

مدلسازی زمان سفر معابر شهری به روش‌های رگرسیون خطی و سری زمانی

امیرحسین فانی، دانشجوی دکتری مهندسی عمران- راه و ترابری، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
حامد ناصری، دانشجوی دکتری مهندسی عمران- مدیریت ساخت، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
امیر گل‌رو (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

E-mail: agolroo@aut.ac.ir

چکیده

پیش‌بینی زمان سفر در طول چند دهه به‌عنوان یک موضوع پرکاربرد در زمینه شرایط دینامیک شبکه و سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل به روش‌های مختلفی انجام شده است. در این راستا، در این مقاله پیش‌بینی زمان سفر معابر شهری در ساعت غیر اوج از طریق دو مدل رگرسیون خطی و سری زمانی ارائه شده است. در وهله اول، طراحی آزمایش جهت نمونه‌برداری صورت گرفته و پارامترهای مؤثر بر زمان سفر معابر شهری بررسی شدند. سپس داده‌ها به‌وسیله روش ماشین‌ساز و به کمک یک نرم‌افزار تلفن همراه در ۶ معبر منتخب برداشت شدند. پس از آماده‌سازی داده‌ها، از دو روش رگرسیون خطی و سری زمانی برای مدلسازی زمان سفر استفاده شد. در روش رگرسیون خطی، مدلی با ضریب تعیین تعدیل‌شده برابر $0/648$ و متغیرهای زمان تأخیر تقاطع، تعداد خطوط و شیب به‌عنوان متغیرهای مؤثر، به‌عنوان بهترین مدل شناخته و اعتبارسنجی شد. در روش سری زمانی، مدل یک متغیره خطی خودهمبسته میانگین متحرک برای برازش داده‌ها استفاده شد. در بهترین مدل برازش شده، درجه هر دو بخش خودهمبسته و میانگین متحرک سری زمانی برابر ۱ است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی زمان سفر، معابر شهری، رگرسیون، سری زمانی

۱. مقدمه

نمونه‌برداری و مدل‌سازی برای معابر شهری و شریانی انجام شده است.

روش‌های متفاوتی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی زمان سفر ارائه شده است که می‌توان آن‌ها را در ۴ دسته مختلف مورد بررسی قرار داد. دسته اول روش‌های ساده و لحظه‌ای می‌باشند که دارای فرضیات ساده‌کننده زیادی هستند و در بسیاری از موارد این فرضیات برقرار نمی‌باشند. به‌طور مثال یکی از این فرضیات عدم تغییر وضعیت شلوغی شبکه تا چند دقیقه یا چند ساعت بعد است. این روش‌ها غالباً در نرم‌افزارهای تجاری استفاده می‌شوند. مدل‌های دسته دوم بر مبنای بررسی وضعیت ترافیک و شبیه‌سازی آن به‌صورت خرد نگر و کلان نگر هستند. این مدل‌ها به اطلاعات جریان ترافیک و حجم عبوری نیاز دارند. مدل‌های دسته سوم زمان سفر را بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری‌شده و ویژگی‌های معابر پیش‌بینی می‌کنند. انواع مختلفی از این دسته روش‌ها مانند رگرسیون، سری زمانی، شبکه عصبی، درخت تصمیم و غیره برای مدل‌سازی زمان سفر به کار گرفته شده‌اند. در دسته چهارم مدل‌هایی با ترکیب روش‌های دسته دوم و سوم زمان سفر معابر را تخمین می‌زنند.

مدل‌های بر مبنای اطلاعات و روابط متغیرها به ۳ گروه پارامتریک، ناپارامتریک و نیمه پارامتریک تقسیم می‌شوند. در روش‌های پارامتریک متغیرهای مؤثر بر زمان سفر شناسایی شده و تابعی از زمان سفر و متغیرهای مؤثر تشکیل می‌شود. این مدل‌ها فهم آسانی دارند و به راحتی پیاده‌سازی می‌شوند لیکن ساختار ساده آن‌ها تفسیر رفتار زمان سفر را مشکل می‌کند. از معروف‌ترین این روش‌ها می‌توان به رگرسیون خطی^۱، رویکرد بیز^۲ و سری زمانی^۳ اشاره کرد. در روش‌های ناپارامتریک ساختار مدل و متغیرها از پیش تعیین شده نیست و شکل تابع زمان سفر از داده‌ها استخراج می‌شود. این روش‌ها به تعداد داده بیشتری نسبت به روش‌های پارامتریک نیاز دارند. روش‌های شبکه عصبی^۴ و درخت تصمیم^۵ از معروف‌ترین روش‌های ناپارامتریک می‌باشند که در پیش‌بینی زمان سفر به کار گرفته

به دلیل افزایش شلوغی و تراکم در شبکه راه‌ها، پیش‌بینی زمان سفر معابر شبکه ترافیکی به یک بخش مهم در سیستم‌های اطلاع‌رسانی به رانندگان^۱ بدل شده است. این سیستم‌ها به کاربران کمک می‌کنند تا مسیریابی با زمان سفر پایین‌تر را انتخاب کنند. زمان سفر عبارت است از کل زمانی که یک وسیله نقلیه برای پیمودن یک مسیر مشخص از یک نقطه شبکه به نقطه‌ای دیگر با احتساب توقف‌ها، تأخیرهای در صف و تأخیرهای در تقاطع‌ها طی می‌کند.

زمان سفر از اطلاعات ترافیکی استخراج می‌شود. اطلاعات ترافیکی می‌توانند از روش‌های مختلفی استخراج شوند. یک روش قرار دادن یک یا چند سنسور در طول راه و برداشت اطلاعات ترافیکی از طریق آن‌ها است. این سنسورها به گونه‌های مختلفی نظیر شناساگر نقطه‌ای^۲ (ثبت تعداد ماشین‌های عبوری از یک نقطه)، شناساگر بازه‌ای^۳ (ثبت اطلاعات وسایل نقلیه از طریق GPS) و تشخیص اتوماتیک ماشین^۴ (قرار دادن دو سنسور در طول یک راه و شناسایی ماشین‌های عبوری در این فاصله) هستند. روش ساده‌تر استفاده از یک وسیله نقلیه و پیمودن مسیر مشخص شده توسط آن و ثبت اطلاعات زمان سفر و سایر متغیرهای مسیر است. در این پژوهش از روش دوم برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده شده است.

۲. مفاهیم کلی

پیش‌بینی زمان سفر معابر شبکه ترافیکی به‌طور کلی در دو گروه آزادراه و بزرگراه و معابر شهری و شریانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بسیاری از مدل‌های ساخته شده برای پیش‌بینی زمان سفر برای آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها می‌باشند زیرا جریان در این معابر نامنقطع و ساخت مدل زمان سفر ساده‌تر است. همچنین متغیرهای مؤثر بر زمان سفر در معابر شهری به دلیل وجود تقاطع‌ها و چراغ‌های راهنمایی پیچیده‌تر است. در این پژوهش،

مدلسازی زمان سفر معابر شهری به روش‌های رگرسیون خطی و سری زمانی

راننده، مشخصات وسیله نقلیه، مشخصات معابر مانند سرعت حرکت آزاد، تعداد خطوط و شیب، زمان تأخیر تقاطعات، شرایط جوی، زمان اوج و غیر اوج، روزهای خاص و مناسبت-ها، تعداد دسترسی‌ها نام برد.

۴. بیان مسئله و قلمرو پژوهش

هدف از این پژوهش پیش‌بینی زمان سفر معابر شهری در حالت غیر اوج به وسیله دو روش رگرسیون خطی و سری زمانی است. قلمرو این تحقیق شناسایی عوامل مؤثر بر زمان سفر معابر شهری و توسعه مدل مناسبی برای پیش‌بینی زمان سفر آن‌ها است. در این خصوص قلمرو این تحقیق صرفاً به ساعات غیر اوج محدود می‌شود. همچنین طول معابر مورد پیش‌بینی با توجه به دستورالعمل‌های قطعه‌بندی و سایر متغیرهای مسیر می‌بایست حداکثر ۱ کیلومتر باشد؛ زیرا در طول‌های بالاتر ممکن است رفتار رانندگی استفاده‌کنندگان تغییر یابد.

۵. روش پژوهش

در این پژوهش جهت پیش‌بینی زمان سفر در معابر شهری ابتدا اقدام به طراحی آزمایش شد. سپس جمع‌آوری داده در روز مشخص انجام شد. در مرحله بعد داده‌های جمع‌آوری شده از جهت هرگونه نقص یا خطا مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت مدلسازی زمان سفر روی داده‌های حاصله انجام و مدل به دست آمده اعتبارسنجی شد. شکل ۱ روند کلی انجام تحقیق را به صورت خلاصه نشان می‌دهد. در ادامه در بخش‌های بعدی، هر یک از بخش‌های ارائه شده در فلوچارت شکل ۱ تشریح شده است.

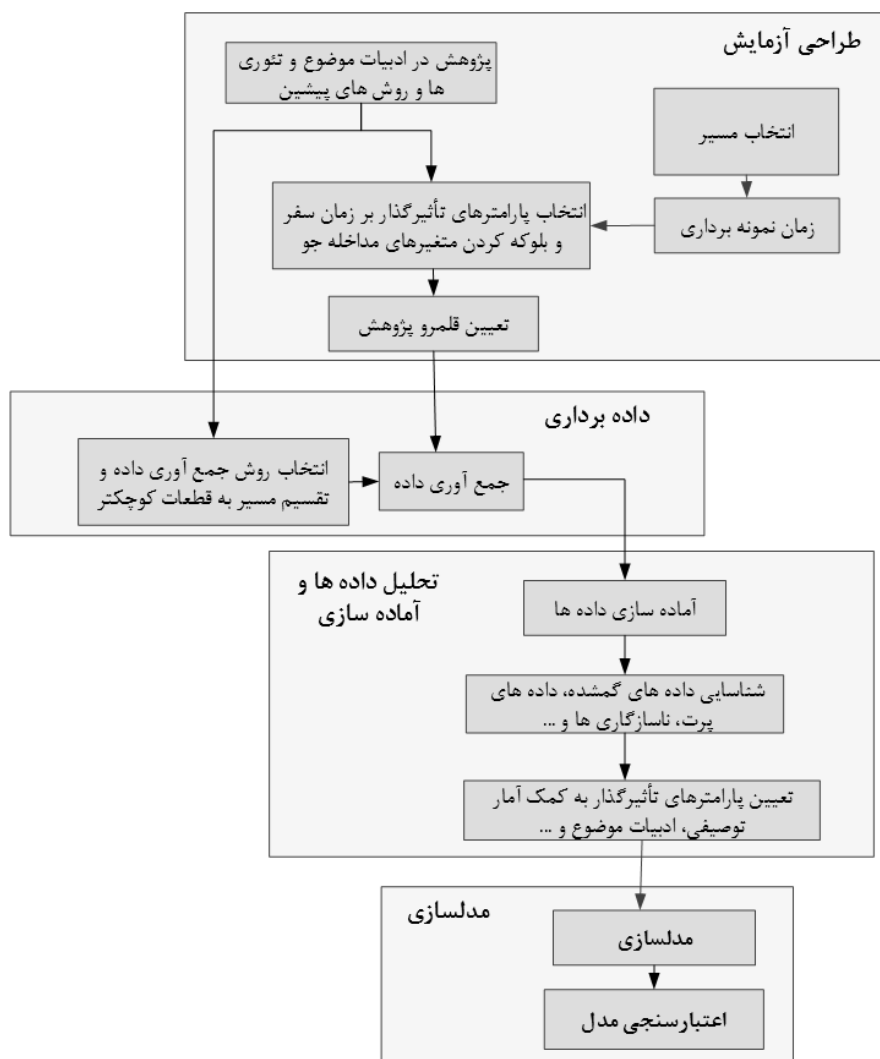
شده‌اند. روش‌های نیمه پارامتریک ترکیبی از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک برای مدلسازی استفاده می‌کنند. در این مقاله از دو روش پارامتریک برای پیش‌بینی زمان سفر استفاده شده است.

۳. ادبیات پژوهش

روش رگرسیون برای مدلسازی زمان سفر در پژوهش‌های متعددی استفاده شده است و در هر یک از این پژوهش‌ها متغیرهای مختلفی من جمله حجم ترافیک ثبت شده، داده‌های تاریخیچه‌ای و ویژگی‌های فیزیکی معبر، روز و ساعت و وضعیت آب و هوایی و غیره در نظر گرفته شده است. برای تعیین معیار یادگیری مدل از روش ساده و معروف مینیم مجذور مربعات تا روش پیچیده مینیم آن‌تروپی استفاده شده است.

مدل‌های سری زمانی در یک دسته‌بندی به مدل‌های مانا^{۱۱} و نامانا تقسیم می‌شوند. مانا بودن با توجه به ماهیت داده‌ها مشخص می‌شود. معروف‌ترین مدل مانا، مدل خطی خود همبسته میانگین متحرک^{۱۱} است. از این روش در پژوهش‌های متعددی برای پیش‌بینی زمان سفر استفاده شده است. همچنین روش تعمیم داده شده این روش با نام مدل خودهمبسته یکپارچه میانگین متحرک^{۱۲} شناخته می‌شود و در پیش‌بینی زمان سفر استفاده شده است. همچنین مدل‌های سری زمانی غیرخطی نیز در این موضوع به کار گرفته شده است.

متغیرهای گوناگونی در پژوهش‌های پیشین به عنوان متغیر مؤثر بر روی زمان سفر معرفی شده‌اند. لین و همکاران مدل‌های پیش‌بینی زمان سفر و متغیرهای در نظر گرفته شده در آن‌ها را مرور کردند. از جمله این متغیرها می‌توان به خصوصیات فردی



شکل ۱. روند انجام تحقیق

انتخاب مسیر، با بررسی مسیرهای مختلف با ویژگی‌های متفاوت یک حلقه شامل ۶ خیابان در محدوده خیابان دادمان، بلوار فرحزادی و بخش کوچکی از بزرگراه یادگار امام در غرب تهران با رده عملکردی شریانی و جمع‌کننده انتخاب شد. برخی معابر با توجه به تغییرات در متغیرهای فیزیکی و هندسی معبر و همچنین کتابچه NCHRP Handbook به قطعات کوچک‌تر تقسیم شدند. در این کتابچه راهنمایی شده است که برای جلوگیری از بروز انواع خطاها در نمونه‌گیری، قطعات حداکثر دارای طول ۱ کیلومتر باشند. محدوده مورد مطالعه و قطعات در نظر گرفته شده در شکل ۲ مشخص شده‌اند.

۶. طراحی آزمایش، داده‌برداری، آماده-

سازی داده و مدلسازی

در این بخش نحوه طراحی آزمایش، جمع‌آوری داده و آماده‌سازی داده‌ها توضیح داده می‌شود. به دلیل ارتباط تنگاتنگ طراحی آزمایش و جمع‌آوری داده به این دو گام در یک بخش پرداخته می‌شود.

۶-۱ طراحی آزمایش و جمع‌آوری داده

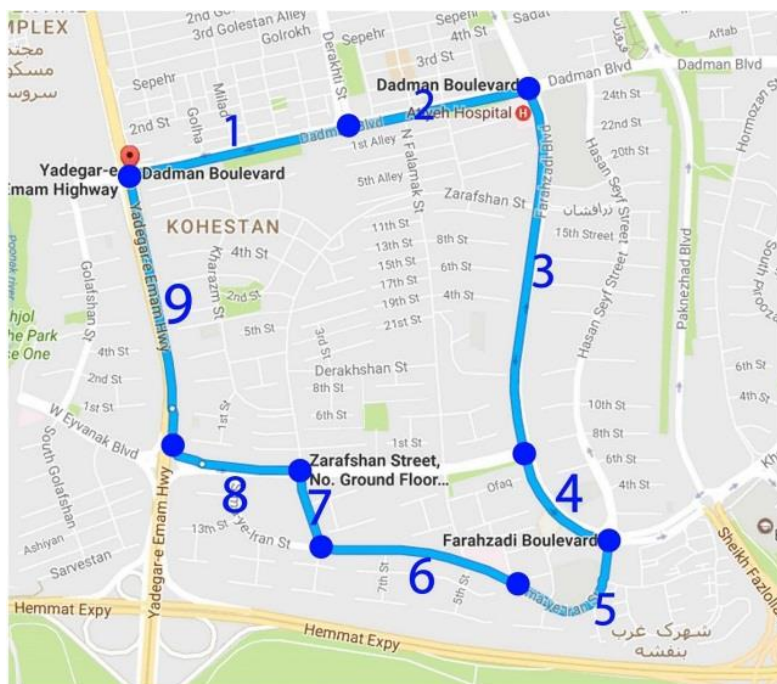
برای انجام طراحی آزمایش فاکتورهای مؤثر روی زمان سفر در معابر شهری به کمک مرور پژوهش‌های انجام گرفته و همچنین تئوری‌های پیشین مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای

مدلسازی زمان سفر معابر شهری به روش‌های رگرسیون خطی و سری زمانی

نیز ذخیره شد. همچنین نوع حرکت و نحوه رانندگی وسیله نقلیه با توجه به نکات موجود در کتابچه NCHRP Handbook به صورت ماشین شناور^{۱۳} انتخاب شد. در حالت ماشین شناور تعداد وسایل نقلیه‌ای که از ماشین در حال نمونه‌برداری عبور می‌کنند برابر تعداد وسایل نقلیه عبور شده است.

در نهایت اطلاعات متغیرهای زمان سفر، زمان تأخیر تقاطع، تعداد خط، تعداد دسترسی، وجود یا عدم وجود پارکینگ حاشیه‌ای، کاربری، شیب، تعداد سرعت کاه، سرعت لحظه‌ای و طول معبر در هنگام نمونه‌برداری ثبت شد.

نمونه‌برداری در روز جمعه ۳۰ بهمن ۱۳۹۵ ساعت ۴:۳۰ آغاز شد. روز و ساعت نمونه‌برداری و همچنین مشاهده وضعیت خیابان در هنگام نمونه‌برداری، نشان می‌داد داده‌های به دست آمده مربوط به زمان غیر اوج می‌باشند. همچنین برای جلوگیری از بروز خطاهای مختلف داده‌برداری با ۵ بار تکرار انجام شد. نمونه‌برداری به صورت طی مسیر با وسیله نقلیه و به کمک نرم‌افزار Mytacks انجام شد. این نرم‌افزار هم‌زمان با طی مسیر، اطلاعات طول، عرض و ارتفاع جغرافیایی، سرعت لحظه‌ای و زاویه با جهت شمال جغرافیایی را ذخیره می‌کند. علاوه بر این زمان سفر طی شده در طول مسیر به صورت دستی



شکل ۲. محدوده مورد مطالعه و قطعات در نظر گرفته شده

بودن داده‌ها به طور تقریبی مورد وثوق قرار گرفت. پس از آن جهت راستی آزمایی داده‌ها، ارتباط منطقی بین پارامترهای تأثیرگذار روی زمان سفر بررسی شد. به طور مثال با افزایش زمان تأخیر تقاطع زمان سفر افزایش پیدا می‌کند. در نهایت توزیع آماری برای داده‌های تهیه شده برازش شد و آماره‌های هر توزیع تعیین شدند و از نتایج این قسمت برای تعیین پارامتر تأثیرگذار و پیش‌بینی زمان سفر استفاده می‌شود.

۶-۲ آماده‌سازی داده‌ها

قبل از تحلیل آماری اطلاعات، لازم است آماده‌سازی داده‌ها صورت گیرد. با یک تحلیل اولیه مانند کشیدن نمودار جعبه‌ای، داده‌های پرت حذف می‌شوند. داده‌های گمشده بررسی شد و دو مورد پیدا شده به دلیل کم‌اهمیت بودن حذف شد. عدم حضور ناسازگاری بین داده‌ها تحلیل و تست شد. همچنین به کمک آمار توصیفی و تست‌های بررسی نرمال بودن مانند کولمگروف اسمیرنوف^{۱۴} و تست ترسیم نمودار Q-Q نرمال

فصلنامه مهندسی ترافیک / سال بیست و یکم / شماره ۸۵ / تابستان ۱۴۰۰

$$TT(t) - \sum_{i=1}^p \theta_i TT(t-i) \quad (1)$$

$$= Z(t) + \sum_{j=1}^q \theta_j Z(t-j)$$

که در آن $TT(t)$ متغیر وابسته یعنی زمان سفر در زمان t ، $TT(t-i)$ زمان سفر مشاهده i تکرار قبل، $Z(t)$ خطا در زمان t و $Z(t-j)$ خطا در j تکرار قبل است. در نتیجه زمان سفر در زمان t برحسب p مشاهده قبلی زمان سفر و q مشاهده قبلی خطا به صورت خطی مدل می‌شود. از آنجاکه در این مدل‌ها زمان سفر به صورت مستقیم بر روی خودش مدل می‌شود نیازی به تبدیل زمان سفر در واحد طول نیست. برای مدلسازی به روش سری زمانی نرم‌افزار ITSM به کار گرفته شد.

۷. تحلیل داده‌ها

در این بخش نتایج مدل‌های ساخته شده ارائه و تحلیل می‌شوند. به‌طور کلی با وجود ۹ مقطع و ۵ تکرار انجام شده، ۴۵ ردیف داده برای مدلسازی به کار گرفته شد.

۷-۱ رگرسیون خطی

برای تشخیص متغیرهای مؤثر در مدل، از روش Enter یعنی اضافه کردن یک‌به‌یک متغیرها و بررسی خوبی برازش با استفاده از پارامتر ضریب تعیین تعدیل شده (R_{adj}^2) و اهمیت متغیرها و سایر ویژگی‌های مدل استفاده شده است. مدل یک متغیره با متغیر مستقل زمان تأخیر تقاطع R_{adj}^2 برابر ۰/۳۹۵ نتیجه می‌دهد. با اضافه کردن تعداد خطوط به زمان تأخیر تقاطع مدلی ۲ متغیره با R_{adj}^2 برابر ۰/۵۳۷ حاصل می‌شود. مدل ۳ متغیره با متغیرهای زمان تأخیر تقاطع، تعداد خطوط و شیب مدل رگرسیون با R_{adj}^2 برابر ۰/۶۵ نتیجه می‌دهد. لازم به ذکر است در تمامی ۳ مدل ذکر شده متغیرها در T دارای اهمیت و معنی‌دار می‌باشند و همچنین واریانس‌ها در تست F دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

با اضافه کردن متغیرهای دیگر مدل بهتری از مدل ذکر شده که در تمامی فرضیات و شروط رگرسیون خطی صادق باشد، به

فصلنامه مهندسی ترافیک / سال بیست و یکم / شماره ۸۵ / تابستان ۱۴۰۰

۳-۶ ساخت مدل پیش‌بینی زمان سفر و تعیین

پارامترهای تأثیرگذار

مدلسازی پیش‌بینی زمان سفر از طریق دو مدل رگرسیون خطی و سری زمانی انجام شده است. روش رگرسیون در نرم‌افزار SPSS مدل شده است. در روش رگرسیون خطی با توجه به آماره‌های به‌دست‌آمده توزیع آماری متغیرها و همچنین در نظر گرفتن ادبیات موضوع، متغیرهای مؤثر به صورت گام‌به‌گام از طریق روش Enter شناسایی شد. در بخش بیان نتایج، مراحل ساخت، آزمون‌های پس از ساخت مدل، اعتبارسنجی و نتایج حاصل از مدل ارائه شده است. نکته حائز اهمیت در روش رگرسیون این است که به دلیل این‌که مقاطع مطالعه شده دارای طول‌های مختلفی می‌باشند و هدف ارائه مدلی واحد برای تمامی معابر است، دو متغیر زمان سفر و زمان تأخیر تقاطع که دارای واحد ثانیه می‌باشند به طول هر مقطع تقسیم شده و مدل ارائه شده به ازای زمان در واحد طول است (ثانیه در هر کیلومتر).

روش‌های سری زمانی به دو گروه اصلی مانا و نامانا تقسیم می‌شوند. مدل‌های مانا به مدلیایی گفته می‌شود که بر روی داده‌های مانا قابل اعمال هستند و ساده‌تر از مدل‌های نامانا می‌باشند. داده‌های مانا داده‌هایی هستند که چهار ویژگی روند^{۱۵}، تغییرات فصلی^{۱۶}، تغییرات سیکلی^{۱۷} و نایستایی در واریانس^{۱۸} در آن‌ها دیده نشود. برای استفاده از مدل‌های مانا، در صورت مشاهده هر یک از این ویژگی‌ها، باید به روش‌های مختلف آن‌ها را داده‌ها از بین برد. به‌طور مثال برای از بین بردن نایستایی در واریانس از تبدیل باکس-کاکس^{۱۹} استفاده می‌شود. در این پژوهش از ساده‌ترین مدل مانا یعنی مدل یک متغیره خطی مانا (مدل خودهمبسته میانگین متحرک) برای مدلسازی زمان سفر ۹ مقطع مورد مطالعه استفاده شده است. فرمول اصلی این روش به صورت فرمول (۱) است.

مدلسازی زمان سفر معابر شهری به روش‌های رگرسیون خطی و سری زمانی

تقسیم داده‌ها^{۲۱} استفاده می‌شود. در این پژوهش داده‌ها به صورت رندم به ۴ دسته با تعداد برابر تقسیم می‌شوند. در این روش به طور مثال در حالت $k=4$ داده‌ها به ۴ دسته تقسیم می‌شوند و هر بار از ۳ دسته برای مدلسازی و ۱ دسته جهت اعتبارسنجی استفاده می‌شود و در نهایت میانگین خطاها و ضرایب به عنوان نتیجه نهایی گزارش می‌شود. در روش رگرسیون در هر مرحله پس از ساخت مدل، مقادیر پیش‌بینی شده برای ۲۵ درصد داده‌های اعتبارسنجی طبق مدل به دست آمده محاسبه شده و سپس به کمک تست T مقادیر به دست آمده با مقادیر واقعی مقایسه و سنجش می‌شود. در هر چهار مرحله پس از ساخت مدل و اعتبارسنجی آن توسط تست T تفاوت معنی‌داری بین مقادیر به دست آمده و مقادیر واقعی مشاهده نشد و لذا اعتبار مدل اثبات می‌شود. به طور مثال برای دسته اول از داده‌ها نتیجه تست T به صورت جدول ۱ است.

جدول ۱. تست T دسته اول داده‌ها برای مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی

Independent Samples Test								
t-test for Equality of Means								
	t	df	Sig. (2-tail)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval		
						Lower	Upper	
Time/Length								
	Equal variances (Yes)	-.461	22	.650	-5.31250	11.53611	-29.23693	18.61193
	Equal variances (No)	-.461	18.177	.651	-5.31250	11.53611	-29.53206	18.90706

مورد نیاز برای تأیید مدل انجام می‌شود. شکل ۳-۱ تا ۳-۴ به ترتیب تست کولمگروف اسمیرنف برای نرمال بودن متغیرها، عدم وجود همبستگی بین متغیر از طریق ضریب VIF^{22} ، تساوی واریانس مقادیر پیش‌بینی شده از طریق رسم آن‌ها در برابر مقادیر باقیمانده برای بررسی همگونی واریانس‌ها^{۲۳} و عدم وجود خودهمبستگی^{۲۴} از طریق رسم نمودار acf^{25} را نشان می‌دهد.

دست نمی‌آید. به طور مثال با اضافه شدن تعداد سرعت کاه R_{adj}^2 مدل کاهش یافته و همچنین متغیر سرعت کاه در تست T معنی‌دار نیست. همچنین با اضافه کردن تعداد دسترسی‌ها توزیع باقیمانده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کرد و لذا مدل قابل قبول نبود. همچنین به دلیل گسسته بودن متغیر تعداد خطوط و گزینه‌های محدود آن (۲، ۳ و ۴ خط) اقدام به ساخت مدل با متغیر دامی^{۲۰} تعداد خطوط شد لیکن پس از ساخت مدل مشاهده شد علی‌رغم بالا رفتن R_{adj}^2 به میزان اندکی (از ۰/۶۵ به ۰/۶۷)، تابع توزیع باقیمانده‌های حاصل از این مدل از توزیع نرمال تبعیت نکرده و در تست کولمگروف اسمیرنف رد می‌شوند و لذا شروط رگرسیون خطی را رعایت نمی‌کنند.

۷-۱-۱ اعتبارسنجی مدل رگرسیون

پس از شناخت متغیرهای مؤثر، جهت ساخت نهایی مدل و به صورت هم‌زمان اعتبارسنجی آن از روش معروف k دسته

در نهایت مدل زیر برای پیش‌بینی زمان سفر در واحد کیلومتر با R_{adj}^2 برابر ۰/۶۴۸ به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\text{Time} \left(\frac{S}{\text{km}} \right) = 230.086 + 0.561 \times \text{IntersectDelay} \left(\frac{S}{\text{km}} \right) - 21.262 \times \text{Grades} - 34.094 \times \text{Lane} \quad (2)$$

پس از ساخت مدل و بررسی معناداری ضرایب و همچنین تفاوت واریانس مدل و باقیمانده‌ها، بررسی روی باقی موارد

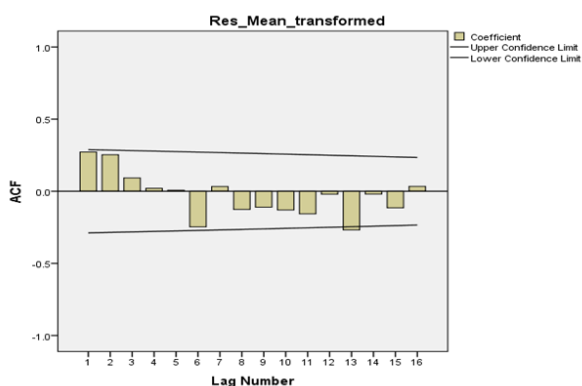
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error				Tolerance	VIF
(Constant)	226.789	30.806		7.362	.000		
DelayLength	.563	.196	.365	2.871	.008	.688	1.454
Grades	-19.233	6.833	-.308	-2.815	.009	.930	1.075
Lanes	-32.731	8.022	-.521	-4.080	.000	.682	1.467

a. Dependent Variable: TimeLength
b. Selecting only cases for which RandSamp1 = 0

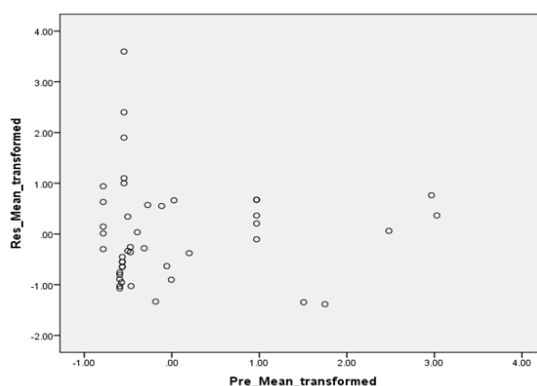
۳.۲. تست عدم وجود همبستگی بین متغیرهای مستقل

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test (Residuals)	
N	45
Normal Parameters ^{a,b}	Res. Mean
Mean	.3601
Std. Deviation	25.66610
Most Extreme Differences	Absolute
	.113
	Positive
	.113
	Negative
	-.083
Test Statistic	.113
Asymp. Sig. (2-tailed)	.188 ^c
a. Test distribution is Normal.	
b. Calculated from data.	
c. Lilliefors Significance Correction.	

۳.۱. تست نرمال بودن باقیمانده ها



۳.۴. تست عدم وجود خودهمبستگی



۳.۳. تست عدم وجود ناهمگونی در واریانس

شکل ۳. بررسی موارد موردنیاز برای تأیید صحت مدل رگرسیون پس از ساخت آن

برازش داده می‌شود. جدول ۲ مدل برازش شده که درجه هر دو مدل خودهمبسته و میانگین متحرک برابر ۱ می‌باشند و همچنین سایر اطلاعات مدل را نشان می‌دهد. شکل ۴ پیش‌بینی مدل سری زمانی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۲ و مدل پیش‌بینی شده در شکل ۴، مدل سری زمانی نتایج قابل قبولی را ارائه کرده است. لکن، از آنجایی که این روش نیاز به داده‌های گسترده‌تری به‌منظور پیش‌بینی دقیق‌تر زمان سفر دارد، در مجموع روش رگرسیون برای شرایط این مسئله مناسب‌تر برآورد می‌شود.

۲-۷ سری زمانی

همان‌گونه که پیش‌ازین توضیح داده شد، در این پژوهش از پایه‌ای‌ترین مدل مانا سری زمانی یعنی مدل یک متغیره خطی مانا برای مدل‌سازی زمان سفر نه مقطع مورد مطالعه استفاده شده است و همچنین از آنجاکه در این مدل یک متغیره، زمان سفر به‌صورت مستقیم بر روی خودش مدل می‌شود نیازی به تبدیل زمان سفر در واحد طول نیست.

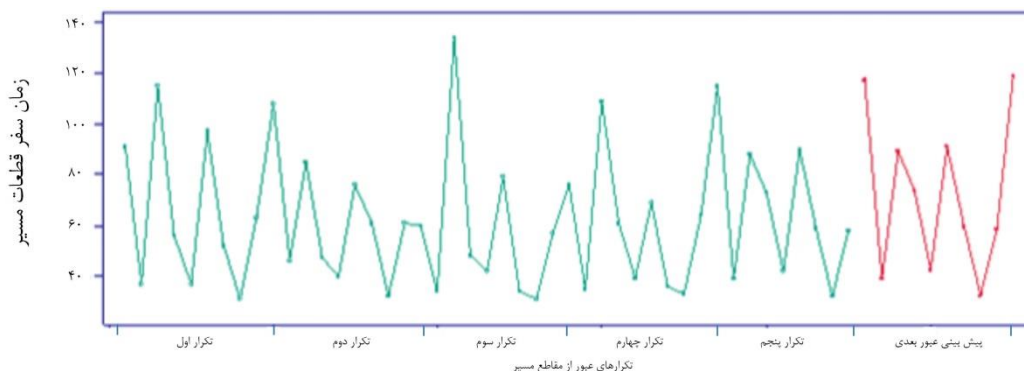
برای اجرای این مدل در نرم‌افزار ITSM ابتدا سیکل (با ایجاد یک Lag) و نا ایستایی در واریانس (با تبدیل box-cox) داده‌ها را از بین برده و سپس بهترین مدل ARMA به داده‌ها

جدول ۲. مدل سری زمانی برازش شده به کل مسیر

ARMA Model
$X(t) = -.6225 X(t-1) + Z(t) + .8775 Z(t-1)$
WN Variance = .051750
-.622457 = AR Coefficients
Standard Error of AR Coefficients = .185665
MA Coefficients = .877530
Standard Error of MA Coefficients = .104203
(Residual SS)/N = .0517502

مدلسازی زمان سفر معابر شهری به روش‌های رگرسیون خطی و سری زمانی

ARMA Model
AICC = 2.686553
BIC = -1.055635



رنگ سبز: تکرارهای عبور از مقاطع مسیر و رنگ قرمز: پیش‌بینی سری زمانی برای تکرار بعدی بر اساس ARMA

شکل ۴. پیش‌بینی مدل سری زمانی برای کل مسیر (رنگ سبز و قرمز به ترتیب تکرارهای عبور از مسیر و پیش‌بینی سری زمانی برای تکرار بعدی

بر اساس ARMA است)

زمانی چندمتغیره برای پیش‌بینی زمان سفر و همچنین استفاده از مدل‌های غیرخطی می‌تواند موضوع مناسبی برای پژوهش‌های آینده در این زمینه باشد.

۹. پی‌نوشت‌ها

1. Advanced Traveler Information System
2. Point detector
3. Interval Detector
4. Automatic Vehicle Identification (AVI)
5. Linear Regression
6. Bayesian Approach
7. Time Series
8. Neural Network
9. Decision Tree
10. Stationary
11. ARMA (Auto Regressive Moving Average)
12. ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average)
13. Floating Car
14. Kolmogorov-Smirnov
15. Trend
16. Seasonality
17. Cyclic
18. Variance Inequality
19. Box-Cox

۸. نتیجه‌گیری

در این پژوهش با طراحی یک آزمایش و داده‌برداری در معابر منتخب، پارامترهای تأثیرگذار بر زمان سفر معابر شهری در زمان غیر اوج تعیین شدند. پس از آماده‌سازی داده‌ها مدل‌سازی پیش‌بینی زمان سفر با استفاده از دو روش رگرسیون خطی و سری زمانی انجام شد. با استفاده از نتایج مدل رگرسیون ساخته‌شده، متغیرهای زمان تأخیر تقاطع، تعداد خطوط و شیب به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار تعیین شدند. با توجه به ضریب تعیین تعدیل‌شده بهترین مدل رگرسیون برابر $0/648$ ، می‌توان دریافت مدل رگرسیون خطی نمی‌تواند به‌خوبی و با اطمینان بالایی زمان سفر را پیش‌بینی کند. این موضوع می‌تواند به دلیل ماهیت پیچیده زمان سفر و متغیرهای مختلف و ناشناخته‌ای مانند رفتار رانندگی، آشنایی با مسیر و بسیاری از متغیرهای دیگر که روی آن تأثیرگذار هستند، باشد. با توجه به ماهیت زمانی زمان سفر، به نظر می‌رسد مدل‌های سری زمانی می‌توانند پیش‌بینی خوبی از زمان سفر معبر ارائه دهند. در این پژوهش مدل سری زمانی خطی با معیار آکائیکه برابر $2/69$ به دست آمد. لازم به ذکر است این مدل‌ها به تعداد داده بیشتری نسبت به مدل‌های رگرسیون خطی نیاز دارند. ساخت مدل سری فصلنامه مهندسی ترافیک / سال بیست و یکم / شماره ۸۵ / تابستان ۱۴۰۰

Transportation Research Part B 46 (1): 235–252, 2012.

- Kwon, Jaimyoung, Benjamin Coifman, and Peter Bickel. “Day-to-Day Travel Time Trends and Travel Time Prediction from Loop Detector Data.” Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1717 (1): 120–129, 2000.

- Yang, Jiann-Shiou. “A Study of Travel Time Modeling via Time Series Analysis.” Proceedings of the 2005 IEEE conference on control applications, Toronto, August 28–31, 855–860, 2005.

- Yildirimoglu, Mehmet, and Kaan Ozbay. “Comparative Evaluation of Probe-Based Travel Time Prediction Techniques under Varying Traffic Conditions.” Transportation Research Board 91st annual meeting, Washington, DC, January 22–26, 2012.

- Guin, Angshuman. “Travel Time Prediction Using a Seasonal Autoregressive Integrated.” Proceedings of the 2006 IEEE intelligent transportation systems conference, Toronto, September 17–20, 493–498, 2006.

- Ishak, Sherif, and Haitham Al-Deek. “Statistical Evaluation of I-4 Traffic Prediction System.” Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1856 (1): 16–24, 2003.

- Lin, H. Zito, R. Taylor, M A. “A Review of Travel-Time Prediction in Transport and Logistics” Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 1433 - 1448, 2005.

20. Dummy Variable

21. K-fold Cross Validation

22. Variance Inflation Factor

23. Heteroscedasticity

24. Autocorrelation

25. Autocorrelation Function

۱۰. مراجع

- Chien, S.I-J. and Kuchipudi, C. M. (2003) “Dynamic travel time prediction with real-time and historic data”, Journal of Transportation Engineering, Vol. 129, No. 6, 608-616.

- Wu, Chun-Hsin, Jan-Ming Ho, and D. T. Lee. “Travel-Time Prediction with Support Vector Regression.” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 5 (4): 276–281, 2004.

- Shawn M. Turner, William L. Eisele, Robert J. Benz, and Douglas J. Holdener, “Travel Time Data Collection Hand-Book.” National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 035, Transportation Research Board, 1998.

- Vlahogianni, Eleni I., John C. Golias, and Matthew G. Karlaftis. “Short-Term Traffic Forecasting: Overview of Objectives and Methods.” Transport Reviews 24 (5): 533–557, 2004.

- Van Hinsbergen, C. P. I. J., J.W. C. van Lint, and F. M. Sanders. “Short-Term Traffic Prediction Models.” Proceedings of the 14th World Congress on intelligent transport systems (ITS), Beijing, 1–18, 2007.

- Van Lint, J. W. C. “Reliable Travel Time Prediction for Freeways.” PhD diss., Delft University of Technology, 2004.

- Nikovski, D., N. Nishiuma, Y. Goto, and H. Kumazawa. “Univariate Short-Term Prediction of Road Travel Times.” Proceedings of the 2005 IEEE intelligent transportation systems, Vienna, September 13–16, 1074–1079, 2005.

- Du, Lili, Srinivas Peeta, and Yong Hoon Kim. “An Adaptive Information Fusion Model to Predict the Short-Term Link Travel Time Distribution in Dynamic Traffic Networks.”