مواقع خاص ترافیکی (مانند تصادفات، ایام پیک مسافرت ها و...) که در بازه زمانی کوتاه حجم تردها یا سرعت وسایل نقلیه ناگهان تغییر رفتار می دهد از نمودار کنترلی رنج یا \bar{R} استفاده می شود. از طرفی دیگر محورهای مواصلاتی ممکن است به دلایل مختلف در حال تغییر در پارامترهای ترافیکی خود باشند که این امر می تواند ریشه در شهرک سازی ها، تغییرات عمرانی راه ها و غیره داشته باشد که برای شناسایی این تغییرات از نمودارهای \bar{S} که ترندها و روند تغییرات داده های ورودی را مشخص می سازند استفاده خواهد

For i=1: Matrix row size

For j=1: PSO Population size

Particle(i,j). K=Randi ([1, K],1,1);

Particle(I,j). Velocity=0;

End

(۱۲)

تشکیل شده است. شاخص Jaccard برای اندازه گیری شباهت بین دو مجموعه داده استفاده می شود. شاخص Jaccard مقداری بین ۰ و ۱ دارد. شاخص ۱ بدین معنی است که دو مجموعه داده یکسان هستند و شاخص ۰ نشان می دهد که مجموعه داده ها هیچ عنصر مشترکی ندارند. شاخص Jaccard توسط فرمول زیر تعریف می شود (Jaccard, 1912).

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (13)$$

گام سوم: در مرحله بعد با استفاده از با استفاده از تابع شتاب تعریف شده برای متغیرهای عدد صحیح به صورت زیر تا رسیدن به سقف تکرارها که با استفاده از روش تاگوشی محاسبه شده است، به روزرسانی مقادیر گروه هر نمونه انجام می شود. با توجه به سرعت به دست آمده، گروه بندی جدید برای هر نمونه نیز به صورت فرمول زیر به روز می شود.

For iter = 1: Maximum Iteration

For i=1: PSO Population Size

Particle(I, j). Velocityⁿ⁺¹

= W

** Particle(I, j). Velocityⁿ*

*+ C₁ * r₁*

** (P - Particle(i, j). K_{id}ⁿ)*

*+ C₂ * r₂ * (G*

- Particle(i, j). K_{id}ⁿ)

(۱۴)

Particle(i, j). K_{id}ⁿ⁺¹

= Particle(i, j). K

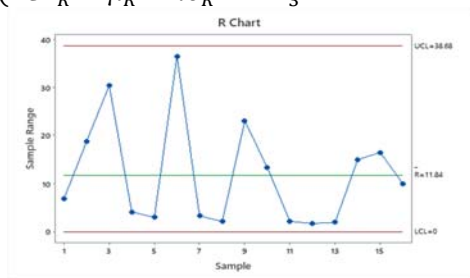
+ Particle(I, j). Velocityⁿ⁺¹

End

*W=W*Damp Rate;*

End

$$\begin{cases} UCL_R = \mu_R + k\sigma_R = \bar{R}D_4 \\ CL_R = \mu_R \\ LCL_R = \mu_R - k\sigma_R = \bar{R}D_3 \end{cases} \quad (17)$$

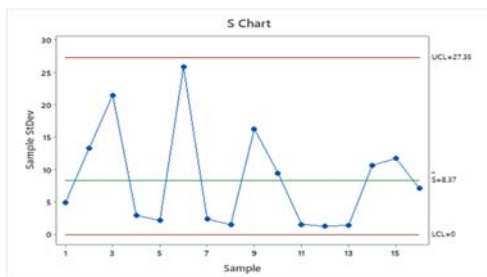


شکل ۳. نمودار کنترلی R

نمودار کنترلی S

نمودار کنترل S برای نظارت بر تغییرپذیری یک فرایند در طول زمان استفاده می‌شود. این نمودار شبیه به نمودار \bar{X} است، اما به جای رسم میانگین نمونه، انحراف استاندارد نمونه را رسم می‌کند. نمودار S انحراف استاندارد فرایند (بر اساس محدوده متحرک نمونه تقریبی) را بررسی می‌کند. نمودار کنترلی S نیز مانند نمودار کنترلی \bar{X} یک خط مرکزی (CL) که میانگین دامنه نمونه را در حالت تحت کنترل و دو خط افقی دیگر، حد کنترلی بالا (UCL) و حد کنترلی پایین (LCL) نشان می‌دهد (Montgomery, 2013):

$$\begin{cases} UCL_S = \mu_S + k\sigma_S = \bar{S}B_4 \\ CL_S = \mu_S \\ LCL_S = \mu_S - k\sigma_S = \bar{S}B_3 \end{cases} \quad (18)$$



شکل ۴. نمودار کنترلی S

نمودار کنترلی EWMA

میانگین متحرک موزون نمایی در سال ۱۹۵۹ به وسیله رابرتس به صورت زیر تعریف شده است. در این رابطه λ دارای مقدار ثابتی بین $0 < \lambda < 1$ است. مقدار اولیه برای Z_t که در زمان نمونه اول از آن استفاده می‌شود برابر است با: $Z_0 = \mu_0$

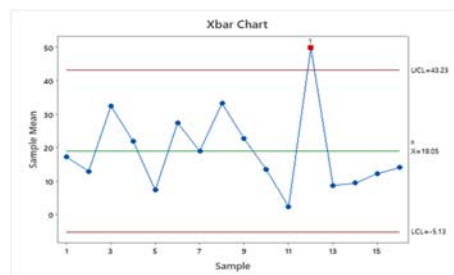
$$Z_t = \lambda x_t + (1 - \lambda)Z_{t-1}$$

شد. در آخر از نمودار EWMA برای پایش تغییرات بزرگ در داده‌ها استفاده می‌شود.

نمودار کنترلی \bar{X}

برای پایش تغییرات در میانگین فرایند مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نمودار یک خط مرکزی (CL) که مقدار متوسط مشخصه‌ی کیفیت را در حالت تحت کنترل نشان می‌دهد و دو خط افقی دیگر، حد کنترلی بالا (UCL) و حد کنترلی پایین (LCL) دارا است. حدود کنترلی به گونه‌ای انتخاب می‌شود که اگر فرایند تحت کنترل باشد، تمام نقاطی که بر اساس آماره آزمون به دست آمده‌اند بین این حدود قرار می‌گیرند. اگر فرض کنیم فرایند با مشخصه کیفیتی از توزیع نرمال با میانگین تحت کنترل μ_0 و واریانس σ_0^2 معلوم باشد. در این صورت، خط مرکزی و حدود کنترلی بالا و پایین به صورت زیر تعریف می‌شود (Montgomery, 2013):

$$\begin{cases} UCL_{\bar{X}} = \mu_0 + k \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \\ CL_{\bar{X}} = \mu_0 \\ LCL_{\bar{X}} = \mu_0 - k \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \end{cases} \quad (16)$$



شکل ۲. نمودار کنترلی \bar{X}

نمودار کنترلی R

برای ارزیابی پراکندگی توزیع مورد بررسی یک مشخصه‌ی کیفیت Y از نمودار دامنه یا R استفاده می‌شود، دامنه نمونه تفاوت بین بزرگترین و کوچکترین مشاهده در یک نمونه است یعنی $R = y_{max} - y_{min}$. نمودار کنترلی R نیز مانند نمودار کنترلی \bar{X} یک خط مرکزی (CL) که میانگین دامنه نمونه را در حالت تحت کنترل و دو خط افقی دیگر، حد کنترلی بالا (UCL) و حد کنترلی پایین (LCL) نشان می‌دهد (Montgomery, 2013):

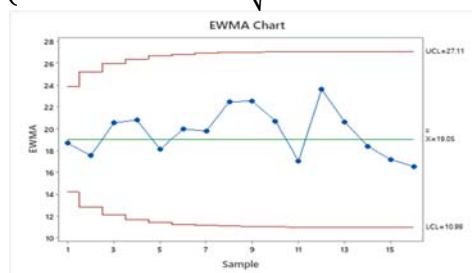
وضعیت ترافیکی می‌پردازد استفاده شده است. این سیستم به مرکز کنترل ترافیک کشور در تهران متصل بوده و کلیه داده‌ها در این مرکز مورد بررسی و پایش قرار می‌گیرند.

آماده‌سازی داده‌ها

اگر یک مسیر را به‌عنوان یک فرایند و متغیرهای ترافیکی آن را به‌عنوان مشخصات آن فرایند در نظر بگیریم، برای طراحی نمودار کنترل آماری، باید فاصله زمانی نظارت بر ترافیک را تعیین کنیم (فاصله زمانی برای ترسیم نقاط وضعیت ترافیک روی نمودار، محور افقی نمودار) و اندازه نمونه در هر مراجعه. باتوجه به حجم بالای وسایل نقلیه در مسیر مورد مطالعه، فاصله زمانی نظارت انتخاب و در یک ساعت تنظیم شد. از طرف دیگر، در نمودارهای کنترل در هر بازه زمانی، برخی از نمونه‌های فرایند باید انتخاب شوند تا میانگین مشخصات نمونه‌های به‌دست‌آمده در نمودار کنترل نشان داده شود. از این رو در این تحقیق پایه نمونه‌گیری و ترسیم نمودارهای کنترلی بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای و زمان یک ساعت برای محاسبات متغیرهای تحقیق در نظر گرفته شد. به بیان دیگر هر ساعت ۴ نمونه که مقدار پارامترهای سه‌گانه تحقیق در هر ۱۵ دقیقه برای آن محاسبه شده، در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر تاریخ و ساعت هر مشاهده، تعداد نمونه در ساعت مربوط (۱۵ دقیقه)، زمان میانگین سرعت وسایل نقلیه عبوری نشان داده شده است. گفته شد، نمودارهای کنترل آماری تغییرات متغیر را در مقایسه با میانگین متغیر در دوره‌های گذشته بررسی می‌کنند. باین‌حال، بررسی متغیر تردد در ساعات مختلف روز نشان می‌دهد که مقدار قابل‌توجهی بین میانگین تردد در ساعات مختلف روز وجود دارد. طبق بررسی ما، میانگین مقدار در ساعات اولیه صبح کمتر از ساعات اواسط روز است. این نابرابری با آزمون واریانس تحلیل با مقدار صفر نیز تأیید شده است. ساعات یک روز کامل (۲۴ ساعت) با میانگین مقدار مشابه در یک گروه با آزمون مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نمودار زیر کل داده‌های به‌دست‌آمده و مورد استفاده برای مرحله آموزش بر اساس دو متغیر اصلی سرعت و تردد ترسیم شده‌اند. همان‌طور که در نمودار زیر مشخص است بازه متغیر تردد بسیار وسیع‌تر از سرعت است و این نیاز به تفکیک ویژه بروی هر دو متغیر با محوریت متغیر تردد را نمایان می‌سازد.

اگر $1 \rightarrow \lambda$ آنگاه آماره میانگین متحرک موزون نمایی تمام وزن را به مشاهدات آخر اختصاص می‌دهد در این حالت نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی همانند یک نمودار کنترل شوهارت عمل می‌کند و اگر $0 \rightarrow \lambda$ آنگاه مشاهدات اخیر وزن کمی دریافت می‌کنند، درحالی‌که وزن مشاهدات قبلی تنها با گذشت عمر آنها کاهش می‌یابد در این حالت نمودار کنترل میانگین متحرک موزون نمایی نظیر یک نمودار کنترل جمع تجمعی عمل می‌کند (Kang, Albin, 2000):

$$\begin{cases} UCL_{EWMA} = \mu + k\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \\ CL_{EWMA} = \mu \\ LCL_{EWMA} = \mu - k\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \end{cases} \quad (19)$$



شکل ۵. نمودار کنترلی EWMA

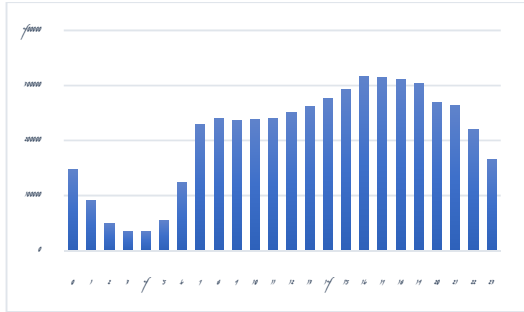
۴- مطالعه موردی

به‌منظور بررسی جنبه‌های کاربردی و همچنین تست الگوریتم پیشنهادی تحقیق در این بخش به معرفی مطالعه موردی که یک محور مواصلاتی بین‌شهری در خط فاصل تهران-کرج است پرداخته می‌شود. در این پژوهش با استفاده از سنسورهای شمارنده ایستگاهی قرار گرفته در مقاطع به فاصله یک‌کیلومتری از این محور، مقادیر متغیرهای ترافیکی شامل تردد، سرعت و چگالی استخراج می‌شود. داده‌های این سنسورها به‌صورت هر ۵ دقیقه اندازه‌گیری شده‌اند که باتوجه به ادبیات پژوهش و اهمیت بالای بازه زمانی یک ساعت در ترافیک، داده‌ها در ۴ گروه ۱۵ دقیقه‌ای که جمعاً ۱ ساعت را شامل می‌شوند، تجمیع و ادغام می‌شوند.

۴-۱- جمع‌آوری داده‌ها

برای این منظور از سیستم مکانیزه نصب شده در بزرگراه مطالعه موردی تحقیق که به ثبت و پایش ترافیک و شمارش

همان‌طور که در شکل زیر و جدول بالا مشخص است ساعات مختلف دارای فراوانی تردد متفاوت بوده و این امر نیاز به طبقه‌بندی ساعات ترافیکی برای اجرای تجزیه و تحلیل‌ها در جهت پیش‌بینی و تعیین وضعیت فعلی را نمایان می‌سازد.



شکل ۷. مجموع تردد در ساعات شبانه‌روز

در جدول زیر مقادیر تردد به‌ازای روزهای هفته به‌نمایش درآمده است که این جدول نیز تفاوت نزدیک به ۱۸۰ هزار تردد میان کمترین تردد روزانه با بیشترین تردد روزانه ثبت شده در بازه پژوهش را نشان می‌دهد.

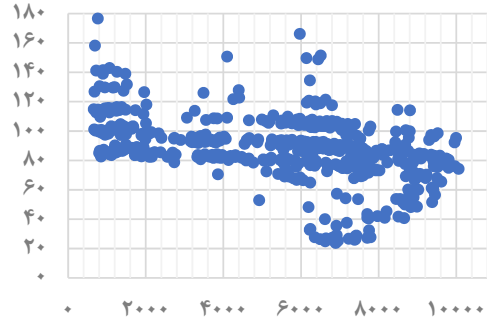
جدول ۲. فراوانی تردهای ذخیره شده در بازه زمانی یک‌ماهه

وسایل نقلیه به تفکیک ایام هفته

| تعداد | هفته |
|--------|----------|
| ۷۷۴۹۰۷ | شنبه |
| ۷۷۶۵۷۱ | یکشنبه |
| ۷۸۱۷۷۶ | دوشنبه |
| ۶۴۸۸۸۴ | سه‌شنبه |
| ۶۶۲۹۳۸ | چهارشنبه |
| ۷۳۰۴۱۰ | پنجشنبه |
| ۵۹۵۴۷۵ | جمعه |

پیاده‌سازی الگوریتم اصلی

در این بخش به پیاده‌سازی الگوریتم اصلی تحقیق بروی داده‌های جمع‌آوری شده پرداخته می‌شود. در این بخش با استفاده از الگوی تعریف شده در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات تعمیم‌یافته اقدام به تشکیل خوشه‌های تصادفی به تعداد ۲ الی ۱۰ خوشه نموده سپس با استفاده از تابع شتاب عدد صحیح در این روش اقدام به بهسازی تخصیص‌های صورت‌گرفته برای هر یک از زمان‌ها در داده‌های آموزشی شده است. برای سنجش کیفیت و دقت تخصیص‌های صورت‌گرفته



شکل ۶. نمودار مقادیر تردد و سرعت داده‌های ترافیکی

همان‌طور که در نمودار بالا مشخص است به‌ازای مقادیر سرعت با بازه تغییرات حدوداً ۸۰ مقادیر تردد بازه‌ای وسیع به میزان تقریباً ۹۵۰۰ وسیله نقلیه دارد. این امر طبقه‌بندی و بازه‌بندی را دشوار می‌سازد. از طرفی دیگر به هم تنیدگی بالایی بین داده‌ها وجود داشته و به راحتی نمی‌توان به تفکیک بصری آنها پرداخت. این موارد و سایر چالش‌ها باعث شده است که در این مقاله به خوشه‌بندی داده‌های تردد و سرعت و چگالی با ابتکاری مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات پرداخته شده است. در ادامه به منظور نمایش بهتر داده‌های مورد پایش و آنالیز در این مقاله به ارائه جداول مربوط به فراوانی تردهای ذخیره شده در بازه زمانی یک‌ماهه و فراوانی تردد وسایل نقلیه به تفکیک ساعات شبانه‌روزهای هفته پرداخته شده است.

جدول ۱. فراوانی تردهای ذخیره شده در بازه زمانی یک‌ماهه

وسایل نقلیه به تفکیک ساعات شبانه‌روز

| تعداد | ساعت | تعداد | ساعت |
|--------|------|--------|------|
| 251253 | ۱۲ | 147614 | ۰ |
| 262351 | ۱۳ | 91880 | ۱ |
| 275886 | ۱۴ | 49522 | ۲ |
| 293640 | ۱۵ | 35459 | ۳ |
| 316955 | ۱۶ | 34954 | ۴ |
| 315496 | ۱۷ | 54568 | ۵ |
| 310566 | ۱۸ | 124142 | ۶ |
| 304322 | ۱۹ | 229399 | ۷ |
| 269403 | ۲۰ | 239669 | ۸ |
| 263043 | ۲۱ | 236325 | ۹ |
| 219210 | ۲۲ | 239315 | ۱۰ |
| 166447 | ۲۳ | 239542 | ۱۱ |

همان‌طور که در شکل بالا نمایش داده شد تعداد ۶ خوشه به‌عنوان تعداد مناسب برای گروه‌بندی داده‌های ترافیکی در روش ابتکاری و نوآورانه مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات تعیین شد. شایان‌ذکر است در این روش برای تعیین کیفیت خوشه‌بندی‌های صورت‌گرفته از دو شاخص ارزیابی خارجی استفاده شده است. هر دو شاخص به‌صورت یک مسئله ماکزیم‌سازی (دقت) نرمالایز شده و میانگین وزنی آنها برای تصمیم‌گیری نهایی در این روش استفاده شده است. در نمودار زیر نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی گروه‌بندی یا خوشه‌بندی ابتکاری این مقاله در ۵۰ تکرار بر اساس مقادیر بهترین خوشه‌بندی در جمعیت نمایش‌داده شده است. همان‌طور که مشخص است در تکرارهای نزدیک به ۵۰ به‌دقت حداکثری نایل شده‌ایم.



شکل ۹. اجرای الگوریتم پیشنهادی گروه‌بندی یا خوشه‌بندی ابتکاری

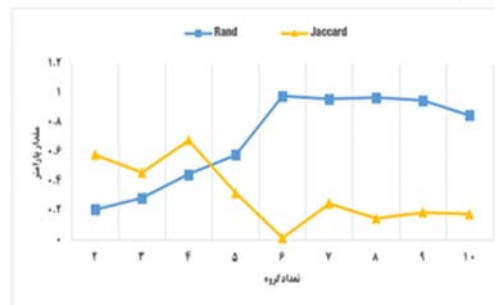
نکته مهم این است که در گام نخست گروه‌بندی مبتنی بر روش ابتکاری پیشنهادی بر اساس سه متغیر اصلی تردد، چگالی و سرعت انجام شد سپس بر اساس میزان تشابه یا فاصله مقادیر داده‌های هر ساعت به مراکز هر خوشه اقدام به تعیین خوشه نزدیک‌تر به ساعات روز می‌شود. با توجه به اینکه جهت سنجش بار ترافیکی نیاز به تعیین وضعیت ترافیکی اعضای هر خوشه است. در این بخش با استفاده از محاسبه مجموع متغیر تردد و میانگین سرعت اعضای هر خوشه اقدام به طبقه‌بندی خوشه بر اساس وضعیت ترافیکی می‌شود. در جدول زیر مقادیر حدود کنترلی بر اساس هر اعضای قرار گرفته در هر گروه (فاز ۱) نمایش‌داده شده است. به‌منظور ارزیابی دقیق از ۴ نمودار کنترلی تک‌متغیره شامل $Xbar$, $Rbar$, $Sbar$, EWMA استفاده شده است.

از تکنیک‌های ارزیابی داخلی و خارجی خوشه‌بندی استفاده شده است. همان‌طور که در جدول زیر مشخص است از دو روش ارزیابی خارجی برای محاسبه دقت و کیفیت خوشه‌بندی‌ها به‌ازای تعداد خوشه متفاوت استفاده شده است. نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی به‌صورت جدول زیر است که حاصل پیاده‌سازی الگوریتم در محیط نرم‌افزار MATLAB با تعداد تکرار ۵۰ بار و مقادیر پارامترها بر اساس خروجی روش تاگوچی ($C1=1.7, C2=2.3, W=1, Wdamp=0.98$) است.

جدول ۳. مقادیر نهایی شاخص‌های ارزیابی خوشه‌بندی در روش ابتکاری بر اساس تعداد خوشه‌ها

| تعداد خوشه‌ها | ارزیابی خارجی | |
|---------------|---------------|------------------|
| | الگوریتم Rand | الگوریتم Jaccard |
| 2 | 0.21 | 0.58 |
| 3 | 0.29 | 0.46 |
| 4 | 0.45 | 0.68 |
| 5 | 0.58 | 0.32 |
| 6 | 0.98 | 0.016 |
| 7 | 0.96 | 0.25 |
| 8 | 0.97 | 0.15 |
| 9 | 0.95 | 0.19 |
| 10 | 0.85 | 0.18 |

همان‌طور که در جدول بالا مشخص است مقادیر شاخص‌های ارزیابی هر دو بخش داخلی و خارجی در تعداد خوشه ۶ در بهترین وضعیت قرار داشته و این نشان از این است که می‌توان این تعداد خوشه را به‌عنوان تعداد منتخب و خوشه‌بندی صورت‌گرفته را بهترین گروه‌بندی نمایش داد. برای بررسی وضعیت متغیرها در تعداد خوشه‌های بیشتر و کمتر و شناسایی روند نتایج از ۲ الی ۱۰ خوشه در شکل زیر نمایش‌داده شده است.



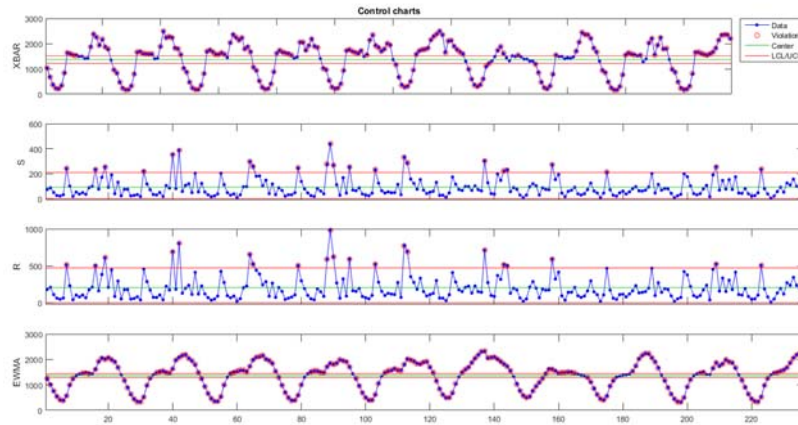
شکل ۸. ارزیابی تعداد گروه‌ها در روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات با استفاده از تکنیک‌های ارزیابی خارجی

جدول ۴. مقادیر حدود نمودارهای کنترلی تردد و سرعت به‌ازای هر گروه‌بندی منتج از PSO

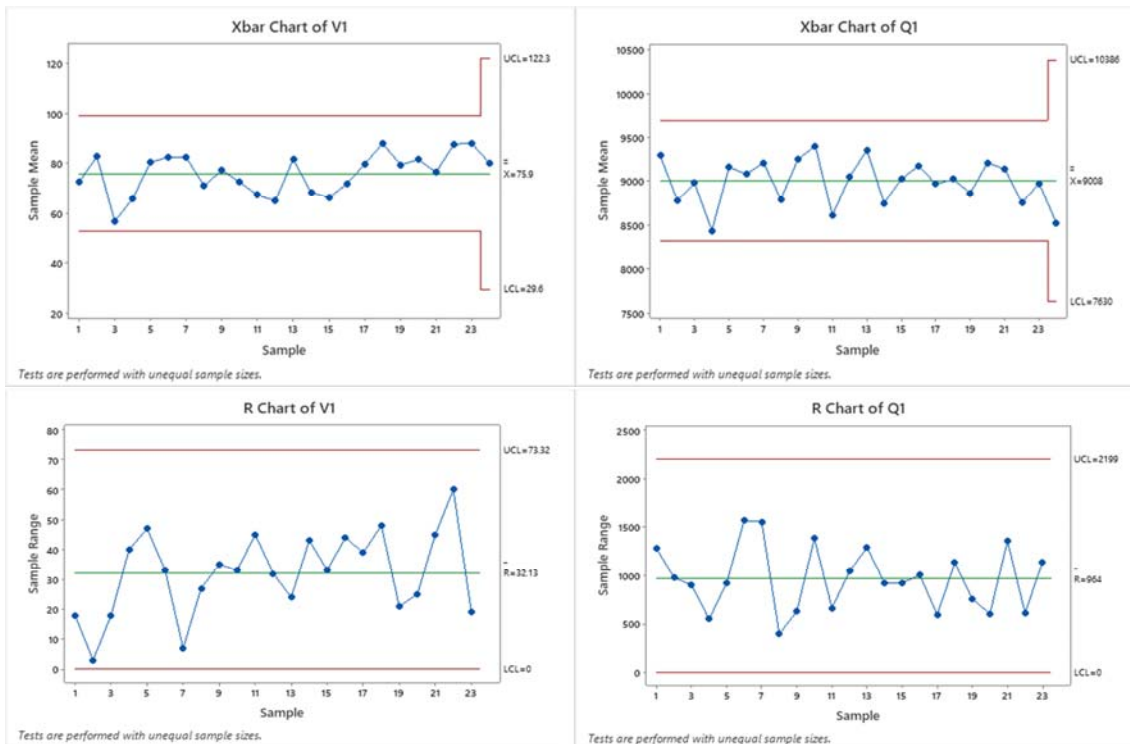
| Chart Type | Q | | | V | | | GROUP |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| | UCL | CL | LCL | UCL | CL | LCL | |
| X bar | 10385 | 9008 | 7630 | 122.3 | 75.9 | 29.5 | 1 |
| R bar | 2199 | 964 | 0 | 73.32 | 32.13 | 0 | |
| S bar | 982 | 433 | 0 | 32.23 | 14.22 | 0 | |
| EWMA | 9339.4 | 9008.2 | 8677 | 87.06 | 75.92 | 54.79 | |
| X bar | 7890 | 7228 | 6565 | 113.85 | 78.79 | 43.73 | 2 |
| R bar | 1707 | 563 | 0 | 78.85 | 30.63 | 0 | |
| S bar | 884 | 344.2 | 0 | 42.89 | 16.7 | 0 | |
| EWMA | 7430.1 | 7228 | 7025.9 | 89.5 | 78.79 | 58.08 | |
| X bar | 6670 | 6123 | 5577 | 118.57 | 91.92 | 65.27 | 3 |
| R bar | 1529 | 714 | 0 | 73.15 | 32.06 | 0 | |
| S bar | 732.2 | 323.1 | 0 | 33.26 | 14.68 | 0 | |
| EWMA | 6305.5 | 6123.5 | 5941.5 | 100.8 | 91.92 | 83.04 | |
| X bar | 4856 | 3890 | 2914 | 121.91 | 92.94 | 63.96 | 4 |
| R bar | 1597 | 489 | 0 | 46.58 | 14.26 | 0 | |
| S bar | 1179 | 351 | 0 | 33.45 | 10.24 | 0 | |
| EWMA | 4158.3 | 3890.2 | 3622 | 100.9 | 92.94 | 84.97 | |
| X bar | 2799 | 2100 | 1402 | 113.17 | 93.44 | 73.72 | 5 |
| R bar | 1774 | 689 | 0 | 48.75 | 18.94 | 0 | |
| S bar | 951 | 370 | 0 | 26.83 | 10.45 | 0 | |
| EWMA | 2312.9 | 2100.3 | 1887.5 | 99.45 | 93.44 | 87.44 | |
| X bar | 1803 | 1074 | 345 | 163.5 | 105.6 | 49.7 | 6 |
| R bar | 1156 | 511 | 0 | 79.6 | 34.9 | 0 | |
| S bar | 532.5 | 235 | 0 | 36.75 | 16.22 | 0 | |
| EWMA | 1249.4 | 1074 | 898.8 | 120.32 | 106.63 | 95.95 | |

از گروه‌بندی انجام شده بر روی ۷۵ درصد از داده‌ها نمایش داده‌شده که به‌منظور کنترل مقادیر سرعت و تردد در مرحله فاز ۲ (تست) مورد استفاده قرار گرفته است. همان‌طور که در شکل زیر مشخص است سهم قابل‌توجهی از نمونه‌ها خارج از کنترل است که این امر با واقعیت اتفاق افتاده در روزهای مربوط به نمونه‌های مورد استفاده برای ترسیم در تضاد است. در ادامه به طور مثال نمودارهای کنترلی مورد ذکر برای گروه ۱ از ۶ گروه (تعداد ۶ گروه منتج از روش ابتکاری پیشنهادی) که در جدول ۳ مقادیر حدود کنترلی آنها با استفاده از گروه‌بندی انجام شده بر روی ۷۵ درصد از داده‌ها نمایش داده‌شده که به‌منظور کنترل مقادیر سرعت و تردد در مرحله فاز ۲ (تست) مورد استفاده قرار گرفته است.

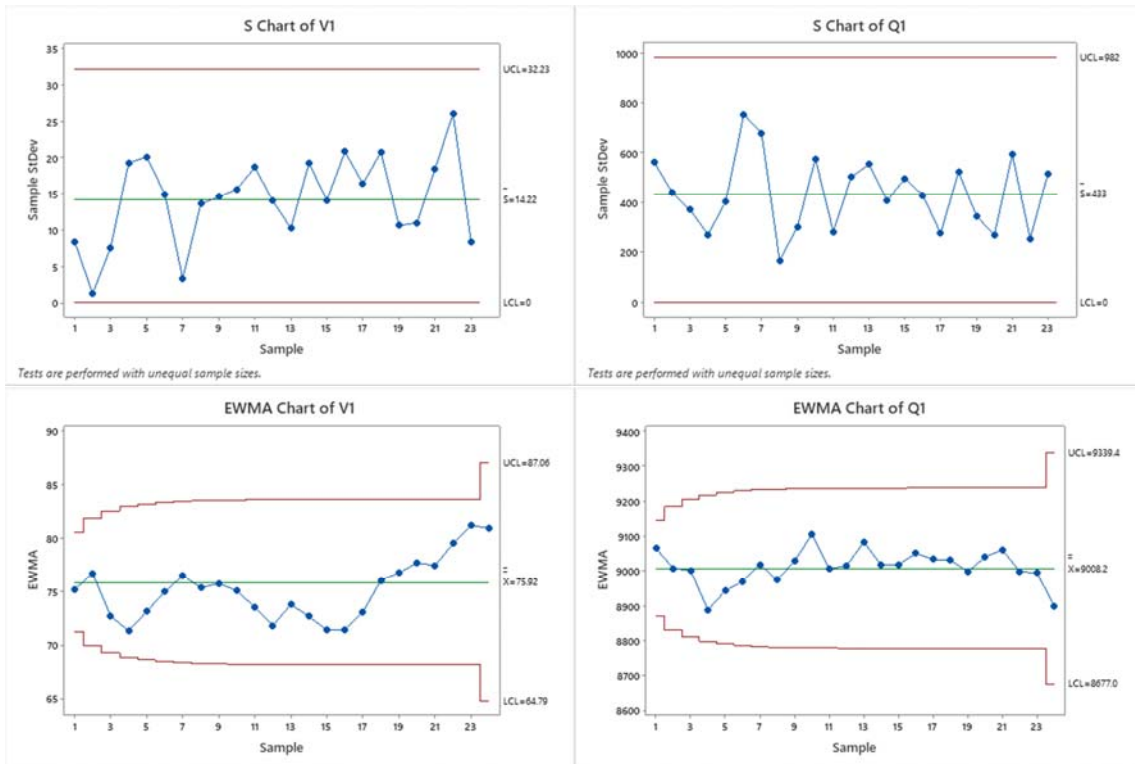
در این مرحله به‌منظور نمایش میزان دقت و عملکرد استفاده از روش گروه‌بندی ابتکاری به ترسیم نمودارهای کنترلی اصلی برای تعداد ۷۵ درصد از کل داده‌ها بر اساس نتایج خوشه‌بندی شده و سپس این نمونه برای فاز اول، دوم و پایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل زیر نمودار کنترلی برای حالتی که از هیچ ساختار طبقه‌بندی استفاده نشده باشد به نمایش گذاشته شده است. همان‌طور که در شکل زیر مشخص است سهم قابل‌توجهی از نمونه‌ها خارج از کنترل است که این امر با واقعیت اتفاق افتاده در روزهای مربوط به نمونه‌های مورد استفاده برای ترسیم در تضاد است. در ادامه به طور مثال نمودارهای کنترلی مورد ذکر برای گروه ۱ از ۶ گروه (تعداد ۶ گروه منتج از روش ابتکاری پیشنهادی) که در جدول ۳ مقادیر حدود کنترلی آنها با استفاده



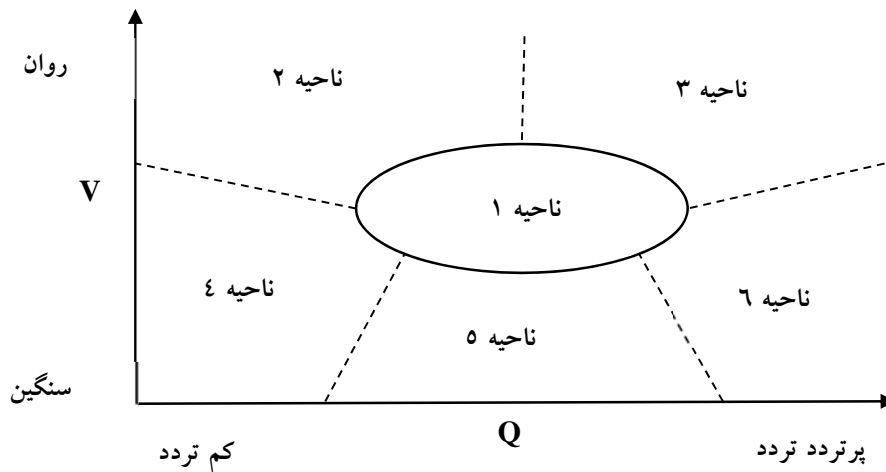
شکل ۱۰. نمودارهای کنترلی برای داده‌های آموزشی بدون گروه‌بندی



شکل ۱۱. نتیجه نمودارهای کنترلی برای داده‌های مرحله تست (فاز ۲)



ادامه شکل ۱۱، نتیجه نمودارهای کنترلی برای داده‌های مرحله تست (فاز ۲)



شکل ۱۲. وضعیت ترافیکی هر یک از گروه‌های به‌دست آمده

۵- نتیجه گیری

اندازه‌گیری متغیرهای ترافیکی مانند تردد به‌تنهایی لزوماً وضعیت ترافیک را در یک مسیر مشخص نمی‌کند. با وقوع حادثه‌ای مانند تصادف در مسیر، مقادیر متغیرهای ترافیکی در مقایسه با مقدار آنها در شرایط معمول کاهش می‌یابد. تجزیه و تحلیل کاهش این متغیرها که مقادیر آنها اغلب زیاد است در مقایسه با رفتار تصادفی آنها به یک ابزار مناسب نیاز دارد. نمودارهای کنترل آماری برای نظارت بر یک متغیر در طول زمان تهیه می‌شوند. این نمودارها قادر به شناسایی متغیر از میانگین آن هستند. در این مقاله برای کنترل ترافیک از نمونه‌گیری بر اساس بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای برای متغیرهای تحقیق همچون تردد، سرعت در هر ساعت از شبانه‌روز استفاده شده است. از طرفی یکی از مسائل و چالش‌های مهم و حساس در حوزه کنترل ترافیک وضعیت ترافیک محورها در ساعات مختلف شبانه‌روز است که باعث می‌شود دامنه تغییرات متغیر تحت کنترل بسیار گسترده شده و این موضوع اختطار خروج از کنترل غیرواقعی را به دلیل ماهیت روش‌های کنترلی به وجود می‌آورد. از این رو در این مقاله به طراحی یک الگوریتم گروه‌بندی ابتکاری بر پایه روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات تعمیم‌یافته جهت طبقه‌بندی نمونه‌های ترافیکی در ساعات مختلف بر اساس سه متغیر تردد، سرعت و چگالی جهت ترسیم نمودارهای کنترلی مختص هر خوشه پرداخته شد که نتایج نشان از عملکرد بالای این روش دارد. با توجه به محدودیت‌های زمانی و دسترسی به اطلاعات و داده‌های موردنیاز این مقاله به توسعه روش ارائه شده بر روی سه متغیر ترافیکی اصلی تردد، سرعت و چگالی پرداخته است. در نظر گرفتن متغیرهای بیشتر جهت نزدیک شده مسئله به نیاز دنیای واقعی یکی از پیشنهادها توسعه‌ای برای علاقه‌مندان به این مدل است. متغیرهایی نظیر تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های محور مورد مطالعه، تعداد لاین‌ها، وضعیت اقلیم و آب‌وهوا، منطقه حاشیه محور از حیث تراکم جمعیتی، منطقه صنعتی/ تجاری/ مسکونی، وجود پارک‌های جنگلی و طبیعت تفریحی و غیره از جمله متغیرهای پیشنهادی برای توسعه است.

همان‌طور که در نمودارهای چهارگانه بالا برای متغیرهای تردد و سرعت مشخص است حدود کنترلی به‌دست‌آمده بر اساس مقادیر داده‌های گروه‌بندی انجام شده از قابلیت بالایی برای کنترل داده‌ها در فاز دوم و داده‌های آزمایشی برخوردار است. این در حالی است که قبل از استفاده از این گروه‌بندی به دلیل پراکندگی بالای داده در هر متغیر و همچنین تأثیرپذیری بالای شدت ترافیک از ساعات روز (ساعات تعطیلی ادارات و شروع ساعات اداری و موارد مشابه) نمی‌توان از یک نمودار صرف برای تمام ساعات و داده‌ها استفاده نمود. این امر در مقاله‌ای برای داده‌های کلان‌شهری در ایران مورد بررسی قرار گرفته و به ترسیم نمودار کنترلی و تفکیک وضعیت ترافیکی به ۵ حالت بر اساس متغیر تردد و چگالی برای ساعت ۱۷ پرداخته شد که نتایج نشان‌دهنده کیفیت بالای این طبقه‌بندی است (Baradaran, Dashtbani, 2014).

به همین دلیل در این مقاله اقدام به گروه‌بندی داده‌ها و تعیین وضعیت ترافیکی بر اساس مقادیر داده‌های هر گروه به‌صورت زیر پرداخته شد (شکل ۱۲):

ناحیه ۱: ترافیک کاملاً عادی و روان بوده و سرعت وسایل نقلیه در بازه نرمال است.

ناحیه ۲: ترافیک در این ناحیه مربوط به ساعات کاملاً کم تردد است که وسایل نقلیه کاملاً روان در حال حرکت هستند.

ناحیه ۳: ترافیک در شرایط کاملاً پرتردد بوده؛ ولی سرعت وسایل نقلیه کاهش نیافته و روان در حال حرکت هستند و این بدین معنی است که حجم تردد بالا رفته؛ ولی مشکلی که باعث انسداد و توقف یا کاهش سرعت به وجود نیامده است.

ناحیه ۴: ترافیک در شرایط کم تردد و سنگین بوده و بدان معنی است که به دلیل مختلف مانند بارندگی حجم وسایل نقلیه عبوری کم و با سرعت پایین است.

ناحیه ۵: ترافیک در شرایط تردد نرمال بوده؛ ولی سرعت وسایل نقلیه پایین است این امر می‌تواند شرایط گذار را تا حدودی شامل شود، به طور مثال گذار از تصادف به سمت شرایط عادی یا بالعکس.

ناحیه ۶: حجم بالای خودروهای ورودی به محور را نشان می‌دهد که باعث می‌شود به دلیل محدودیت تعداد خطوط یا ظرفیت جاده جریان وسایل نقلیه کاهش یابد که شرایط مشابه ایام پیک مسافرت یا ساعات پیک سفر.

- Chong, H. F., & Ng, D. W. (2016). Development of IoT device for traffic management system. *Student Conference on Research and Development (SCOReD)*, 1–6. **doi.org/10.1109/scored.2016.7810059**
- Estupiñan, N. Scordia, H. Navas, C. Zegras, C. Rodríguez, D. Vergel-Tovar, E. Gakenheimer, R. Azán Otero, S. & Vasconcellos, E. (2018). Transporte Y Desarrollo En América Latina, *Transporte y Desarrollo en América Latina*, 1(1), Caracas: CAF. Retrieved from <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1186>
- Farrel, A. (2021). Overview and principles of internet traffic engineering, internet-draft-draft-ietf-teas-rfc3272bis-12, internet engineering task Force, work in progress. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-teas-rfc3272bis-12>.
- Fouladgar, M., Parchami, M., Elmasri, R., & Ghaderi, A. (2017). Scalable deep traffic flow neural networks for urban traffic congestion prediction. *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2251–2258. **doi.org/10.1109/ijcnn.2017.7966128**
- Heyns, A. M. (2021). Optimisation of surveillance camera site locations and viewing angles using a novel multi-attribute, multi-objective genetic algorithm: A day/night anti-poaching application. *Computers, Environment and Urban Systems*, 88, 101638. **doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2021.101638**
- Hou, Q., Leng, J., Ma, G., Liu, W., & Cheng, Y. (2019). An adaptive hybrid model for short-term urban traffic flow prediction. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 527, 121065. **doi.org/10.1016/j.physa.2019.1210**
- Jaccard, P. (1912). The Distribution of The Flora in The Alpine Zone 1, *New Phytologist*, 11(2), 37–50. **doi.org/10.1111/j.1469-8137.1912.tb05611.x**
- Jiang, J., Dellaert, N., Van Woensel, T., & Wu, L. (2019). Modelling traffic flows and estimating road travel times in transportation network under dynamic disturbances. *Transportation*, 47(6), 2951–2980. **doi.org/10.1007/s11116-019-09997-3**
- Jiang, J., Li, Q., Wu, L., & Tu, W. (2017). Multi-Objective Emergency Material Vehicle Dispatching and Routing under Dynamic Constraints in an Earthquake Disaster
- Akhavan Darabi, S. & Baradaran, V. (2023). A novel relationship-oriented clustering approach for extracting relational patterns from the traffic tangled data, *Transportation Letters*, 15 (7), 805-821. <https://doi.org/10.1080/19427867.2022.209171>.
- Arbués, P., & Baños, J. F. (2015). A dynamic approach to road freight flows modeling in Spain. *Transportation*, 43(3), 549–564. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11116-015-9590-5>.
- Ata, A., Khan, M. A., Abbas, S., & Ahmad, G. (2020). Adaptive IoT empowered smart road traffic congestion control system using supervised machine learning algorithm. *The Computer Journal*, 64(11), 1672–1679. **doi.org/10.1093/comjnl/bxz129**
- BaniHosseini, S. M. M., Baradaran, V. Doroudian, M.H. (2024). Clustering Approach to Identifying and Analyzing the Traffic Conditions: A Novel Hybrid Cloud Density and Fuzzy Clustering Algorithm, *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, (In Press). **doi: 10.1007/s13177-024-00417-0**
- Baradaran, V. & Maddahi, M. (2022). Key Levers for Modeling Traffic Violations: Lifestyle, Citizenship Belonging, Social Capital, and Individual Attitudes, *International Journal of Transportation Engineering*, 10(1), 877-897. **doi.org/10.22119/ijte.2022.275078.1559**
- Baradaran, V., & Dashtbani, H. (2014). A decision support system for monitoring traffic by statistical control charts. *Management Science Letters*, 4(8), 1661–1670. **doi.org/10.5267/j.msl.2014.7.019**
- Carey, M., & Ge, Y. (2003). Comparing whole-link travel time models. *Transportation Research Part B-methodological*, 37(10), 905–926. **doi.org/10.1016/S0191-2615(02)00091-7**
- Cheng, S., Lu, F., Peng, P., & Wu, S. (2018). Short-term traffic forecasting: An adaptive ST-KNN model that considers spatial heterogeneity. *Computers, Environment and Urban Systems*, 71, 186–198. **doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.009**

ACM Symposium on Applied Computing - SAC '02. doi.org/10.1145/508791.508907

-Rand, W. (1971). Objective criteria for the evaluation of clustering methods. *Journal of the American Statistical Association*, 66(336), 846. doi.org/10.2307/2284239.

-Sadeghian, R., & Daghi, Z. G. (2021). A Multi Objective Model for Capacitated Hub Location Problem with Hierarchical Relations between Nodes, and its Solving by Meta heuristic Algorithm. *Transportation Research Institute*, 18(3), 171–184.

doi.org/10.22034/tri.2021.119322

-Sowlati, S. Abbaspour, R. & Chehrehgan, A. (2023). Identifying Transportation Modes from Trajectory Dataset using Boosting and Deep Learning Methods in Intelligent Transportation Systems, *Transportation Research*, 20(3), 149–170.

doi.org/10.22034/tri.2022.285162.2906

-Sun, T., Yang, C., Han, K., Ma, W., & Zhang, F. (2020). Bidirectional Spatial–Temporal Network for Traffic Prediction with Multisource Data. *Transportation Research Record*, 2674(8), 78–89. https://doi.org/10.1177/0361198120927393.

-Tang, J., Chen, X., Hu, Z., Zong, F., Han, C., & Li, L. (2019). Traffic flow prediction based on combination of support vector machine and data denoising schemes. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 534, 120642.

doi.org/10.1016/j.physa.2019.03.007

-TomTom, Tomtom traffic index, (2021). https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/

-Xie, P., Li, T., Liu, J., Du, S., & Yang, X. (2020). Urban flow prediction from spatiotemporal data using machine learning: A survey. *Information Fusion*, 59, 1–12.

doi.org/10.1016/j.inffus.2020.01.002

-Xu, T., Han, G., Qi, X., Du, J. H., Lin, C., & Shu, L. (2020). A hybrid machine learning model for demand prediction of Edge-Computing-Based Bike-Sharing system using internet of things. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(8), 7345–7356. doi.org/10.1109/jiot.2020.2983089

-Zhang, S., Liu, X., Tang, J., Cheng, S., Qi, Y., & Wang, Y. (2018). Spatio-temporal modeling of destination choice behavior through the Bayesian hierarchical approach. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 512, 537–551.

doi.org/10.1016/j.physa.2018.08.034

Environment. *ISPRS International Journal of Geo-information*, 6(5), 142.

doi.org/10.3390/ijgi6050142

-Joshi, Y., Joshi, A., Tayade, N., Shinde, P. & Rokade, S. (2016). IoT based smart traffic density alarming indicator, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*,
-Jung, Y., & Casello, J. M. (2019). Assessment of the transit ridership prediction errors using AVL/APC data. *Transportation*, 47(6), 2731–2755.

doi.org/10.1007/s11116-019-09985-7

-Kang, L., & Albin, S.L. (2000). On-line monitoring when the process yields a linear profile, *Journal of Quality Technology*, 32, 418-426.

-Kang, L., Gao, S., Qiu, P., Liu, X., Yan, B., & Lu, F. (2017). Road2Vec: Measuring Traffic Interactions in Urban Road System from Massive Travel Routes. *ISPRS International Journal of Geo-information*, 6(11), 321.

doi.org/10.3390/ijgi6110321

-Levin, D.A. & Peres Y. (2017). Markov Chains and Mixing Times, Vol. 107, *American Mathematical Soc.*

-Li, X., & Wang, J. (2007). A steganographic method based upon JPEG and particle swarm optimization algorithm. *Information Sciences*, 177(15), 3099–3109.

doi.org/10.1016/j.ins.2007.02.008

-Lim, S. H., Kim, Y., & Lee, C. (2016). Real-time travel-time prediction method applying multiple traffic observations. *Ksce Journal of Civil Engineering*, 20(7), 2920–2927.

doi.org/10.1007/s12205-016-0239-5

-Mohammadi H. & Moaiyeri, M., (2022). An Efficient Vehicle Tracking Approach for Traffic Density Detection in Intelligent Transportation Systems Using Image Processing, *Journal of Transportation Research*, 19(4), 227–238. https://dorl.net/dor/20.1001.1.17353459.1401.19.4.16.3.

-Montgomery, D. C. (2013), *Introduction to statistical quality control*, John Wiley & Sons.

-ONU, World Population Prospects (2019), Highlights, United Nations Department for Economic and Social Affairs, New York (US, 2019).

-Parsopoulos, K. E., & Vrahatis, M. N. (2002). Particle swarm optimization method in multi objective problems. *Proceedings of the 2002*

A Meta-Heuristic Algorithm for Clustering and Monitoring Traffic Streams Using the Integrated Approach of Particle Swarm Optimization Algorithm and Shuhart Control Charts

Seyed Mohammad Mehdi BaniHosseini, Ph.D., Student, Industrial Engineering Department, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran.

Vahid Baradarn, Associate Professor, Engineering Faculty, Islamic Azad University, Hakimieh, Bahaee Highway, Tehran, Iran.

Mohammad Hadi Doroudian, Ph.D., Grad., Industrial Engineering Department, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran.

E-mail: v_baradaran@iau-tnb.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

Traffic monitoring and control in urban and intercity highways plays an effective role in increasing the efficiency of resources and infrastructure, as well as increasing the satisfaction of the stakeholders of transportation systems. Analyzing random traffic variables such as traffic and speed and diagnosing and predicting their unusual situations, which generally indicate the existence of traffic crises, is one of the approaches to monitoring traffic flow and solving traffic problems in metropolises. In this article, by using the data collected by traffic sensors, the data related to traffic variables have been grouped using an innovative algorithm based on the particle swarm optimization method in terms of the traffic situation. The grouped data were used to calculate suitable control limits for time intervals, and the results indicate the high performance of this method. For this purpose, in the first step, using an innovative method based on particle swarm optimization, the training data is grouped based on the values of traffic variables, including density, traffic and speed, and then the appropriate group is identified for each variable value. In the next step, the traffic situation is calculated for the clusters and hours of the day, and based on that, superior and standard control charts are drawn. The obtained results indicate the appropriate accuracy of the proposed system in traffic monitoring.

Keywords: Particle Swarm Optimization, Clustering, Intelligent Traffic Control, Shohart Control Chart, Traffic Situation