پایش و مقایسه رویکردهای مختلف پیش‌بینی کوتاه مدت پارامترهای ترافیک شهری و شبیه‌سازی آن به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر لندن)

مقاله علمی – پژوهشی

حسن امامی*، دانشیار، گروه نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی مرند، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
امیر رفعتی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی مرند، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: h_emami@ut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
صفحه۴۶۲-۴۴۳

چکیده

هدف این تحقیق، مقایسه روش‌های مختلف برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت پارامترهای ترافیک شهری و همچنین شبیه‌سازی پارامترهای ترافیکی در محیط متلب و انتخاب بهینه پارامترهای مؤثر آن با سیستم اطلاعات مکانی، به عنوان مکمل سیستم اطلاعات حمل‌ونقل است. برای این منظور از سه روش مختلف پیش‌بینی کوتاه‌مدت پارامترهای ترافیکی، روش چندجمله‌ای کلاسیک، الگوریتم شبکه‌های عصبی و چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک به همراه دو روش کاهش خطا استفاده شد. همچنین، پارامترهای ترافیک شهری جریان و سرعت برای کنترل ترافیک آینده شبیه‌سازی شدند. به دلیل عدم دسترسی به داده‌های ترافیکی منظم در ایران، داده های تحقیق برای این مطالعه از داده های سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ در لندن با رفتار ترافیکی مشابه در طول هفته انتخاب گردید. مسیرهای مورد مطالعه در این پژوهش، جمعاً بطول ۱۵/۸۴ کیلومتر، تحت نام‌های LM561-LM563-LM557-LM555 مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ به‌عنوان داده‌های آموزشی، داده‌های اعتبارسنجی و داده‌های مرجع برای اعتبارسنجی، به ترتیب مورد استفاده قرار گرفتند. به طور کلی، نتایج نشان داد که مدل چندجمله‌ای کلاسیک در پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت خیلی موفق و کارآمد نیست، اما مدل چند جمله‌ای مبتنی بر ژنتیک و شبکه‌های عصبی موفق عمل کردند. علاوه بر این، یافته‌های کمی چهار مسیر مطالعاتی بر حسب خطای جذر میانگین مربعات نشان داد که سه روش چندجمله‌ای کلاسیک، چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک و شبکه‌های عصبی برای پارامتر ترافیکی جریان به ترتیب برابر با ۱۳/۹۱، ۰/۷۸و ۰/۲۲ و برای پارامتر سرعت به ترتیب برابر با ۵/۲۰، ۰/۷۸و ۰/۱۹ می‌باشند. به عبارت دیگر، دقت پیش‌بینی پارامتر جریان ترافیک در روش‌های چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک و شبکه‌های عصبی به ترتیب تقریباً ۱۸ و ۶۳ برابر بهتر از روش چند جمله‌ای کلاسیک و دقت پیش‌بینی پارامتر سرعت تقریباً ۷ و ۲۷ برابر بهتر بود.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی کوتاه مدت پارامترهای ترافیک، حمل و نقل، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شبکه‌های عصبی، شبیه سازی

۱- مقدمه

امروزه با افزایش حجم، گسترش و تقاضای روزافزون حمل و نقل، ترافیک شهری به یکی از چالش‌های پیشروی کلان‌شهرها در جهان تبدیل شده است. با پیشرفت سریع شهرنشینی و افزایش جمعیت شهرها، زیرساخت‌های حمل‌ونقل‌شهری متناسب با این افزایش توسعه نیافته است و این امر باعث بروز مشکلات ترافیک شهری گردیده است. افزایش ترافیک شهری، باعث افزایش آلودگی هوا، آلودگی صوتی، افزایش مصرف سوخت، اتلاف وقت، انرژی و هزینه‌های تحمیلی ناشی از آن‌ها را دارد. با نگاهی به پیشرفت‌های حاصل در تکنولوژی ارتباطات و الکترونیک ازدهه ۱۹۸۰، سیستم‌های

حمل‌ونقل‌هوشمند[1] به عنوان سیاست کلی کشورهای پیشرفته در بخش حمل‌ونقل مطرح گردید. در این خصوص پروژه‌های گسترده‌ای از سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند از اواخر دهه شصت در سطح جهان به اجرا درآمدند. از آن جمله، می‌توان به پروژه‌های سیستم راهنمای الکترونیکی مسیر[2]، سیستم کنترل ترافیک شهری[3]، سیستم راهنمای سبقت[4]، سیستم اعلام خطر فلش[5] و غیره اشاره نمود (پورجوان، ۲۰۱۹ فریبرزی وهمکارانش، ۲۰۰۲). سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، یکی از روش‌های موثر در کنترل و مدیریت بهینه مشکلات ترافیکی بوده و در این میان پیش‌بینی کوتاه مدت ترافیک یکی از نکات کلیدی در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند است (Ai et al. 2020; Guo et al. 2017; qiao et al. 2007; Xiangxue et al. 2019).

پیش‌بینی کوتاه مدت پارامترهای ترافیک می‌تواند اطلاعات مفیدی در اختیار مسافران و مدیران شبکه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند قرار دهد(Chen and Chen, 019). با پیشرفت علوم و فنآوری‌های در حوزه ترافیک، تجهیزات جمع‌آوری خودکار داده‌های جریان ترافیک که در جاده‌ها نصب می‌شوند، امکان آنالیز و پیش‌بینی کوتاه مدت جریان ترافیک را میسر ساخته است (Liu et al. 2015). در دهه‌های گذشته، مطالعات زیادی به پیش‌بینی جریان ترافیک، مقدار سرعت وسایل نقلیه و سایر پارامترهای ترافیک اختصاص یافته است. (آزموده و همکارانش ۲۰۱۷; بزی و همکارانش ۲۰۱۰; پوراحمـــد و همکارانش ۲۰۱۲; حدادی و همکارانش ۲۰۱۷; قربانی و عظیمی ۲۰۱٤; متکان و همکارانش ۲۰۱۷; منشادی و همکارانش ۲۰۱۵; یغفوری و همکارانش ۲۰۱٦). اغلب روش‌های پیشنهادی شامل تحلیل‌های سری‌های زمانی(Chen et al. 2008; Dadashova et al. 2020)، روش کالمن فیلترینگ (Aydos et al. 2009; Emami et al. 2019)، روشهای رگرسیون پارامتریک و غیرپارامتریک (Djenouri et al. 2019; Kamarianakis et al. 2010)، روش ماشین بردار پشتیبان (Ling et al. 2017; Mei et al. 2020) و روش‌های شبکه‌های عصبی (Kumar 2020; عباسی و همکارانش ۲۰۱۳; متکان و همکارانش ۲۰۱۷) می‌باشند. با این وجود، رسیدن به دقت‌های بالاتر به دلیل ساختار پیچیده ترافیک و عوامل ناشناخته، به طور اجتناب ناپذیری خطاهایی را در محاسبات وارد می‌کند. عباسی و همکارانش (۲۰۱۳) با بررسی پیش‌بینی‌پذیری ترافیک شهری مبتنی بر تئوری آشوب و پیش‌بینی جریان ترافیک شهر مشهد مبتنی بر سیستم فازی- عصبی تطبیقی چندگانه پرداختند. آنها با بکارگیری تئوری آشوب به بررسی پیش‌بینی‌پذیری جریان ترافیک شهری پرداخته و غیرتصادفی بودن سری زمانی حجم ترافیک را مورد بررسی قرار دادند. با اینکه روش آن‌ها حجم محاسباتی بالا و سطح اتوماسین پایین دارد، ولی حسن روش آنها استفاده از تئوری آشوب و محاسبه نمای لیاپانوف در پیش‌بینی ترافیک بود (نمای لیاپانوف مشخص می‌کند که یک فاصله بسیار کوچک بین دو حالت که در ابتدا بسته بوده‌اند، با چه سرعتی در طول زمان رشد می‌کند). مهدویان و همکارانش (۲۰۱۵) از قوانین انجمنی و شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده کردند. روش آن‌ها با اینکه حجم محاسباتی بالایی دارند ولی نتایج پیش‌بینی پارامترهای ترافیک را با دقت بالای بدست می‌آورد. همچنین، متکان و همکارانش (۲۰۱۷) از یک مدل هوشمند مکانی، به منظور یافتن مسیرهای بهینه در شبکهٔ حمل‌ونقل شهری استفاده کردند. علوی و همکارانش (۲۰۲۰) در تحقیقی الگوریتمی مبتنی بر کاهش مسیر عبوری برای رسیدن یک بسته از مبدأ به مقصد را ارائه دادند؛ الگوریتم آنها قادر بود علاوه بر بالابردن قابلیت اطمینان، باعث کاهش تأخیر، توان مصرفی و افزایش کارآیی شبکه ترافیک گردد. Nakata و همکارانش (۲۰۰٤) از روش رگرسیون برای پیش‌بینی پارامترهای ترافیک استفاده کردند. با اینکه روش آنها پیش‌بینی زمان حرکت را فقط در یک خیابان انجام می‌داد، ولی از سطح اتوماسیون بالایی برخوردار بود. در مطالعه آن‌ها، از داده‌های جمع‌آوری شده توسط تاکسی‌های کاوشگر در ناگویای ژاپن استفاده کردند. Vlahogianni و همکارانش (۲۰۰۵) از روش شبکه‌های عصبی و ژنتیک برای طراحی مدل پیش‌بینی جریان ترافیک در کوتاه‌مدت استفاده نمودند. آنها از روش نزول گرادیان برای آموزش مدل‌ها استفاده کردند. محدودیت روش آنها تعیین پارامترهای شبکه‌های عصبی بصورت دستی و سطح پایین اتوماسیون بود.Shekhar و همکارانش (۲۰۰۱) از داده‌کاوی برای بدست آوردن الگوهای داده‌های ترافیکی شهر شامل، شماره سنسور، موقعیت مکانی و مختصات آن، حجم و درصد زمانی که سنسور با یک وسیله نقلیه مشغول بوده است، استفاده کردند. آنها روش درخت تصمیم‌گیری با الگوریتم K-Means که از معیار شباهت حجم در هر ایستگاه در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری، استفاده

می‌کند، بکار بردند. عبداللهی و همکارانش (۲۰۰۲) با استفاده از شبکه‌های عصبی TDNN[۶] مدلی را برای پیش‌بینی جریان ترافیک در کوتاه مدت ارائه نمودند. مبنای آموزش مدل‌ها استفاده از روش نزول گرادیان بود. در تحقیق آنها، از الگوریتم دیگری برای طراحی ساختار کلی شبکه‌های TDNN شامل ورودی‌ها (زمان بازگشت)، تعداد سلول‌های پنهان و نرخ یادگیری استفاده کردند. با اینکه روش آنها حجم محاسباتی بالا داشت ولی دارای این مزیت بود که پارامترهای شبکه‌های عصبی بصورت اتوماتیک قابل تعیین بود. Ntoutsi و همکارانش (۲۰۰۸) مسائل تحلیل ترافیک در شبکه راه، را به منظور بهینه کردن جریان ترافیک انجام دادند. در مطالعه آنها، شبکه راه به صورت گراف‌هایی درنظر گرفته شد و از این گراف‌ها برای تحلیل جریان یافتن ارتباطات ترافیکی مثل انتشار، تجزیه و ترکیب در بخش‌های راه بهره بردند. در بررسی آنها، برای تشخیص ارتباطات ترافیکی (انتشار، تجزیه و ترکیب) معیارهایی برای شباهت مابین سری‌های زمانی مختلف شبکه تعریف شد که این شباهت‌ها براساس مقدار، شکل و ساختار مابین دو لبه ترافیکی ایجاد شدند. Kusakabe و همکارانش (۲۰۱۰) از داده‌کاوی برای تحلیل جریان ترافیک استفاده کرده‌اند. در مطالعه آن‌ها، از روش بصری‌سازی برای یافتن الگوهای جریان ترافیک، استفاده کردند. داده‌های مورد استفاده از بزرگراه‌های توکیو بود، که شامل حجم، سرعت و تعداد خودرو در هر دقیقه، بودند. داده‌های جمع‌آوری شده در فضای سه‌بعدی که شامل محورهای زمان در روز، تاریخ و مقدار مشاهده شده نمایش داده بود، استفاده گردید. صفحه مختصات "روز – تاریخ" تغییرات جریان به صورت روز به روز و صفحه مختصات "زمان – مقدار" تغییرات در یک روز مشخص را نشان می‌داد.Pelekis و همکارانش (۲۰۰۹) از الگوریتم FCM[۷] برای خوشه‌بندی داده‌های خط سیر استفاده کرده‌اند. در تحقیق آنها، از مجموعه داده‌های واقعی که توسط سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای[۸] برداشت شده بود، استفاده کردند. این مجموعه داده، توسط ۵۰ کامیون مجهز به گیرنده‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای در منطقه آتن، بین ماه‌های آگوست و سپتامبر ۲۰۰۲ جمع‌آوری شده بودند. در این مطالعه، منطقه مورد مطالعه به شبکه‌ای منظم با اندازه سلول‌های ۱۰۰×۱۰۰ متر مربع تقسیم شد و داده‌ها را به فاصله زمانی P با ابعاد یکسان تقسیم کردند. همچنین، آنها برای بهینه‌سازی مراکز از معیار فاصله و تراکم (تعداد خط سیرهایی که از یک سلول عبور کردند) استفاده کردند. Liu و همکارانش (۲۰۱۵) با استفاده از الگوریتم توده ذرات ترکیبی بهینه، شبکه‌های عصبی را مورد آموزش قرار داده و با استفاده از داده‌های محور ترافیکی شمال–جنوب شانگهای در ماه سپتامبر، جریان ترافیک را به کمک شبکه‌های عصبی مورد پیش‌بینی کوتاه مدت قرار دادند. Ding در سال ۲۰۱۹ کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی را در ساخت بستر اطلاعات چندرسانه‌ای جهت اشتراک‌گذاری ترافیک شهری، بکار بردند. آنها ابتدا وضعیت ترافیک فعلی و توسعه سیستم اطلاعات چندرسانه‌ای ترافیک هوشمند را در چین بررسی کردند و با معرفی مفاهیم اساسی سیستم اطلاعات جغرافیایی، به عنوان سیستم مدیریت ترافیک هوشمند شهری مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آنها اذعان کردند، با استفاده از سیستم اطلاعات چندرسانه‌ای جغرافیایی در مدیریت هوشمند ترافیک شهری، می‌توان مدیریت واحد و بروز اطلاعات ترافیک را تحقق بخشید. امامی و همکارانش (۲۰۱۹) از الگوریتم فیلتر کالمن برای پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه‌مدت استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد الگوریتم پیشنهادی‌شان، می‌تواند جریان ترافیک را برای نرخ‌های مختلف نفوذ وسایل نقلیه متصل (نسبت تعداد وسایل نقلیه متصل به تعداد کل وسایل نقلیه) پیش‌بینی کند. همچنین، روش آنها از نظر محاسباتی کارآمد بوده و پیش‌بینی زمان واقعی را ارائه می‌داد. پورجوان (۲۰۱۹) در تحقیقی، تبیین شهر هوشمند و راه‌کارهای حمل‌ونقل هوشمند شهری را بررسی کردند. آنها پس از معرفی اهداف اصلی شهر هوشمند، سیستم‌های پیشرفته در سیستم حمل‌ونقل را مورد واکاوی قرار دادند و سپس با بررسی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری به ارائه راه‌حل‌های مناسب پرداختند. Ai و همکارانش (۲۰۲۰) پیش‌بینی کوتاه‌مدت سرعت جاده بر اساس الگوریتم شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی ترکیبی[۹] (RBF) به کمک تکنیک‌های مبتنی بر سیستم فازی در جریان ترافیک شهری پرداختند. آنها با ترکیب سیستم منطق فازی و شبکه عصبی RBF، یک ساختار شبکه عصبی RBF فازی پیشنهاد کردند. سپس، عواملی مانند آب و هوا، تعطیلات و درجات جاده را به لایه‌های ورودی وارد کردند. نتایج آنها نشان داد، در مقایسه با روش‌های پیش‌بینی ساده، مانند شبکه عصبی BP و روش سری زمانی، شبکه عصبی ترکیبی RBF دارای دقت پیش‌بینی بالاتری است. Kumar در سال ۲۰۲۰، پیش‌بینی

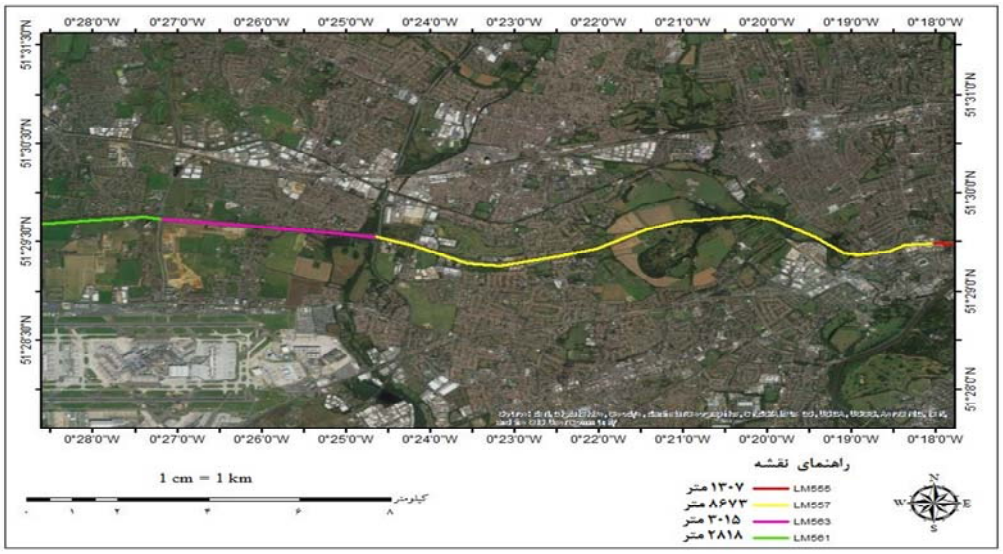
ترافیک مبتنی بر ویدیو، با استفاده از مدل شبکه عصبی همگرایی و تکنیک‌های یادگیری انتقال را بکار بردند. هدف آنها جایگزینی سیگنال‌های راهنمایی و رانندگی با سیستم‌های هوشمند و جریان ویدئو برای تجزیه- تحلیل و نگهداری از ترافیک در سطح شهر بود. بدیهی است، با توجه به پویایی، پیچیدگی مسئله ترافیک، وجود پارامترهای زیاد در کنترل، بررسی وضعیت ترافیک، وابستگی غیرخطی پارامترها با یکدیگر و پیش‌بینی پارامترهای ترافیک را مشکل‌تر ساخته است. با توجه به اینکه، در سال‌های اخیر علوم کامپیوتر و فنآوری‌های مربوط به حسگرهای بی‌سیم، رشد چشم‌گیری داشته است، لذا در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند نیز حجم داده‌های ترافیکی که به وسیله انواع مختلفی از حسگرها جمع‌آوری و ذخیره می‌شوند، روز به روز بیشتر شده است. بنابراین استفاده از تکنولوژی داده‌کاوی می‌تواند کمک شایانی در کاهش حجم محاسبات نماید و سرعت فعالیت‌های مربوط به مدیریت ترافیک و پیش‌بینی آن را تسریع بخشد. لذا این امر مستلزم به کارگیری روش‌های موثر پردازش‌های داده‌کاوی در جهت کشف قوانین، روابط و الگوهای ترافیکی برای کمک به کنترل برخط وضعیت ترافیک و ارائه اطلاعات مفید در جهت مدیریت بهینه آن است. یکی از سامانه‌هایی که می‌تواند در زمینه مدیریت ترافیک به کمک سامانه حمل‌ونقل هوشمند بیاید، سامانه اطلاعات مکانی یا جغرافیایی است. این سامانه، مجموعه‌ای از ابزارها را برای ترسیم، ویرایش، آماده‌سازی و آنالیز توام داده‌های مکانی- توصیفی بکار می‌گیرد. در سامانه اطلاعات جغرافیایی، هر شی مکانی، یک عارضه نامیده می‌شود. داده‌های مکانی شامل هرگونه داده و فایلی می‌باشد که بیانگر موقعیت و شکل عوارض می‌باشد. در این سامانه، برای نمایش عوارض مصنوعی و طبیعی موجود، از سه دسته عوارض نقطه‌ای، خطی و چندضلعی استفاده می‌شود. بعنوان مثال چراغ‌های راهنمایی، علائم و تابلوهای ترافیکی و خودروها و بسیاری موارد دیگر، از انواع عوارض نقطه‌ای محسوب می‌شوند. همچنین شبکه معابر، مسیرهای ویژه دوچرخه‌سواری و خطوط ویژه اتوبوس از انواع عوارض خطی‌اند. محدوده طرح ترافیک، نواحی ترافیک، نواحی ترافیکی شهری نیز از انواع عوارض چند ضلعی هستند. بخش مهم دیگر سامانه اطلاعات مکانی ایجاد پایگاه داده اطلاعات توصیفی است. در مورد یک عارضه داده‌های بیشتری از شکل و موقعیت آن را می‌توان ذخیره نمود. به عنوان مثال، برای مسیرهای و معابر، علاوه بر شکل و موقعیت آن می‌توان اطلاعات مربوط به پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت و زمان اوج ترافیک و غیره را ذخیره نمود. تلفیق و ارتباط میان سیستم اطلاعات جغرافیایی با سیستم اطلاعات حمل‌ونقلی موجب تسهیل دسترسی به اطلاعات ترافیکی می‌شود. در واقع هدف از ایجاد سیستم اطلاعات جغرافیایی برای سامانه حمل‌ونقل، تشکیل یک پایگاه اطلاعاتی مرتبط بین اطلاعات حمل‌ونقل و سیستم اطلاعات مکانی می‌باشد. اطلاعات مربوط به حجم ترافیک، محدودیت سرعت در معابر، محل وقوع تصادفات، ویژه‌گی‌های هندسی راه، موقعیت تقاطع‌های چراغ‌دار و نیز مراکز جذب سفر نظیر ادارات، موسسات آموزشی، مراکز تجاری و نظایر آن از جمله موارد مهم پایگاه اطلاعات حمل‌ونقل است. سامانه اطلاعات جغرافیایی حمل‌ونقل در واقع ابزاری برای بهبود نحوه برنامه‌ریزی و طراحی پروژه‌های حمل‌ونقلی و ترافیک است. مهمترین بخش ایجاد سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه داده‌های مکانی و پایگاه داده اطلاعات توصیفی می‌باشد. بدین منظور علاوه بر داده‌های ترافیکی خام که توسط دستگاه‌ها و دوربین‌های کنترل ترافیک فراهم می‌شود، ورود اطلاعات پردازشی ترافیکی (اطلاعات ترافیکی روزها و هفته‌های آتی) به این سامانه نیز ضروری به نظر می‌رسد که این پژوهش با هدف آماده‌سازی این اطلاعات انجام گرفته است. بطور کلی اهم نوآوری و یافته‌های تحقیق حاضر را می‌توان بصورت زیر خلاصه کرد. الف) بکارگیری و مقایسه روش‌های مختلف پیش‌بینی کوتاه‌مدت پارامترهای ترافیکی شامل، روش‌های مرسوم چندجمله‌ای‌های کلاسیک، روش‌های هوش مصنوعی نظیر الگوریتم شبکه‌های عصبی و چندجمله‌ای‌های مبتنی بر ژنتیک، در پیش‌بینی دقیق پارامترهای ترافیک شهری و تعیین درجه بهینه مدل های ریاضی آن با بکار گیری دو روش تقلیل خطا. ب) شبیه‌سازی پارامترهای ترافیک شهری جریان و سرعت با بکارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی بعنوان مکمل سامانه اطلاعات حمل‌ونقلی طوریکه از توابع مختلف سامانه اطلاعات جغرافیایی برای به اشتراک‌گذاری و انتخاب بهینه پارامترها و مسیر حرکت عوارض جنبشی در شبیه‌سازی استفاده گردیده است. همچنین در این تحقیق، جهت پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی و شبیه‌سازی آنها یک اپلکیشنی در محیط متلب برنامه‌نویسی و

طراحی گردیده است. در قسمت شبیه‌سازی پارامترهای ترافیکی این اپلیکیشن، سعی شده است که اکثرا پارامترهای مورد نیاز برای شبیه‌سازی و روش نمایش شبیه‌سازی بصورت پویا[10] انتخاب می‌گردند. ج) یکی از تحلیل‌های پرکاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی یافتن پارامترهای بهینهٔ مسیر بین نقاط متوالی در شبکهٔ حمل‌ونقل شهری با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی است. با درنظرگرفتن هم‌زمان تمامی پارامترهای مؤثر در انتخاب و پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی مسیر، سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند بعنوان سیستم مکمل در کنار سامانه اطلاعات حمل‌ونقلی بکار گرفته شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده های تحقیق

روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری داده‌های ترافیکی به صورت سنتی و مکانیزه موجود است که با پیدایش سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، از روش‌های مکانیزه استفاده می‌شود. در این پژوهش، ابتدا هدف این بود که پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی داده‌های ترافیکی داخل کشور انجام گیرد اما با توجه به مشکلاتی که در زمینه تهیه داده‌های ترافیکی داخل کشور بود، استفاده از داده‌های داخلی میسر نشد. از اهم مشکلات داده‌های ترافیکی داخل کشور عبارت بودند از: عدم دسترسی مولفین و نبود داده‌های ترافیکی منظم برای تمام ساعات روز، نبود داده‌های ترافیکی کامل برای پارامترهای ترافیکی موردنیاز (زمان، جریان، سرعت و غیره)، نبود داده‌های ترافیکی برای سه دوره زمانی یکساله برای آموزش، تایید و ارزیابی روش پیشنهادی و نهایتاً عدم دسترسی آسان و به اشتراک‌گذاری داده‌های ترافیکی داخل کشور بود. لذا مجبور شدیم بدلیل عدم وجود داده‌های منظم ترافیکی در ایران، داده‌های مطالعاتی این پژوهش از داده‌های زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱٤ شهر لندن با رفتار ترافیکی مشابه در طول هفته انتخاب گردید. این داده‌ها برای سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱٤ به صورت کامل در سایت سازمان حمل‌ونقل انگلستان است که به مرور زمان داده‌ها تکمیل می‌گردد. بدلیل اینکه داده‌های بروز در اختیار و دسترسی عموم نیست، لذا داده‌ها با شیفت زمانی چندین ساله در اختیار عموم قرار می‌گیرد. بنابراین، در این تحقیق به اجبار از داده‌های منظم زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱٤ استفاده گردید. با توجه به اینکه نوع جاده‌های ارتباطی سطح شهر لندن دارای درجه‌بندی خاصی می‌باشد در این تحقیق بخشی از قسمت شریانی مسیر M4 مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل (۱) مسیر مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این مسیر جمعاً بطول ۱۵/۸٤ کیلومتر، تحت نام‌های LM561-LM563-LM557-LM555 و به ترتیب به طول ۱/۳۰، ۸/۷، ۲/۸۲، ۳/۰۲ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفت. هر داده اطلاعاتی مرتبط با مسیرهای مطالعاتی از چندین فیلد تشکیل شده است که شامل نام مسیر مطالعاتی، تاریخ برداشت داده، بازه زمانی داده (از صفر شروع و در طول ۲٤ ساعت شبانه‌روز به صورت بخش‌های پانزده دقیقه‌ای زمانی تقسیم شده که برای یک روز کامل ۹٦ قسمت زمانی است، که برای هر قسمت خیابانی که شروع و پایان آن مشخص است. این داده‌ها برای کل طول روز، کل هفته، کل ماه و کل سال گردآوری شده و بصوت فایل‌های جداگانه برای هر ماه از سال‌های مختلف در سایت سازمان حمل‌ونقل انگلستان قرار گرفته است)، متوسط زمان سفر، متوسط سرعت، کیفیت داده، طول مسیر و متوسط جریان ترافیک می‌باشد. در این پژوهش از سه مجموعه داده بنام‌های داده‌های آموزشی[11]، تایید[12] و مرجع[13] استفاده شده است. لازم به ذکر است، کیفیت داده‌ها به عنوان تناسب داده‌ها برای همه اهداف مورد نیاز آنها تعریف می‌شود (Turner 2004). شش معیار اصلی کیفیت داده شامل: دقت، کامل بودن، اعتبار و صحت داده‌ها، به موقع بودن[14]، پوشش و قابلیت دسترسی می‌باشد (Turner 2004). در این تحقیق، ابتدا با استفاده از داده‌های آموزشی پیش‌بینی اولیه پارامترهای ترافیک انجام گرفت و سپس با استفاده از داده‌های تایید، باقیمانده خطای ممکن در پیش‌بینی اولیه پارامترهای ترافیک محاسبه می‌شود و به مقادیر اولیه پیش‌بینی شده پارامترهای ترافیک اعمال می‌گردد تا مقادیر نهایی پیش‌بینی پارامترها بدست آیند. در نهایت، مقادیر نهایی پیش‌بینی پارامترهای ترافیک با داده‌های مرجع مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. جدول ۱ نمونه‌ای از داده‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد.

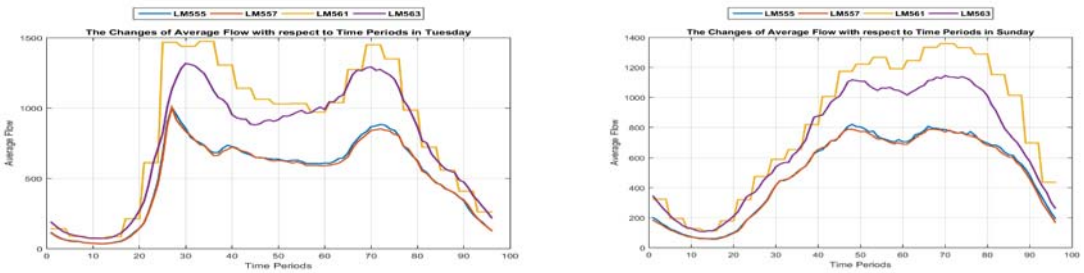


شکل ۱. مسیرهای مورد مطالعه در این پژوهش

جدول۱. نمونه‌ای از فایل اطلاعات ترافیک مربوط به مسیر مورد مطالعه

LinkRef	Date	TimePeriod	AverageJT	AverageSpeed	DataQuality	LinkLength	Flow
LM555	1/1/2012 0:00	0	54.34	80.82	3	1.22	88.88
LM555	1/2/2012 0:00	1	57.71	76.1	3	1.22	90.82
LM555	1/3/2012 0:00	2	57.04	77	3	1.22	88.88
LM555	1/4/2012 0:00	3	61.25	71.71	3	1.22	98.07
LM555	1/5/2012 0:00	4	64.64	67.95	3	1.22	109.69
LM555	1/6/2012 0:00	5	58.02	75.7	3	1.22	109.69

در این پژوهش، فرض بر این قرار گرفته است که در هر مسیر، داده‌های ترافیکی هر روز هفته یعنی شنبه، یکشنبه، تا جمعه رفتار ترافیکی مشابه‌ای دارند. بعنوان مثال، رفتار ترافیکی یک روز هفته مثل شنبه در مسیر A با رفتار ترافیکی شنبه‌های آینده همان مسیر مشابه می‌باشد و یا در مسیر A، رفتار ترافیکی یک روز مثل یکشنبه که در جوامع اروپایی تعطیل می‌باشد با رفتار ترافیکی سایر یکشنبه‌ها همان مسیر مشابه می‌باشد که با بررسی داده‌های مورد مطالعه صحت این مطلب اثبات گردید. برای بررسی این قضیه کل داده‌های آموزشی، تایید و مرجع (داده‌های سال ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) بر حسب نوع روز هفتگی یعنی شنبه، یکشنبه، تا جمعه تفکیک می‌گردند. بنابراین داده‌های مورد مطالعه هر مسیر و هر نوع داده (آموزشی، تایید و مرجع) بطور جداگانه به هفت کلاس تفکیک می‌گردند و با میانگین‌گیری از داده‌های هر کلاس برای هر مسیر و هر نوع داده (آموزشی، تایید و مرجع) یک الگوی کلی برای آن کلاس بدست می‌آید. در شکل‌های۲ الف و ب بعنوان نمونه، الگوی کلی هر کلاس (نوع روز) برای هر کدام از پارامترهای ترافیکی سرعت و جریان نشان داده شده است.

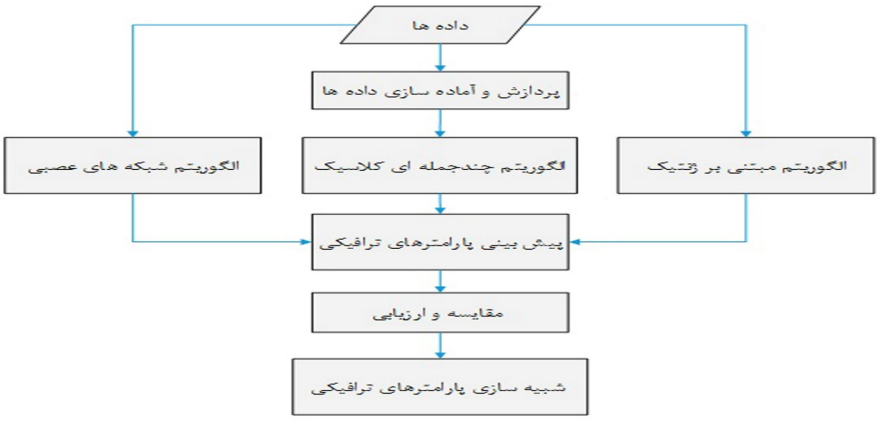


شکل ۲. الگوی کلی هر کلاس (نوع روز) برای پارامتر ترافیکی جریان در داده‌های آموزشی (داده‌های سال ۲۰۱۲)

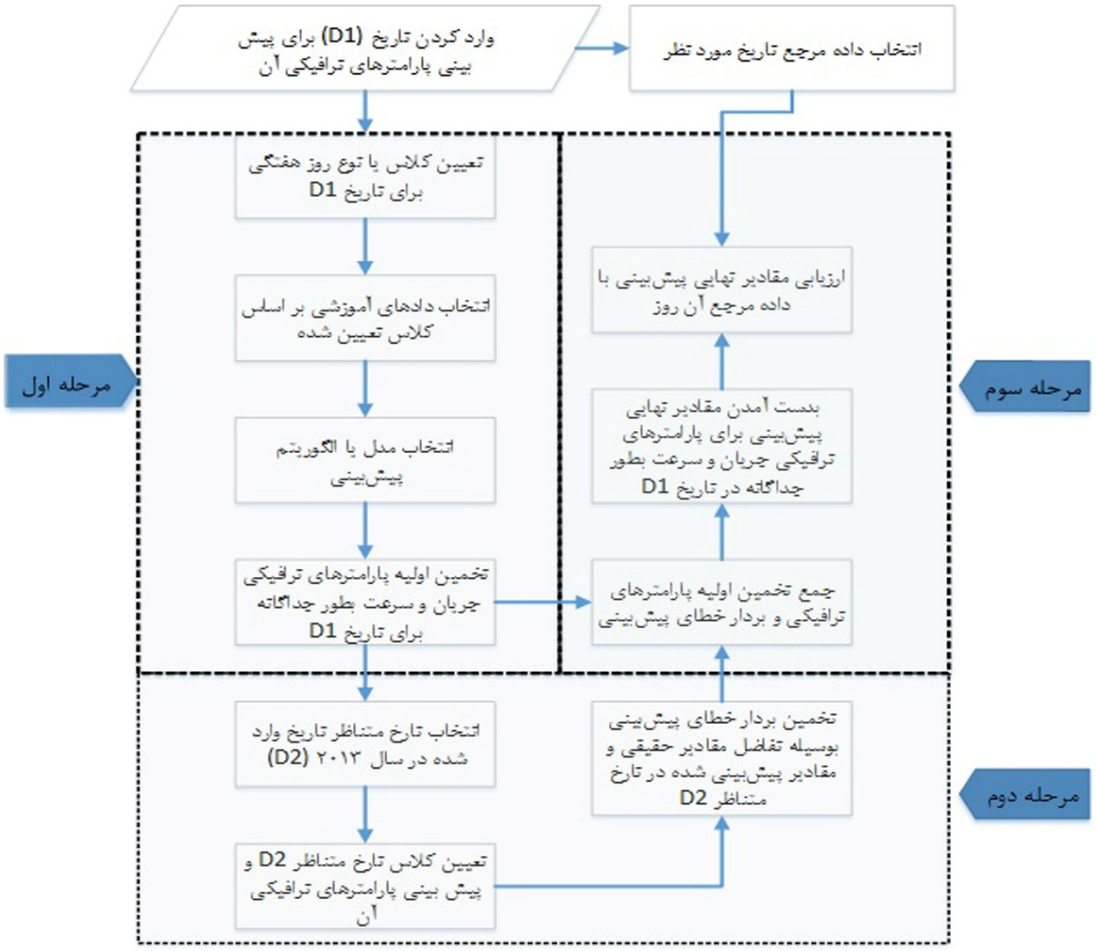
البته لازم به ذکر می‌باشد که در روند پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی فقط نیاز به تفکیک داده‌های آموزشی (داده‌های سال ۲۰۱۲) بر حسب نوع روز هفتگی یعنی شنبه، یکشنبه، تا جمعه می‌باشد. همچنین، فقط نیاز به تولید یک الگوی کلی برای هر کلاس در داده‌های آموزشی می‌باشد و تفکیک داده‌های تایید و مرجع بر حسب نوع روز هفتگی صرفاً برای بررسی فرض در نظر گرفته شده در این تحقیق می‌باشد. بعد از تولید الگوی کلی برای هر کلاس در داده‌های آموزشی، نیاز به حذف نویزهای هر کلاس می‌باشد، بدین منظور تمام روزها، داده‌های آموزشی بعد از تعیین اینکه به کدام نوع کلاس تعلق دارد با الگوی میانگین آن کلاس مقایسه می‌شود و در صورتی که روند ترافیکی روز مورد نظر با الگوی میانگین آن کلاس بیش از یک مقدار آستانه مغایر باشد، آنگاه روز موردنظر از پروسه پیش‌بینی ترافیک حذف می‌گردد. لازم به ذکر هست که روند حذف اغتشاشات هر کلاس برای هر کدام از پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت جداگانه انجام می‌گیرد. در این تحقیق در روند حذف نویزها برای هر ٤ مسیر از مقادیر آستانه ۱۰۰ و ٤٠ به ترتیب برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت استفاده شده است، دلیل این تفاوت در مقادیر آستانه متفاوت‌بودن محدوده مقادیر پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت می‌باشد.

۲-۲- روش تحقیق

روش پیشنهادی در این تحقیق دارای چهار مرحله اصلی است. ابتدا داده‌های مورد مطالعه پیش‌پردازش می‌شوند و سپس با استفاده از سه الگوریتم چندجمله‌ای کلاسیک[۱۵]، چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک[۱۶] و شبکه‌های عصبی[۱۷] پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی انجام می‌گیرد و در ادامه، نتایج هر سه روش مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند و سپس پارامترهای ترافیکی حاصل شبیه‌سازی و تحلیل می‌گردد. در شکل ۳، روند انجام تحقیق حاضر نشان داده شده است. در پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌های ترافیکی، ابتدا برای هر کدام از مسیرهای مطالعاتی داده‌های آموزشی، تایید و مرجع مشخص و جداسازی می‌شوند. با بررسی رفتار ترافیکی داده‌ها در روزهای مختلف هفته مشخص گردید که روزهای مختلف رفتار ترافیکی مشابه دارند. بر این اساس داده‌های مطالعاتی هر مسیر (آموزشی، تایید و مرجع) بطور جداگانه به هفت کلاس (هر روز مشخص به عنوان یک کلاس مجزا درنظر گرفته شده است) تفکیک می‌گردند و با میانگین‌گیری از داده‌های هر کلاس برای هر مسیر و هر نوع داده (آموزشی، تایید و مرجع) یک الگوی کلی برای آن کلاس حاصل گردید. لازم به ذکر است که در روند پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی فقط نیاز به تفکیک داده‌های آموزشی (داده‌های سال ۲۰۱۲) بر حسب نوع روز هفتگی جهت تولید یک الگوی کلی برای هر کلاس در داده‌های آموزش می‌باشد و تفکیک داده‌های تایید و مرجع بر حسب نوع روز هفتگی صرفاً برای بررسی مشابه بودن رفتار ترافیکی در روزهای مختلف هفته می‌باشد.



شکل ۳. روند انجام تحقیق



شکل ٤. پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی

همچنین پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی در سه مرحله کلی انجام گرفت. ابتدا با استفاده از داده‌های آموزشی پیش‌بینی اولیه پارامترهای ترافیک صورت گرفت و سپس با استفاده از داده‌های تایید، باقیمانده خطای ممکن در پیش‌بینی اولیه پارامترهای ترافیکی محاسبه گردید. در مرحله بعد باقیمانده خطای ممکن در پیش‌بینی اولیه پارامترهای ترافیکی به مقادیر اولیه پیش‌بینی شده پارامترها اعمال گردید. سپس مقادیر نهایی پارامترهای ترافیک پیش‌بینی شده با داده‌های مرجع مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفت. روند پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی در شکل ٤ نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

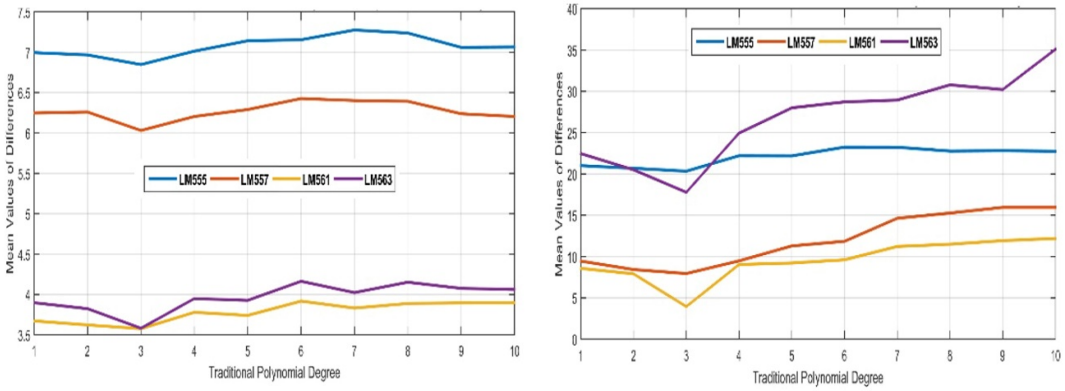
۳-۱- پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی با الگوریتم چندجمله‌ای کلاسیک

جهت پیش‌بینی اولیه پارامترهای ترافیکی با استفاده از الگوریتم چندجمله‌ای کلاسیک، نیاز به برازش پارامترهای ترافیکی سرعت و جریان در داده‌های آموزشی جهت تعیین درجه بهینه چندجمله‌ای می‌باشد. بدین منظور بعد از مشخص نمودن داده‌های آموزشی کلاس موردنظر، زمان پریود[۱۸] رو بعنوان ورودی و پارامتر ترافیکی جریان یا سرعت را بعنوان خروجی در نظر گرفته و با معرفی تک‌تک داده‌های آموزشی ماتریس معادلات را تشکیل و ضرایب چندجمله‌ای با استفاده از روش کمترین مربعات برآورد می‌شوند. یک بحث در این روش انتخاب درجه صحیح چندجمله‌ای می‌باشد که با بررسی انجام گرفته در این زمینه مشخص گردید که چندجمله‌ای درجه سه بهترین نتایج را ارائه می‌دهد. برای انجام این بررسی، روند پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی را برای ۱۰ درجه چندجمله‌ای یعنی از درجه یک تا ده برای تمام روزهای سال ۲۰۱٤ انجام گرفت و از قدرمطلق خطای پیش‌بینی در هر تایم پریود در طول یکسال میانگین‌گیری شد، یعنی برای هر درجه چندجمله‌ای از ۹٦X۳٦٥=۳٥۰٤۰ تایم پریود میانگین‌گیری شد.

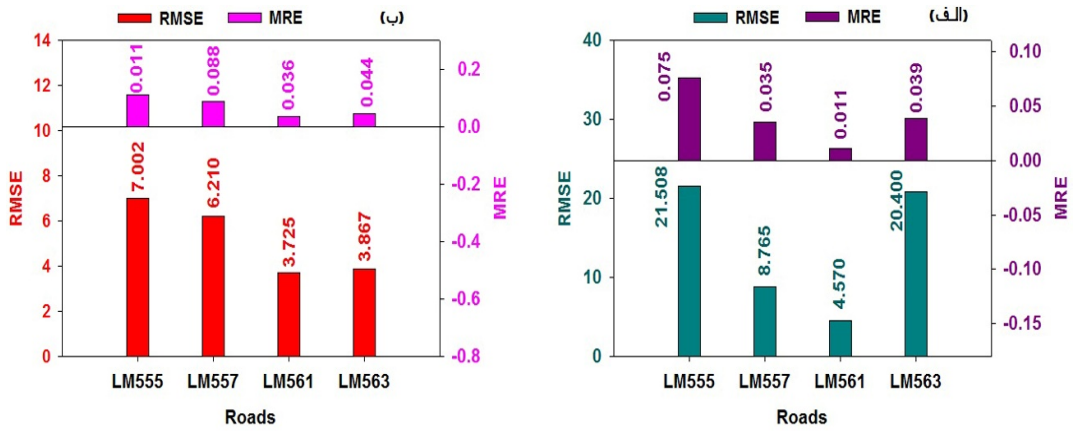
نتایج این بررسی‌ها برای هر کدام از پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت در شکل‌های ۵ الف و ب نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، در تمامی مسیرها و برای هر دو پارامتر ترافیکی جریان و سرعت، چندجمله‌ای درجه سه بهترین نتایج یا کمترین خطای پیش‌بینی را ارائه داده است که این مطلب بیانگر آن می‌باشد که در مقایسه با سایر درجه‌های چندجمله‌ای، چندجمله‌ای درجه سه با داده‌های ترافیکی مسیرهای مطالعاتی بیش‌ترین تطبیق را دارا می‌باشد. همچنین نتایج این بررسی نشان داد که مقادیر خطای پیش‌بینی در تمامی درجه‌های چندجمله‌ای و برای هر دو پارامتر ترافیکی جریان و سرعت برای مسیر سوم یعنی LM561 کمتر از سایر مسیرهاست که این مطلب حاکی از مطابقت داشتن داده‌های ترافیکی مسیر سوم با مدل چندجمله‌ای کلاسیک نسبت سایر مسیرهاست. همچنین جهت ارزیابی خطاهای پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت در این روش، برای تمام روزهای سال ۲۰۱۴، پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت پیش‌بینی با استفاده از روش چندجمله‌ای کلاسیک درجه سه پیش‌بینی می‌شوند.

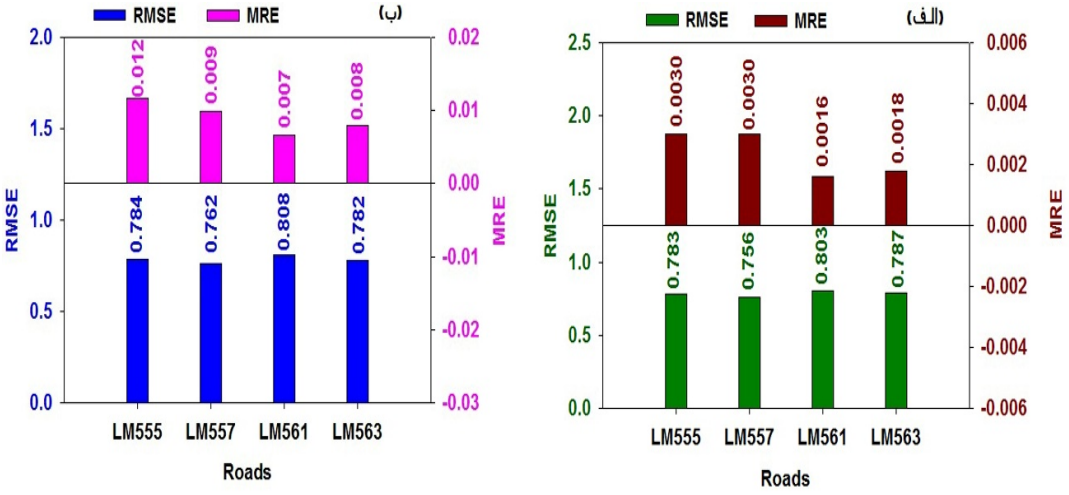
سپس از مقادیر شاخص‌های بدست آمده برای هر روز در طی یکسال میانگین‌گیری انجام می‌گیرد. جهت ارزیابی نتایج پیش‌بینی پارامترهای ترافیک از دو شاخص مجذور میانگین مربعات خطا[19] و میانگین خطای نسبی[20] استفاده گردید. نتایج این پیش‌بینی در شکل ٦ الف و ٦ب نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین مقادیر خطای جذر میانگین مربعات در چهار مسیر در این روش برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب برابر با ۱۳/۹۱ و ۵/۲۰ می‌باشند. لذا روش چند جمله‌ای کلاسیک در پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی ضعیف عمل می‌کند. زیرا این روش یک مدل خاصی از چند جمله‌ای کلاسیک را به اجبار به تمام الگوهای ترافیکی که می‌توانند متفاوت از هم باشند، برازش می‌دهد.



شکل ۵. تعیین درجه بهینه چندجمله‌ای کلاسیک، الف) پارامتر جریان، ب) پارامتر سرعت



شکل ٦. دقت پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی با روش چند جمله ای کلاسیک، الف) جریان ترافیکی، ب) سرعت ترافیکی



شکل ۷. دقت پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی با روش چند جمله ای مبتنی بر ژنتیک ، الف) جریان ترافیکی، ب) سرعت ترافیکی

۳-۲- پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی با الگوریتم چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک

در این روش برای یافتن ترم‌های بهینه چندجمله‌ای از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. به عبارتی الگوریتم ژنتیک مشخص می‌کند که برای پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی، کدام ترم‌های چندجمله‌ای در معادلات قرار بگیرند. برای این منظور، در این روش درجه‌ی چندجمله‌ای بزرگتر در نظر گرفته شد تا تاثیر تمام ترم‌هایی که می‌توانند در معادله حضور پیدا کنند، مورد بررسی قرار گیرند. لذا در این پژوهش از ماکزیمم درجه ۲۰ چندجمله‌ای استفاده شد و تعداد جامعه اولیه تقریباً برابر با ۰/۰۰۵ درصد تعداد کل راه‌حل‌ها در نظر گرفته شد و تعداد کل کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک برابر با صدهزار کروموزوم در نظر گرفته شد که تقریبا معادل ۵ درصد تعداد کل راه‌حل‌ها انتخاب گردید. نتایج تحقیقات نشان می دهد که یک الگوریتم ژنتیک با تعداد جامعه‌ی اولیه کمتر و تعداد تکرار بیش‌تر به مراتب بهتر از زمانی می‌باشد که تعداد جامعه اولیه بیش‌تر و تعداد تکرار کمتر باشد (Beasley et al. 1993a; Beasley et al. 1993b). بدین منظور در این پژوهش از تعداد تکرار الگوریتم ۱۰ برابر تعداد جامعه اولیه در نظر گرفته شد. همچنین جهت اطمینان از همگرایی الگوریتم بعد از تعداد تکرار تعیین شده، همگرایی ۹۵٪ ژن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و در صورت عدم همگرایی، تکرار الگوریتم به اندازه ۱۰ درصد تکرار اولیه (۱۰۰ تکرار) ادامه پیدا می‌کرد تا الگوریتم ژنتیک همگرا گردد. بعد از مشخص کردن ترم‌های بهینه چندجمله‌ای، مابقی مراحل پیش‌بینی در این روش نیز همانند روش چندجمله‌ای کلاسیک صورت گرفت و پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت، برای تمام روزهای سال ۲۰۱٤ پیش‌بینی شد. سپس از مقادیر شاخص‌های بدست آمده برای هر روز در طی یکسال میانگین‌گیری انجام گردید که نتایج این پیش‌بینی در شکل‌های ۷ الف و ب نشان داده شده است. نتایج این روش نشان می‌دهد که پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت در تمامی مسیرهای مطالعاتی ه مراتب بهتر از روش چندجمله‌ای کلاسیک می‌باشند. زیرا میانگین مقادیر خطای جذر میانگین مربعات در چهار مسیر مطالعاتی برای هر دو پارامتر ترافیکی جریان و سرعت برابر با ۰/۷۸ می‌باشند یعنی دقت پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت در روش چندجمله ای مبتنی بر ژنتیک نسبت به روش چندجمله‌ای کلاسیک به ترتیب تقریباً ۱۸ و ۷ برابر بهتر گردیده است. این مطلب نقش و تاثیر حضور ترم‌های بهینه و حذف ترم‌های غیرضروری چندجمله‌ای را می‌رساند. زیرا روش چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک، بر خلاف چندجمله‌ای کلاسیک می‌تواند برای هرکدام از الگوهای ترافیکی، یک مدل خاصی از چندجمله‌ای را که متناسب با الگو ترافیکی مربوط می‌باشد، برازش دهد.

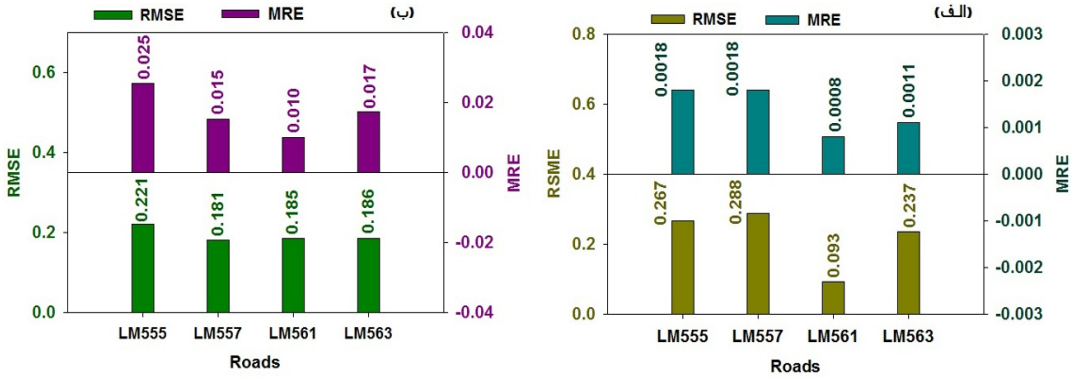
۳-۳- پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی با الگوریتم شبکه‌های عصبی

در این روش برای پیش‌بینی پارامتر ترافیکی، یک دوره زمانی ۱۵ دقیقه، از پارامترهای ترافیکی در دوره‌های زمانی قبلی استفاده گردید. برای این منظور، پارامترهای ترافیکی

موردنظر برای ۲۰ دوره زمانی اول در همان روز، بوسیله چندجمله ای مبتنی بر ژنتیک تعیین شدند. سپس برای یک روز ۷۶ تایم پریود با دوره زمانی ۱۵ دقیقه‌ای (از ساعت ۵ صبح تا ۲۴ شب) توسط شبکه عصبی پیش‌بینی گردید. همچنین در این روش برای بررسی تاثیرتعداد لایه‌های پنهان، پارامترهای ترافیکی برای تمام روزهای سال ۲۰۱۴ در ۱۰ لایه پنهان با استفاده از شبکه عصبی پیش‌بینی گردید و سپس در تمام تایم پریودهای یک سال (۲۷۷۴۰=۷۶*۳۶۵)، از قدرمطلق مقادیر اختلاف میانگین‌گیری گردید. در این روش نیز، ارزیابی خطاهای پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت همانند دو روش قبلی برای تمام روزهای سال ۲۰۱۴ انجام گرفت و سپس از مقادیر شاخص‌های بدست آمده برای هر روز در طی یک‌سال میانگین‌گیری انجام گرفت. نتایج پیش‌بینی در این روش در شکل‌های ۸ الف و ب نشان داده شده است.

مقدار کمی نتایج نشان می‌دهد که دقت روش شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت، نسبت به هر دو روش چندجمله‌ای کلاسیک و چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک، به ترتیب تقریباً ۶۳ و ۲۷ برابر و ۳/۵ و ٤ برابر بهبود دقت داشته است. مقایسه مقادیر شاخص‌های ارزیابی در روش‌های بکار رفته، نشان می‌دهد که روش چندجمله‌ای کلاسیک در پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی ضعیف عمل می‌کند که این مطلب دور از انتظار نیست، چرا که این روش یک مدل خاصی از چندجمله‌ای کلاسیک را به اجبار به تمام الگوهای ترافیکی که می‌توانند متفاوت از هم باشند، برازش می‌دهد. میانگین مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در ٤ مسیر در این روش برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب برابر با ۱۳/۹۱ و ۵/۲۰ می‌باشند. در روش دوم، برای ساخت مدل از الگوریتم ژنتیک برای یافتن ترم‌های بهینه چندجمله‌ای استفاده شد. به عبارتی، الگوریتم ژنتیک مشخص می‌کند که برای پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی، کدام جمله‌ها یا ترم‌های چندجمله‌ای در معادلات قرار بگیرند.

در این روش نیز، ارزیابی خطاهای پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت همانند روش قبلی (چندجمله‌ای کلاسیک) انجام گرفت. یعنی برای تمام روزهای سال ۲۰۱٤، پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت با استفاده از روش چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک پیش‌بینی گردیده است و سپس از مقادیر شاخص‌های حاصل، برای هر روز در طی یکسال میانگین‌گیری انجام گردید. نتایج و صحت پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت در تمامی روش‌ها توسط این روش به مراتب بهتر از روش چندجمله‌ای کلاسیک می‌باشند. در این روش، میانگین مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در ٤ مسیر برای هر دو پارامتر ترافیکی جریان و سرعت برابر با ۰/۷۸ می‌باشند، یعنی دقت پیش‌بینی در روش چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک نسبت به روش چندجمله‌ای کلاسیک برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب تقریبا ۱۸ و ۷ برابر بهتر گردیده است. این مطلب نقش و تاثیر حضور ترم‌های بهینه و حذف ترم‌های غیرضروری چندجمله‌ای را در بحث پیش‌بینی و رگرسیون می‌رساند. در روش سوم از این تحقیق، از شبکه‌های عصبی در ساخت مدل استفاده گردید. یک مسئله در استفاده از شبکه‌های عصبی انتخاب تعداد لایه‌های پنهان می‌باشد، در این تحقیق نیز برای بررسی تاثیر تعداد لایه‌های پنهان، پارامترهای ترافیکی برای تمام روزهای سال ۲۰۱٤ در ۱۰ لایه پنهان با استفاده از شبکه عصبی پیش‌بینی گردید و سپس در تمام تایم پریودهای یک سال (۲۷۷٤۰=۳٦۵X۷٦)، از قدرمطلق مقادیر اختلاف میانگین‌گیری گردید. در این روش نیز، ارزیابی خطاهای پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت همانند دو روش قبلی انجام گرفت، یعنی برای تمام روزهای سال ۲۰۱٤، پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت با استفاده از الگوریتم شبکه‌های عصبی با یک لایه پنهان پیش-بینی گردید و سپس از مقادیر شاخص‌های حاصل، برای هر روز در طی یک‌سال میانگین‌گیری انجام گردید.



شکل ۸. دقت پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی با روش شبکه عصبی ، الف) جریان ترافیکی، ب) سرعت ترافیکی

نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهند که دقت پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت با الگوریتم شبکه‌های عصبی نسبت به هر دو روش قبلی یعنی روش چندجمله‌ای کلاسیک و چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک بهتر می‌باشد. طوریکه میانگین مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در ٤ مسیر در این روش برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب برابر با ۰/۲۲ و ۰/۱۹ می‌باشند. یعنی دقت پیش‌بینی در الگوریتم شبکه‌های عصبی نسبت به روش چندجمله‌ای کلاسیک برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب تقریبا ٦۳ و ۲۷ برابر بهتر گردیده است. همچنین دقت پیش‌بینی در الگوریتم شبکه‌های عصبی نسبت به روش چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب تقریبا ۳/۵ و ٤ برابر بهتر گردیده است. نتیجه‌گیری کلی در مورد دقت روش‌های پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی بدین صورت بود که هرچند ممکن است که در برخی روزها نتایج پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی در روش چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک بهتر از روش شبکه‌های عصبی باشد، اما بطور کلی نتایج پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی در روش شبکه‌های عصبی بهتر از روش چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک می‌باشند. به دلیل اینکه، نتایج پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت در روش شبکه‌های عصبی دارای مقادیر میانگین ریشه میانگین مربعات خطا پایینی نسبت به روش چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک می‌باشند. تفاضل مقادیر میانگین ریشه میانگین مربعات خطا در تمام مسیرها در دو روش شبکه‌های عصبی و چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب ۰/٥٦ و ۰/٥۹ می‌باشند. علاوه بر آن، هر چند که نتایج پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت در روش شبکه‌های عصبی دارای مقادیر میانگین خطای نسبی بالایی را نسبت به روش چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک بود، اما تفاضل مقادیر میانگین خطای نسبی در تمام مسیرها در دو روش شبکه‌های عصبی و چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک بسیار کمتر می‌باشند. مقادیر این تفاضل برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۸ می‌باشند، در حالی که تفاضل مقادیر میانگین ریشه میانگین مربعات خطا مقدار بالایی می‌باشند. تفاضل مقادیر میانگین ریشه میانگین مربعات خطا در تمام مسیرها در روش مذکور برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب ۲٤/٦ و ٤/٤۲ می‌باشند که مقادیر قابل توجهی می‌باشند. همچنین، مقادیر میانگین خطای نسبی در نتایج پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت، در روش چندجمله‌ای کلاسیک بالایی را نسبت به روش چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک دارا می‌باشند. نتایج نشان داد که در معیار خطای نسبی، تفاضل مقادیر میانگین در تمام مسیرها در روش مذکور برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب ۰/۰۳۸ و ۰/۰٦۱ می‌باشند.

٤- اعتبارسنجی پارامترهای ترافیکی پیش‌بینی با داده‌های مرجع

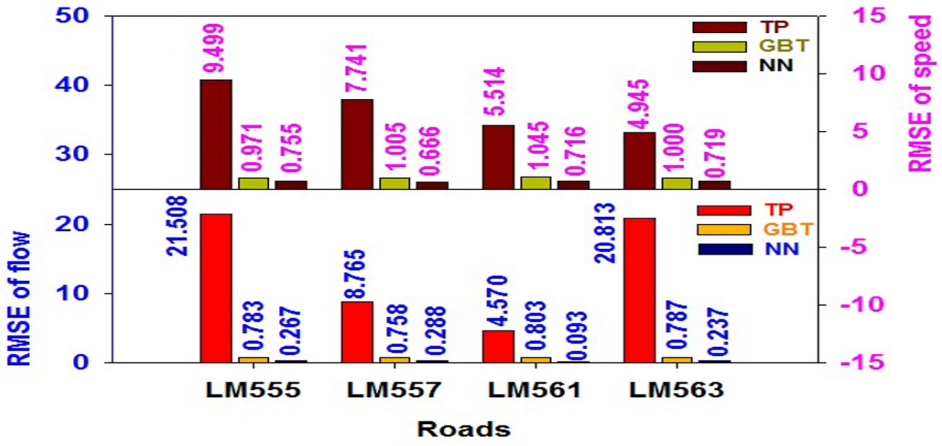
برای اعتبارسنجی سه روش پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت، نتایج شاخص‌های با همدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج این ارزیابی‌ها در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که برآورد پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت در تمامی مسیرها بر حسب ریشه میانگین مربعات خطا، روش چندجمله‌ای کلاسیک کمترین دقت نسبت به دو روش دیگر و روش شبکه‌های عصبی بیشترین دقت را دارند. طوریکه در روش شبکه‌های عصبی اختلاف میانگین شاخص ریشه میانگین مربعات خطا برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب برابر با ۱٦/۹٤ و ۳/۲۸ می‌باشند. هرچند که در برخی روزها ممکن است نتایج پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی در روش چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک بهتر از روش شبکه‌های عصبی باشد. اما بطور کلی نتایج پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی در روش شبکه‌های عصبی بهتر از روش چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک می‌باشند. نتایج نشان می دهد که تفاضل مقادیر میانگین ریشه میانگین مربعات خطا در تمام مسیرها در دو روش شبکه‌های عصبی و چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب ۰/٥٦ و ۰/٥۹ می‌باشند. هم‌چنین نتایج پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی در روش چندجمله بر مبنای ژنتیک به مراتب بهتر از روش چندجمله‌ای کلاسیک می‌باشند و تفاضل مقادیر میانگین ریشه میانگین مربعات خطا در تمام مسیرها در روش مذکور برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب ۲٤/٦ و ٤/٤۲ می‌باشند که مقادیر قابل توجهی می‌باشند.

٥- شبیه‌سازی پارامترهای ترافیکی

در این پژوهش با حرکت عوارض جنبشی بر روی مسیرهای موردنظر در تصویر، براساس پارامترهای ترافیکی

پیش‌بینی شده (جریان و سرعت)، شبیه‌سازی انجام گرفت. برای تشریح روش شبیه‌سازی ابتدا برخی از پارامترهای آن تعریف می‌گردند. لازم بذکر می‌باشد که این پارامترها توافقی می‌باشند و مختص این تحقیق می‌باشند و ممکن هست در منابع دیگری تعاریف متفاوتی برای آن‌ها ذکر گردد.

- عوارض جنبشی: عوارض متحرک در تصویر را عوارض جنبشی گویند.
- ابعاد عوارض جنبشی: به تعداد پیکسل‌های عوارض جنبشی در جهت X و Y را ابعاد عوارض جنبشی گویند.
- رنگ عوارض جنبشی: به رنگ اختصاص یافته‌به پیکسل‌های عوارض جنبشی را رنگ عوارض جنبشی گویند.
- بزرگنمایی عوارض جنبشی: جهت بهتر دیده شدن عوارض جنبشی در تصویر نیاز می‌باشد که ابعاد عوارض جنبشی را بزرگتر نماییم که به این کار بزرگنمایی عوارض جنبشی گفته می‌شود، جهت بزرگنمایی عوارض از توابع مورفولوژی استفاده گردید.
- رنگ آسفالت: به رنگ اختصاص یافته به پیکسل‌های آسفالت در تصویر را رنگ آسفالت گوییم.
- پیکسل سایز: به اندازه پیکسل‌های هر تصویر بر حسب متر پیکسل سایز گفته می‌شود.
- مرز جاده یا مسیر: به رشته‌ای از پیکسل‌ها که به مرز جاده یا مسیر اختصاص یافته است، مرز جاده یا مسیر گفته می‌شود و با رنگ مشخصی نمایش داده می‌شوند.
- منطقه رزرو یا ذخیره جاده: به رشته‌ای از پیکسل‌های مسیر که در نزدیکی مرز جاده قرار دارند و عوارض جنبشی تا حد امکان به آن منطقه وارد نمی‌گردند و یا در آن منطقه حرکت نمی‌کنند را منطقه رزرو یا ذخیره جاده گفته می‌شود.



شکل ۹. میانگین خطای جذر میانگین مربعات در پیش‌بینی پارامتر ترافیکی جریان و سرعت در هر سه روش TP، GBP و NN

- زمان نمایش: مدت زمان نمایش انیمیشن شبیه‌سازی را زمان نمایش گویند که این پارامتر توسط کاربر وارد می‌گردد.
- مدت زمان تغییر موقعیت: به مدت زمانی که طول می‌کشد تا عوارض جنبشی به اندازه یک پیکسل حرکت نمایند را مدت زمان تغییر موقعیت گویند.
- گرید موقعیت: به یک صحنه یا تصویر از موقعیت عوارض جنبشی در هر لحظه را گرید موقعیت گویند.
- فریم: به یک صحنه یا تصویر از موقعیت عوارض جنبشی و سایر عوارض مانند جاده و زمین‌های اطراف را فریم گویند.
- تعداد گرید یا فریم: به تعداد کل فریم‌های انیمیشن و یا تعداد کل گریدهای موقعیت تعداد گرید گفته می‌شود.
- نقطه شروع: نقطه‌ای از جاده یا مسیر که عوارض از آن نقطه شروع به حرکت می‌کنند را نقطه شروع گفته می‌شود به عبارتی دیگر ابتدای جاده را نقطه شروع گویند.

نقطه پایان: نقطه‌ای از جاده یا مسیر که عوارض تا آن نقطه حرکت می‌کنند و سپس ناپدید می‌گردند را نقطه‌ی پایان گفته می‌شود به عبارتی دیگر انتهای جاده را نقطه پایان گویند. برای شروع شبیه‌سازی ابتدا باید بر اساس مقدار پارامتر ترافیکی جریان پیش‌بینی شده، عوارض جنبشی به تعداد آن در مسیر موردنظر ظاهر گردند. فواصل عوارض جنبشی طوری در مسیر موردنظر قرار می‌گیرند که فواصل مساوی با هم داشته باشند و اگر تعداد عوارض جنبشی یا مقدار پارامتر جریان پیش‌بینی شده بیشتر باشند، فواصل عوارض جنبشی کم می‌گردد و اگر تعداد عوارض جنبشی

کمتر باشد آنگاه فواصل عوارض جنبشی بیشتر می‌گردد. در این پژوهش، از توابع مختلف سیستم اطلاعات جغرافیایی برای به اشتراک‌گذاری و انتخاب بهینه پارامترها و مسیر حرکت عوارض جنبشی در شبیه‌سازی استفاده گردید. همچنین در این تحقیق، برای انجام پیش‌بینی‌ها به روش‌های تشریح شده، ارزیابی و شبیه‌سازی پارامترهای ترافیکی یک اپلکیشنی در محیط متلب برنامه‌نویسی و طراحی گردید. در قسمت شبیه‌سازی پارامترهای ترافیکی این اپلیکیشن سعی شده است که اکثرا پارامترهای مورد نیاز برای شبیه‌سازی و روش نمایش شبیه‌سازی بصورت پویا[۲۱] انتخاب گردند. بعنوان مثال، در زمینه پویایی اپلیکیشن می‌توان به استفاده از کرنل سایز نمونه‌برداری بصورت توافقی برای کاهش قدرت تفکیک مکانی تصویر مسیر موردنظر اشاره کرد. یعنی اگر پارامتر جریان موردنظر بالا باشد نمونه‌برداری انجام نمی‌گیرد ولی اگر پارامتر جریان موردنظر پایین باشد نمونه برداری تا حدی که نمایش عوارض جنبشی با مشکلی برخورد نکند انجام می‌گیرد تا زمان موردنیاز برای پردازش فریم جدید کاهش یابد و پارامتر سرعت دقیق‌تر شبیه‌سازی گردد. بعد از ظاهر شدن عوارض متحرک در مسیر موردنظر، برای حرکت آن‌ها باید موقعیت جدید و بعدی هر کدام از آن‌ها در مسیر موردنظر بدست می‌آورد. بدین منظور، برای هر عارضه متحرک باید منحنی حرکت طراحی گردد که در آن منحنی، حرکت کنند و تغییر موقعیت بدهند. در شکل ۱۰ یک فریم از انیمیشن اجرا شده برای مسیر LM561 در مورخه ۲۷ فوریه ۲۰۱٤ و تایم پریود ۲٤ (ساعت ٦ صبح تا ٦:۱۵) نشان داده شده است.

در این نمایش عوارض متحرک ۱۰ برابر در عرض و ۱۵ برابر در طول و عرض جاده ۷ برابر از مقدار واقعی بزرگنمایی گردیده است، پیکسل سایز تصویر ۰/۸٦ متر می‌باشد، رنگ آسفالت خاکستری روشن و رنگ مرز جاده یا مسیر خاکستری تیره و رنگ عوارض جنبشی قهوه‌ای مایل به قرمز در نظر گرفته شده است. همچنین عرض مرز جاده و منطقه رزرو هر دو ۱۵ پیکسل در نظر گرفته شده است.

شکل ۱۰. فریم مربوط به انیمیشن اجرا شده برای مسیر LM561 در مورخه ۲۷ فوریه ۲۰۱٤ و تایم پریود ۲٤ (ساعت ٦ صبح تا ٦:۱۵)

٦-نتیجه‌گیری

در این تحقیق، علاوه بر پیش‌بینی کوتاه مدت پارامترهای ترافیک شهری با سه روش مختلف و مقایسه آنها، با شبیه‌سازی پارامترهای ترافیکی کوتاه مدت با طراحی اپلکیشنی در محیط متلب و انتخاب بهینه پارامترهای موثر با سیستم اطلاعات جغرافیایی، بعنوان مکمل سامانه اطلاعات حمل‌ونقلی مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفت. برای این منظور، سه روش مختلف پیش‌بینی کوتاه‌مدت پارامترهای ترافیکی، روش چندجمله‌ای کلاسیک، روش شبکه‌های عصبی و روش چندجمله‌ای‌های مبتنی بر ژنتیک، با بکارگیری دو روش تقلیل خطا بکار برده شد. همچنین جهت مدیریت ترافیک در آینده، پارامترهای ترافیک شهری جریان و سرعت شبیه‌سازی گردید. شبیه‌سازی پارامترهای ترافیک شهری جریان و سرعت با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی بعنوان مکمل سامانه اطلاعات حمل‌ونقلی بهره برداری شد. برای این منظور، از توابع مختلف سیستم اطلاعات جغرافیایی برای به اشتراک‌گذاری و انتخاب بهینه پارامترها و مسیر حرکت

عوارض جنبشی در شبیه سازی استفاده گردید. بدیهی است که ارتباط میان سیستم اطلاعات جغرافیایی با سامانه اطلاعات حمل‌ونقلی موجب تسهیل دسترسی به اطلاعات ترافیکی می‌شود. سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی حمل‌ونقل در واقع ابزاری برای بهبود نحوه برنامه‌ریزی و طراحی پروژه‌های حمل‌ونقلی و ترافیک است. ایجاد چنین سامانه‌های حمل‌ونقل و ترافیک، زمانی حداکثر کارایی را خواهند داشت که اطلاعاتی ترافیکی در زمان آینده را نیز برای مدیران جهت انتخاب راهکارهای مناسب ارائه دهند. همچنین در این تحقیق، برای انجام پیش‌بینی پارامترها، ارزیابی و شبیه‌سازی پارامترهای ترافیکی یک اپلکیشنی در محیط متلب برنامه‌نویسی و طراحی گردید. در قسمت شبیه‌سازی پارامترهای ترافیکی سعی شده است که اکثرا پارامترهای مورد نیاز برای شبیه‌سازی و روش نمایش شبیه‌سازی بصورت پویا انتخاب گردند. با توجه به مشکلاتی که در زمینه تهیه داده‌های ترافیکی داخل کشور بود، استفاده از داده‌های داخلی میسر نشد. زیرا بدلیل، عدم دسترسی مولفین و نبود داده‌های ترافیکی منظم برای تمام ساعات روز، نبود داده‌های ترافیکی کامل برای پارامترهای ترافیکی موردنیاز (زمان، جریان، سرعت و ...)، نبود داده‌های ترافیکی برای سه دوره زمانی یکساله برای آموزش، تایید و ارزیابی در روش پیشنهادی، داده‌های مطالعاتی این پژوهش از داده‌های زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱٤ شهر لندن بطول ۱۵/۸٤ کیلومتر با رفتار ترافیکی مشابه در طول هفته انتخاب گردیدند. بدلیل اینکه داده‌های بروز در اختیار و دسترسی عموم نیست، لذا داده‌ها با شیفت زمانی چندین ساله در اختیار عموم قرار می‌گیرد. بنابراین، در این تحقیق به اجبار از داده‌های منظم زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱٤ استفاده گردید. از داده‌های ۲۰۱۲ ، ۲۰۱۳ و ۲۰۱٤ به ترتیب بعنوان داده‌های آموزشی، داده‌های تایید و داده‌های مرجع جهت اعتبارسنجی استفاده شد. مقایسه روش‌های بکار رفته نشان داد که مقادیر شاخص‌های ارزیابی حاکی از آن است که روش چندجمله‌ای کلاسیک در پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی ضعیف عمل می‌کند. این مطلب دور از انتظار نیست، زیرا این روش یک مدل خاصی از چندجمله‌ای کلاسیک را به اجبار به تمام الگوهای ترافیکی که می‌توانند متفاوت از هم باشند، برازش می‌دهد. در این روش، میانگین مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در چهار مسیر برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب برابر با ۱۳/۹۱ و ۵/۲۰ حاصل گردید. در روش دوم، برای ساخت مدل از الگوریتم ژنتیک برای یافتن ترم‌های بهینه چندجمله‌ای استفاده شد، به عبارتی الگوریتم ژنتیک مشخص می‌کند که برای پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی، کدام ترم‌های چندجمله‌ای در معادلات قرار بگیرند. نتایج و دقت پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت در تمامی مسیرها، توسط این روش به مراتب بهتر از روش چندجمله‌ای کلاسیک حاصل گردید. در این روش، میانگین مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا چهار مسیر در برای هر دو پارامتر ترافیکی جریان و سرعت برابر با ۰/۷۸ بدست آمد. یعنی دقت پیش‌بینی در روش چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک نسبت به روش چندجمله‌ای کلاسیک برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب تقریبا ۱۸ و ۷ برابر بهتر گردیده است. این مطلب نقش و تاثیر حضور ترم‌های بهینه و حذف ترم‌های غیرضروری چندجمله‌ای را در بحث پیش‌بینی و رگرسیون می‌رساند. در روش سوم از این تحقیق، از شبکه‌های عصبی در ساخت مدل استفاده گردید. یک مسئله در استفاده از شبکه های عصبی انتخاب تعداد لایه‌های پنهان می‌باشد، در این تحقیق نیز برای بررسی تاثیر تعداد لایه‌های پنهان، پارامترهای ترافیکی برای تمام روزهای سال ۲۰۱٤ در ۱۰ لایه پنهان با استفاده از شبکه عصبی پیش‌بینی گردید و سپس در تمام تایم پریودهای یک سال (۳٦۵X۷٦=۲۷۷٤۰)، از قدرمطلق مقادیر اختلاف میانگین‌گیری گردیده است. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که دقت پیش‌بینی پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت با روش شبکه‌های عصبی نسبت به هر دو روش قبلی، روش چندجمله‌ای کلاسیک و روش چندجمله‌ای مبتنی بر ژنتیک، بهتر است. طوریکه در این روش، میانگین مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در چهار مسیر برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب برابر با ۰/۲۲ و ۰/۱۹ می‌باشند، یعنی دقت پیش‌بینی در الگوریتم شبکه‌های عصبی نسبت به روش چندجمله‌ای کلاسیک برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب تقریبا ٦۳ و ۲۷ برابر بهتر گردیده است. همچنین دقت پیش‌بینی در شبکه‌های عصبی نسبت به روش چندجمله‌ای بر مبنای ژنتیک برای پارامترهای ترافیکی جریان و سرعت به ترتیب تقریبا ۳/۵ و ٤ برابر بهتر گردیده است.

۶- پی‌نوشت‌ها

1.Intelligent Transportation Systems
2. Electronics Road Guide System
3. Urban Traffic Control System
4. Passing Area System
5. FLASH
6. TDNN- Time Delay Neural Network
7. Fuzzy C-means (FCM)
8. Global Positioning System (GPS)
9. Radial basis function (RBF) neural network
10. Dynamic
11. Train Data
12. Validation Data
13. Reference Data
14. Timeliness
15. Traditional Polynomial (TP)
16. Genetic Based Polynomial (GBP)
17. Neural Networks (NN)
18. Time Period
19. Root Mean Square Error (RMSE)
20. Mean Relative Error (MRE)
21. Dynamic

۷- مراجع

-Abdulhai, B., Porwal, H., & Recker, W. (2002). Short-Term Traffic Flow Prediction Using Neuro-Genetic Algorithms. Journal of Intelligent Transportation Systems, 7(1), 3-41. **doi:10.1080/713930748.**

-Ai, C., Jia, L., Hong, M., & Zhang, C. (2020). Short-term road speed forecasting based on hybrid RBF neural network with the aid of fuzzy system-based techniques in urban traffic flow. IEEE Access, 8: 69461-69470.

-Aydos, C., Hengst, B. and Uther, W. (2009). Kalman filter process models for urban vehicle tracking, 2009 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE, 1-8.

-Beasley, D., Bull, D.R. and Martin, R.R.J.U.c., (1993a). An overview of genetic algorithms: Part 1, fundamentals. 15(2), 58-69.

-Beasley, D., Bull, D.R. and Martin, R.R.J.U.c., (1993b). An overview of genetic algorithms: Part 2, research topics. 15(4): 170-181.

-Chen, X. and Chen, R., (2019). A Review on Traffic Prediction Methods for Intelligent Transportation System in Smart Cities, 2019 12th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI). IEEE, 1-5.

-Chen, Y., Zhang, Y. and Hu, J. (2008). Multi-dimensional traffic flow time series analysis with self-organizing maps. Tsinghua Science and Technology, 13(2), 220-228.

-Dadashova, B., Li, X., Turner, S. and Koeneman, P. (2020). Multivariate time series analysis of traffic congestion measures in urban areas as they relate to socioeconomic indicators. Socio-Economic Planning Sciences: 100877.

-Ding, (2019). Application of GIS technology in the construction of urban traffic sharing multimedia information platform. Multimedia Tools and Applications, 1-13.

-Djenouri, Y., Belhadi, A., Lin, J.C.-W., Djenouri, D. and Cano, A. (2019). A survey on urban traffic anomalies detection algorithms. IEEE Access, 7: 12192-12205.

-Emami, A., Sarvi, M., & Bagloee, S. A. (2019). Using Kalman filter algorithm for short-term traffic flow prediction in a connected vehicle environment. Journal of Modern Transportation, 27(3): 222-232.

-Guo, J., Liu, Z., Huang, W., Wei, Y. and Cao, J. (2017). Short-term traffic flow prediction using fuzzy information granulation approach under different time intervals. 12(2), 143-150.

-Kamarianakis, Y., Gao, H.O. and Prastacos, P. (2010). Characterizing regimes in daily cycles of urban traffic using smooth-transition regressions. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 18(5): 821-840.

-Kumar. (2020). Video based Traffic Forecasting using Convolution Neural Network Model and Transfer Learning Techniques. Journal of Innovative Image Processing (JIIP), 2(03): 128-134.

-Kusakabe, T., Iryo, T., & Asakura, Y. (2010). Data mining for traffic flow analysis: Visualization approach, Traffic Data Collection and its Standardization. Springer, 57-72.

-Ling, X., Feng, X., Chen, Z., Xu, Y. and Zheng, H. (2017). Short-term traffic flow prediction with optimized multi-kernel support vector machine, 2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). IEEE, 294-300.

-Liu, S. Y., Li, D. W., Xi, Y. G., & Tang, Q. F. (2015). A short-term traffic flow forecasting method and its applications. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 20(2): 156-163.

-Mei, Z., Zhang, W., Zhang, L. and Wang, D., (2020). Real-time multistep prediction of public parking spaces based on Fourier transform–least

-PourAhmad, A., and Imranzadeh, B., (2012). Evaluation and presentation of BRT transportation system development strategies in Tehran metropolis using SWOT model. *Journal of Urban Research and Planning*, 3 (11), 17-36.

-pourjavan, k., (2019). Explanation of Smart City and Urban Smart Transportation Solutions. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 16(45), 15-34.

-Hadadi, F. and Shirmohammadi, H., (2017). Evaluation and Prioritization of Urban Decision makers in the Integration of Public Transportation System Using COPRAS method (Case Study: Urmia City). 8(30), 65-82.

-Abbasi, S.H., and Yagobi, M. (2013). A New Method in Studying Urban Traffic Predictability Based on Chaos Theory and Prediction of Mashhad Traffic Flow Based on Multiple ANFIS. *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, 4(3), 233-246.

-Alavi, S.A. and Seyyed Mahdavi Chabok, S.J., (2020). Performance and Reliability Improvement on 2D-NOC Based on Reducing the Number of Passing Links. *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, 11(3), 95-106.

-Ghorbani and Azimi. (2014). Investigating the effect of municipal revenue structure on urban development process using correlation coefficient and factor analysis techniques; Case study of Mashhad. *Journal of Urban Research and Planning*, 5 (18), 115-132.

-Matkan, A., Mirbagheri, B. and Akbari, K., (2017). A Smart Location Model, Based on Multi-Objective Genetic Algorithms to Find Optimal Routes in the Road Network. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 9(3), 111-126.

-Manshadi, F. and et al., (2015). Analysis and review of measures necessary for the implementation of integrated urban transport in metropolitan areas; Case study: Tehran. *Journal of Urban Research and Planning*, 6 (20), 83-98.

-Mahdavian, Z., and Nik Nafs, A. (2015). Predict and control traffic with data mining approaches using GPS data. Spatial Information Technology Engineering, 3 (2), 43-59.

-Yaghfouri and et al., (2016). Investigation of spatial-spatial distribution of public parking lots and its optimal location (Case study: Zones 2 and 8 of Shiraz Municipality). *Journal of Urban Research and Planning, 7 (24)*, 173-190.

squares support vector regression. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 24(1): 68-80.

-Nakata, T., & Takeuchi, J. I. (2004). Mining traffic data from probe-car system for travel time prediction, Proceedings of the tenth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. ACM, 817-822.

-Ntoutsi, I., Mitsou, N., & Marketos, G. (2008). Traffic mining in a road-network: How does the traffic flow? *International Journal of Business Intelligence*, 3(1), 82-98.

-Pelekis, N., Kopanakis, I., Kotsifakos, E., Frentzos, E., & Theodoridis, Y. (2009). Clustering trajectories of moving objects in an uncertain world, *IEEE International Conference on Data Mining*, ICDM'09. Ninth IEEE, 417-427.

-qiao, D.-h., zhang, K.-h. and fan, Y. Z., (2007). The optimizing of many traffic flow forecasting models [J]. *Communications Standardization*, 4: 066.

-Shekhar, S., Lu, C. T., Chawla, S., & Zhang, P. (2001). Data mining and visualization of twin-cities traffic data, University of Minnesota Minneapolis United States.

-Turner, S., (2004). Defining and measuring traffic data quality: White paper on recommended approaches. *Transportation research record*, 1870(1), 62-69.

-Vlahogianni, E. I., Karlaftis, M. G., & Golias, J. C. (2005). Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: A genetic approach. Transportation Research Part C: *Emerging Technologies*, 13(3), 211-234.

-Xiangxue, W., Lunhui, X. and Kaixun, C., (2019). Data-driven short-term forecasting for urban road network traffic based on data processing and LSTM-RNN. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(4), 3043-3060.

-Azmoodeh, M. and Haghighi, F., (2017). Land Use Evaluation Based On Transportation Accessibility (Case Study: Zone 6 of Tehran). 8(28), 135-148.

-Kodarahm bazi; Akbar Kiani; Mohammad Sadegh Afrasiabi Rad., (2010). Evaluation of urban traffic and the needs of the disabled and veterans using the Topsis decision-making model (Case study: Shiraz city), *Journal of Urban Research and Planning*, Article 6, Vol. 1, No. 3, December, 103-130.

Monitoring and Comparing Various Approaches for Short-Term Forecasting of Urban Traffic Parameters and Simulation Using GIS (Case Study of the City of London)

Emami Hassan, Associate Professor, Marand Engineering Faculty, University of Tabriz, Tabriz-Iran.
Rafati Amir M.Sc., Graduated, Marand Engineering Faculty, University of Tabriz, Tabriz-Iran.

E-mail: h_emami@ut.ac.ir

Received: June 2023- Accepted: November 2023

ABSTRACT

The main objective of this research is to compare different methods for short-term forecasting of urban traffic parameters, as well as simulation of traffic parameters in the MATLAB environment and optimal selection of their effective parameters with a Geographic Information System (GIS) as a supplement to a transportation information system. To that end, three distinct short-term traffic parameter forecasting algorithms, traditional polynomials (TP), genetic basis traditional polynomials (GBT), and neural networks (NN), were used to predict traffic parameters using two error reduction strategies. In addition, to control future traffic, urban traffic flow and velocity parameters were simulated. Due to a lack of regular traffic data in Iran, the research data for this study was drawn from data from 2012 to 2014 in London, with similar traffic patterns during the week. The routes investigated total 15.84 km and are known as LM561-LM563-LM557-LM555. Training, validation, and reference data were obtained in 2012, 2013, and 2014, respectively. Overall, the findings revealed that the TP approach failed to forecast traffic flow and speed characteristics, but the GBT and NN methods were effective. Furthermore, the quantitative findings of the study routes in terms of root mean square error revealed that the three techniques of TP, GBT, and NN for traffic flow parameters were 13.91, 0.78, and 0.22, respectively, and for the speed parameter, 5.20, 0.78, and 0.19. In other words, the accuracy of the traffic flow parameter in GBT and NN is about 18 and 63 times better than the TP technique, while the accuracy of the speed parameter is approximately 7 and 27 times better than the TP method, respectively.

Keywords: Short-Term Prediction of Urban Traffic Parameters, Neural Networks, Simulation, Geographic Information System