بسط توابع زمان سفر- حجم برای راههای دوخطه دوطرفه برون شهری ایران

بهنام امینی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران
حنا اسرافیلی، کارشناس ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران
E-mail: bamini@ikiu.ac.ir

دریافت: ۹۱/۰۹/۲۲ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۰

چکیده

توابع زمان سفر- حجم در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و مهندسی ترافیک کاربرد گسترده‌ای دارند. این روابط برای شرایط هندسی، ترافیکی و کنترلی مختلف به دست آمده و در تحلیلهای ظرفیت و سطح سرویس و نیز مدلهای تخصیص ترافیک بکار برده می‌شوند. با وجود سهم قابل توجهی که راههای دوخطه دوطرفه از کل راههای کشور دارند، تاکنون مطالعات جامعی در راستای به دست آوردن این روابط، ویژه راههای ایران صورت نگرفته است. این درحالی است که شرایط فیزیکی و ترافیکی متفاوتی در راههای کشور، نسبت به سایر کشورها حاکم است. بنابراین استفاده مستقیم از آیین‌نامه‌های سایر کشورها برای طراحی و ساخت راههای کشور، دقت محاسبات را کاهش خواهد داد. این تحقیق با هدف ارایه مدلهای زمان سفر -حجم در راههای دو خطه ایران در سه منطقه هموار، تپه ماهور و کوهستانی، با استفاده از داده‌های میدانی و اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی صورت گرفته است. به دلیل کمبود آمار و اطلاعات کافی و دقیق، بویژه در حجمهای بالا و نزدیک به ظرفیت، رویکرد شبیه‌سازی انتخاب شده و از نرم‌افزار شبیه‌ساز TWOPAS برای تولید داده‌ها بهره‌گیری شده است.با تحلیل داده‌های به دست آمده، توابع زمان سفر- حجم برای مناطق توپوگرافی مختلف به دست آمده‌اند. مدل نهایی ارایه شده به صورت ترکیبی از بخش خطی (نسبت حجم به ظرفیت کمتر از ۶/۰) و بخش منحنی (نسبت حجم به ظرفیت بیشتر از ۶/۰) و با درجه اطمینان بالاتر از ٪۹۵ به دست آمده است. روابط زمان سفر-حجم پیشنهادی در این تحقیق به خوبی می تواند تغییرات مقدار زمان سفر در برابر افزایش حجم ترافیک را برای راههای دوخطه ایران توضیح دهد.

واژه‌های کلیدی: راههای دوخطه، توابع زمان سفر- حجم، شبیه‌سازی جریان ترافیک.

۱. مقدمه

راههای دوخطه، درصد قابل توجهی از شبکه راههای کشور را تشکیل می‌دهند. مطالعه ظرفیت و طراحی این راهها همواره در مباحث مهندسی ترافیک و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل حائز اهمیت بوده است. ارزیابی و اندازه‌گیری عملکرد ترافیک در این نوع راهها به دلیل ویژگیهای خاص آنها یک موضوع پیچیده به شمار می رود، زیرا ترافیک عبوری در هر خط علاوه بر جریان عبوری از همان خط، متأثر از ترافیک وسایل نقلیه عبوری از خط مقابل نیز هست.

در شبکه‌های راههای برون‌شهری، اغلب حجم ترافیک آن قدر زیاد نیست که زمان سفر واقعی کمتر از زمان سفر آزاد شود. اما در حجمهای زیاد و بویژه در جاده‌های دوخطه که در این مطالعه مورد نظر هستند، تأثیر وسایل نقلیه بر یکدیگر باعث ایجاد تأخیر در حرکت می‌شود. بنابراین، در جاده‌های برون شهری نیز رابطه بین زمان سفر و حجم جریان را می توان به صورت یک تابع ریاضی ارایه و از آن در کاربردهای مختلف و از جمله مدلهای تخصیص ترافیک استفاده کرد.

تاکنون مدلهای مختلفی برای توابع زمان سفر– حجم در کشورهای مختلف پیشنهاد شده است. از آنجا که در ایران شرایط فیزیکی و ترافیکی، نوع و مشخصات وسایل نقلیه سنگین و رفتار رانندگان نسبت به سایر کشورها متفاوت است، لازم است که مطالعاتی سازگار با شرایط موجود در راههای کشور صورت گیرد. این مطالعات که همراه با اندازه‌گیری زمان سفر در حجمهای مختلف ترافیک انجام می‌شود، به توابع یا نمودارهای زمان سفر – حجم ترافیک منتهی خواهند شد.

۲. مروری بر سوابق

زمان سفر به عنوان یک پارامتر مهم در ارزیابی عملکرد راهها شناخته شده است. طبق نظر ترنر، زمان سفر برای هر دو گروه متخصصان و استفاده‌کنندگان راه، پارامتری قابل درک است. افزون بر این، از هر دو دیدگاه استفاده کننده و اداره کننده، کارآیی دارد [Turner,2004]. به علاوه، زمان سفر به عنوان یک پارامتر قابل استفاده در سیستمهای ارزیابی عملکرد به رسمیت شناخته شده که می‌تواند اطلاعات را به اشکال مختلفی برای کمک به مدیران، مهندسین ترافیک، برنامه‌ریزان، استفاده کنندگان و محققان ارایه کند [Choe et al ,2002].

مطالعات بسیاری جهت ارایه الگوریتمهای محاسبه زمان سفر با استفاده از سیستمهای اندازه‌گیری پیشرفته مانند نرم افزارهای پردازش تصویر، وسیله نقلیه متحرک و ... طی سالهای اخیر صورت گرفته است [Turner,1996]. زیرساختهای موجود اغلب دارای شناساگرهای حلقه‌ای هستند که برداشت داده را به صورت نقطه‌ای انجام می‌دهند. این داده‌ها اغلب شامل سرعت است که به راحتی به زمان سفر تبدیل می‌شوند.

وزارت حمل و نقل انگلستان نیز توابع سرعت– تردد و متعاقباً توابع زمان سفر– حجم متنوعی را برای انواع مختلف کمانهای شبکه در شهر، حومه شهر و نواحی بین شهری ارایه کرده است [Traffic Appraisal Manual, 1985].در آیین‌نامه انگلستان بر حسب حجم تردد، روابط جداگانه‌ای برای حجمهای کمتراز تردد جریان آزاد، حجمهای بیشتراز ظرفیت و مقادیر مابین این دو مقدار، ارایه شده است.

پروژه تهیه راهنمای ظرفیت راههای اندونزی نیز با استفاده از آمارگیری مستقیم و نیز مدلهای شبیه‌سازی VTI، روابط میان زمان سفر و حجم تردد را تعیین کرده است [Indonesian Highway Capacity Manual, 1995]. در راههای دوخطه جدا نشده اندونزی، روابط زمان سفر– تردد تقریباً خطی هستند و می‌توانند با مدلهای ساده خطی بیان شوند. سرعت متوسط سفر در راههای اندونزی به طور کلی کمتر از مقادیر سرعت در راههای موجود در کشورهای توسعه یافته هستند. نمودارهای زمان سفر– تردد در مناطق هموار، تپه ماهور و کوهستانی به صورت جداگانه ارایه شده است.

در سالهای اخیر، مطالعات بسیاری جهت پیش بینی و یا تخمین زمان سفر با استفاده از روشهای مختلف از جمله مدلهای رگرسیونی صورت گرفته است[Zhang et al,2003]. با وجود این که زمان سفر به پارامترهای مختلف از جمله حجم تقاضا،

شرایط آب و هوایی، شرایط فیزیکی راه، شرایط ترافیکی و ... وابسته است، مدلهای به دست آمده از مطالعات مختلف در تمامی شرایط ذکر شده به طور مطلوب عمل نمی‌کنند و در برخی شرایط نقایصی در نتایج به دست آمده از مدلها مشاهده می‌شود.

طی مطالعات مختلف مشخص شده است که اندازه‌گیری زمان سفر در شرایط ترافیکی با حجم بالا که صفها تشکیل و یا پراکنده می‌شوند، با پیچیدگی مواجه است. وَن لینت و وَن زویلن (۲۰۰۵) نشان داده‌اند که زمان سفر محاسبه شده از تردد ورودی/ خروجی تحت شرایط غیرمتراکم به دلیل واریانس کم، تقریباً مقدار ثابتی دارد، اما در شرایط متراکم، زمان سفر همراه با افزایش حجم تقاضا افزایش می‌یابد و واریانس بالاتری نیز دارد. بنابراین تعیین اثر تراکم بر زمان و حجمهای مرتبط برای تخمین زمان سفر ضروری است[Vanlint, 2005].

تحقیقات بسیاری نشان داده اند که شبیه سازهای ترافیکی، ابزارهای مناسبی برای بهبود آگاهی در رابطه با رفتارهای رانندگان بشمار می‌روند. از این رو جایگزینهای مناسبی برای مطالعات میدانی محسوب می شوند، برای مثال تحلیل رفتار رانندگان با درنظر گرفتن شرایطی که امکان بررسی، کنترل و برداشت آمار در آنها با دشواریهایی همراه است (مانند تردد ترافیک نزدیک به ظرفیت) [Rossi et al, 2011]. به علاوه شبیه سازهای ترافیکی، نکات مثبت دیگری از جمله صرفه اقتصادی دارند.

به این طریق، ایمنی بالای مطالعات و کارآمدی بیشتر نسبت به برداشت میدانی داده ها دارند [Rossi et al, 2011].

در همین زمینه مطالعاتی با هدف جمع آوری داده های میدانی جهت پرداخت معادلات زمان سفر در راههای دوخطه دوطرفه برون‌شهری با استفاده از شبیه سازهای ترافیکی صورت گرفته است [Gastaldi et al, 2011]. نتایج این بررسی از نظر کیفی نشان می دهد که دو دسته داده میدانی و شبیه سازی شده، همپوشانی مناسبی دارند.

در ایران برای اولین بار، پورزاهدی و آشتیانی ، مطالعاتی برروی جاده‌های برون‌شهری در مراکز صنعتی حاشیه زاینده‌رود انجام داده و توابع زمان سفر- حجم را برای این راهها به دست آورده‌اند. آنها در مطالعه خود، از رابطه BPR استاندارد استفاده کرده و ضرایب موجود در این رابطه را برای شرایط موجود در ایران کالیبره کرده‌اند [Pourzahdi and Ashtiani, 1985] . شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران نیز (۱۳۷٤) مطالعاتی برای به دست آوردن توابع زمان سفر- حجم برای راههای درون‌شهری تهران انجام داده است. در این مطالعات نیز از تابع BPR استاندارد استفاده شده و راهها از نظر عملکردی به ٦ گروه تقسیم‌بندی شده‌اند (آزادراه، تندراه، شریانی درجه ۱، شریانی درجه ۲، جمع کننده و دسترسی محلی).علاوه بر مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، سایر شهرها نیز از جمله مشهد، شیراز، کرمانشاه و یزد، با استفاده از نتایج به دست آمده از مطالعات پورزاهدی و آشتیانی، ضرایب رابطه BPR استاندارد را برای شرایط موجود کالیبره کرده‌اند.

۳. هدف وچارچوب تحقیق

هدف از این تحقیق ارایه مدلهای زمان سفر – حجم در راههای دو خطه ایران در سه منطقه هموار، تپه ماهور و کوهستانی، با استفاده از داده‌های میدانی و اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی است. به‌دلیل کمبود آمار و اطلاعات کافی و دقیق، در این مطالعه رویکرد شبیه‌سازی انتخاب شده و از نرم‌افزار شبیه‌ساز TWOPAS جهت تولید داده‌ها بهره گرفته خواهد شد. این نرم‌افزار با استفاده از اطلاعات میدانی برای راههای کشور پرداخت خواهد شد. متغیرهای ترافیکی که به صورت میدانی اندازه گیری خواهند شد شامل زمان سفر و حجم ترافیک و سایر متغیرهای هندسی و کنترلی مورد نیاز خواهند بود.

با توجه به بررسی مطالعات صورت گرفته در رابطه با راههای دوخطه در سایر کشورها که در بخش مرور ادبیات به آنها اشاره شد و با در نظرگرفتن نقاط مثبت و منفی هر یک از روشها، یک روش جامع برای بررسی روابط زمان سفر و حجم، انتخاب شده است. این روش شامل جمع‌آوری آمار و اطلاعات موجود، برداشت آمار جدید با توجه به کمبود داده های مورد نیاز، پرداخت نرم‌افزار شبیه‌ساز، تولید داده‌هایی که در شرایط واقعی

رخ نمی‌دهند با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز، بررسی نتایج و حصول اطمینان از درستی اطلاعات تولید شده و در نهایت تحلیل نتایج و ارایه مدلهای مناسب و منطبق بر شرایط حاکم بر جریان ترافیک راههای دوخطه کشور است.

درگام اول، جهت برداشت و جمع آوری داده‌های مناسب، متغیرهای مستقل و وابسته مؤثر بر توابع زمان سفر- حجم شناسایی شده و روش برداشت میدانی هریک معرفی و مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پس از این مرحله با توجه به امکانات و محدودیت‌های موجود، روش مناسب برای برداشت هریک از متغیرها انتخاب خواهد شد.

همزمان با شناسایی پارامترهای مؤثر، لازم است تا یک شناخت کلی از مشخصات فیزیکی راههای دوخطه کشور و نیز مشخصات وسایل نقلیه سنگین عبوری از این راهها به دست آید. در رابطه با مشخصات فیزیکی راههای دوخطه کشور از طبقه‌بندی راههای دوخطه موجود در نشریه ۱۶۱ استفاده خواهد شد که بر اساس آن، راههای دوخطه کشور به سه منطقه هموار، تپه ماهور و کوهستانی بر حسب شیب منطقه تقسیم شده‌اند.[Code of Practice for Road Construction, Iran, 2006] گروه بندی وسایل نقلیه نیز براساس مطالعه انجام شده در رابطه با ضریب هم‌سنگ سواری در راههای دوخطه کشور، درنظر گرفته می‌شود تا بتوان از ضرایب به دست آمده برای ایران در محاسبه حجم تردد برحسب وسیله نقلیه سواری استفاده کرد. طبق این گروه بندی وسایل نقلیه سنگین به دو گروه وسایل سنگین تک قسمتی و دو قسمتی تقسیم می شوند [Shahrad, 2011].

پس از تحلیل اولیه اطلاعات میدان و پرداخت نرم‌افزار شبیه‌ساز، با استفاده از نرم‌افزار منتخب اطلاعات در شرایطی که کمتر در واقعیت رخ می‌دهند، تولید خواهند شد. این شرایط، شامل جریان ترافیک در حجمهای عبوری بالا و نزدیک به ظرفیت است که در واقعیت رخ نداده و یا به ندرت رخ می‌دهند. بنابراین امکان برداشت میدانی پارامترهای مورد نظر در این شرایط وجود ندارد. به همین دلیل جهت تکمیل داده‌ها و رسیدن به مدلهایی که پاسخگوی تمامی شرایط باشند، از تولید داده ها استفاده خواهد شد.

در نهایت با تحلیل اطلاعات مربوط به متغیرهای مؤثر بر روابط زمان سفر- حجم و تکمیل داده‌های موجود از طریق شبیه سازی، نتایج مدلها با یکدیگر در شرایط متفاوت توپوگرافی و حجمی مورد مقایسه قرار خواهند گرفت. در نهایت مدلها و توابع زمان سفر- حجم در کشور ایران با توجه به مناطق مختلف توپوگرافی ارایه خواهند شد.

٤. مبانی تحقیق

یکی از توابع زمان سفر- حجم متداول که در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و مدلهای تخصیص ترافیک کاربرد دارد، مدل ارایه شده توسط دفتر راه های عمومی کشور امریکا است [Bureau of Public Roads,1964]. این رابطه که موسوم به BPR است، به صورت زیر ارایه می‌شود:

$$t = t_0\left(1+\alpha\left(\frac{v}{c}\right)^{\beta}\right) \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

t_0 زمان سفر جریان آزاد، ظرفیت راه و α و β پارامترهای معادله .

روابط و توابع زمان سفر- حجم دیگری نیز توسط محققان ارایه شده است که برخی از آنهایی که بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از:

مدل اسماک که برای مطالعه دیترویت پیشنهاد شد. این مدل به صورت تابع نمایی زیر است [Smock,1962] :

$$t = t_0 \exp\left(V/Q_s\right) \qquad (۲)$$

که در آن:

t زمان سفر در واحد طول طی‌شده (مسافت)، و t_0 زمان سفر در واحد مسافت تحت شرایط جریان آزاد و Q_s ظرفیت حالت پایدار کمان است.

پس از آن، اُورگارد معادله قبل را به صورت زیر تعمیم داده است [Overgaard,1967] :

$$t = t_0 . \alpha^{\beta\left(V/Q_p\right)} \quad (۳)$$

که در آن Q_p ظرفیت عملی کمان، و α و β پارامترهای پرداخت هستند.

وزارت حمل و نقل انگلستان نیز توابع زمان سفر- حجم متنوعی را برای انواع مختلف کمانهای شبکه در شهر، حومه شهر و نواحی بین شهری ارایه کرده است.[Traffic Appraisal Man - al,1985]. شکل کلی‌این توابع به صورت رابطه (٤) است:

(٤)

$$T(V) = \begin{cases} d/S_0 & V < F_1 \\ d/S(V) == \dfrac{d}{S_0 + SS_{01}F_1 - SS_{01}V} & F_1 \le V \le F_2 \\ d/S_1 + (V/F_2 - 1)/8 & V > F_2 \end{cases}$$

که در آن:

S_0: سرعت جریان آزاد، S_1: سرعت در تردد ظرفیت (F_2)، F_1: حداکثر تردد در شرایط جریان آزاد و d : فاصله یا طول کمان.

دراین رابطه مقدار SS_{01} از رابطه (٥) به دست می‌آید:

$$SS_{01} = \frac{S_0 - S_1}{F_1 - F_2} \quad (۵)$$

وزارت حمل و نقل انگلستان مقادیر پیشنهادی را برای پارامترهای F_1، S_1، S_0 و F_2 برحسب نوع راه ارایه می‌کند. ازاین توابع می‌توان جهت تعیین سرعت متوسط کمانهای شبکه و تجزیه و تحلیل‌های ظرفیت و سطح خدمت استفاده کرد.

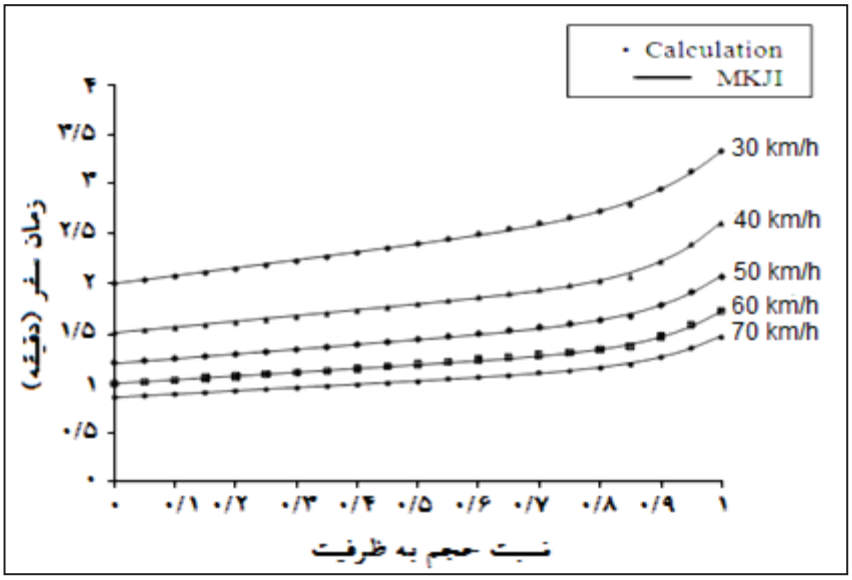
توابع زمان سفر- حجم ارایه شده درآیین نامه اندونزی به دو گروه تقسیم می‌شوند: گروه اول توابع مربوط به راههای دوخطه دوطرفه جدا نشده و گروه دوم توابع مربوط به راههای چندخطه‌اند. روابط زمان سفرراههای دوخطه اندونزی به صورت رابطه (٦)ارایه شده است [Indonesian Highway Manual,1995]:

$$T = \alpha_1 . \left(\frac{v}{c}\right)^{\beta} + \alpha_2 . \left(\frac{v}{c}\right) + T_0 \quad (۶)$$

α_1، α_2 و β با استفاده از روش حداقل مربعات قابل محاسبه خواهند بود. به این ترتیب که برای مقادیر متفاوت سرعت جریان آزاد، پارامترهای α_1، α_2 و βمحاسبه شده و در شکل (١) برای راههای دوخطه نشان داده شده‌اند. در این شکل محور عمودی، زمان سفر بین دو ایستگاه نمونه‌برداری میدانی است.

۵. جمع آوری آمار و اطلاعات

جمع‌آوری و برداشت آمار در این تحقیق، با هدف دستیابی به توابع زمان سفر- حجم متناسب با شرایط موجود در راههای دوخطه کشور صورت می‌پذیرد. بنابراین، پیش از انجام عملیات



شکل ۱. نمودارهای زمان سفر برای راههای دوخطه جدانشده در اندونزی [Indonesian Highway Manual,1995]

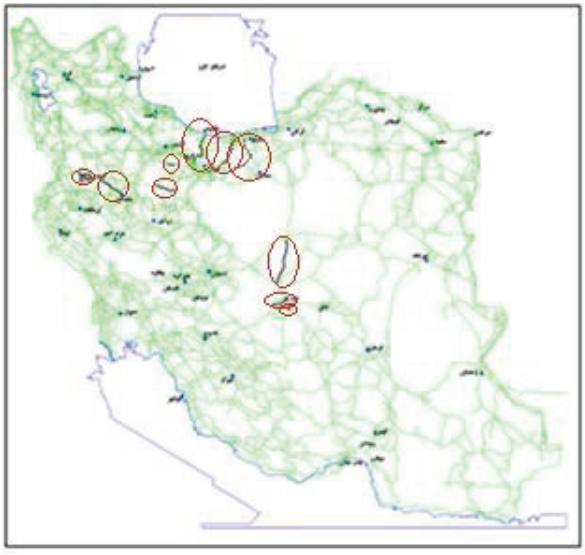
آماربرداری، متغیرهای مؤثر بر این توابع باید به خوبی شناسایی و روش برداشت میدانی هریک مشخص شوند. همچنین در تعیین متغیرها باید روابط و مدلهای تأثیرگذار، پرداخت و اعتبارسنجی مدل نیز در نظر گرفته شوند. در این مطالعه متغیر مستقل زمان سفر رفت و برگشت و متغیر وابسته حجم تردد است. سایر متغیرهای مورد نیاز برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدلها، سرعت متوسط سفر، سرفاصله زمانی و مشخصات هندسی مسیر است.

در جمع‌آوری آمار، علاوه بر متغیرهای مؤثر بر مدلها، انتخاب محورهایی که آمار آنها موجود است و یا در آنها آماربرداری انجام خواهد گرفت، نیز بسیار اهمیت دارد، زیرا داده های مورد استفاده در ساخت مدلها باید دربرگیرنده شرایط مختلف فیزیکی، ترافیکی، آب‌وهوایی، جغرافیایی و ... باشد. از جمله آمارهای موجود، آمار محورهای دوخطه موجود در استانهای همدان، تهران و یزد است و شامل محورهای همدان – قروه، اشتهارد – بویین زهرا، ساوه – همدان (جاده قدیم)، دهگلان – سنندج، یزد – مهریز، اردکان – چوپانان و یزد – ابرکوه است که در شکل (۲) نشان داده شده‌اند [Shahrad, 2011]. این استانها در سه منطقه کوهستانی، تپه ماهور و هموار قرار دارند و نیز شامل سه نوع اقلیم موجود در کشور (سردسیری، گرمسیری و معتدل) است. از این رو پوشش مناسبی از شرایط راههای موجود در کشور را دارا هستند. به علاوه محورهای مذکور، از حجم ترافیک متفاوتی برخوردارند.

در برداشت آمار از این محورها، ترکیب روش فیلم برداری در ایستگاههای آماربرداری و نیز اتومبیل متحرک و فیلم‌برداری حین حرکت اتومبیل ناظر مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات موجود در این محورها، شامل تردد وسایل نقلیه در مقطع مشخص شده از راه، سرعت متوسط وسایل نقلیه عبوری به تفکیک نوع وسایل نقلیه و نیز زمان عبور وسیله نقلیه متحرک در همان طول است.

روش خودروی متحرک که در این مطالعه برای برداشت زمان سفر انتخاب شده است، با استفاده از یک خودرو انجام می‌شود. رانندگی با این اتومبیل براساس شرایط عملکردی صورت می‌گیرد، به این معنا که در آن، راننده خودرو به تعداد وسائل نقلیه‌ای که از او سبقت می‌گیرند، از دیگر وسایل نقلیه سبقت می‌گیرد. در این روش که روش خودروی روان نیز نام دارد، زمان سفر وسیله نقلیه آزمایش اندازه‌گیری شده و به عنوان زمان سفر ثبت می‌شود [Behbahani, 2005].

همچنین در تکمیل آمار موجود و جهت پرداخت نرم‌افزار TWOPAS، قطعاتی از سه محور چالوس، هراز و فیروزکوه، جهت برداشت میدانی انتخاب شده‌اند. روش مورد استفاده، همان ترکیب روش فیلم برداری در ایستگاههای آماربرداری و نیز خودروی متحرک و همچنین فیلم‌برداری حین حرکت خودروی ناظر مورد استفاده قرار گرفته است. دلیل این انتخاب آن است که این روش نسبت به سایر روشها اقتصادی‌تر بوده و به نیروی انسانی کمتری برای برداشت آمار و اطلاعات نیاز دارد. به علاوه امکان برداشت همزمان تمامی متغیرهای مورد نیاز در این روش میسر خواهد بود. افزون بر این، مشخصات هندسی مسیر با استفاده از GPS و مشخصات ترافیکی (شامل سرعت لحظه‌ای، زمان سفر و حجم تردد) از طریق فیلم برداری برداشت شده‌اند. به طور کلی محورهای انتخابی طولی بین ۳ تا ۱۰ کیلومتر و شیب کلی بین ۰/۳ تا ۶/۸ دارند.



شکل ۲.محل قرارگیری محورهای انتخابی در کشور

این آماربرداری در یک بازه زمانی یک ساعته برای هر مقطع انجام شده است. سعی شده است تا این بازه ۱ ساعته در شرایط متعادل ترافیکی انتخاب شود، به این معنا که در ساعات روشنایی روز، شرایط آب و هوایی مساعد ، در ساعات اوج ترافیک و بدون عوامل خارجی موثر بر جریان ترافیک باشد. پس از بررسی آمار موجود و داده‌های به دست آمده از برداشت میدانی در سه محور منتخب، مشخص شد که آمار واقعی در محدوده حجم تردد بالا و نزدیک به ظرفیت نیست و در مواردی نیز که این داده‌ها به دست آمده‌اند (مانند مقاطع با شیب طولی زیاد)، تعداد داده‌ها محدود بوده و برای مدلسازی کافی نیستند. این امر ضرورت شبیه‌سازی و تولید داده‌ها در محدوده حجمی مورد نیاز را توجیه می‌کند.

٦. شبیه سازی و تولید داده ها

یکی از مهم‌ترین ابزارهای تحلیلی مهندسی ترافیک، شبیه‌سازی رایانه ای است. به دلایلی نظیر هزینه کمتر، سرعت بیشتر در ارایه نتایج، امکان اعمال تغییرات روی چند متغیر تأثیرگذار و تأثیرپذیر به طور همزمان، جلوگیری از ایجاد آشفتگی در محل مورد مطالعه، عدم نیاز به اعمال تغییرات فیزیکی در تسهیلات مورد مطالعه، ارزیابی عملکرد مسیر تحت تقاضای مختلف و ... عملی‌تر از تجربه و آزمایش محلی است.

در این تحقیق، برای تولید داده‌های مورد نیاز از نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیک راههای دوخطه TWOPASبهره گرفته شده است. TWOPASبه عنوان یک مدل میکروسکوپیک، عملکرد هر وسیله نقلیه را در طول راه به طور مجزا شبیه‌سازی می‌کند. عملکرد هر وسیله نقلیه، همان طور که در مسیر حرکت می‌کند، از نحوه حرکت وسایل نقلیه مجاور، خصوصیات رفتاری راننده، مشخصات وسیله نقلیه، شرایط هندسی مسیر و شرایط ترافیکی محیط تأثیر می‌پذیرد.[Traffic Analysis Module Eng- neer's Manual, 2010]

چهار قابلیت جدید که در نسخه‌های پیشین یافت نمی‌شود، عبارتند از: الف) قابلیت شبیه سازی مقاطع خط سبقت و خط کندرو؛ ب) امکان تنظیم درصدی از جریان ترافیک ورودی به صورت گروهی؛ ج) انتخاب پیشروهای گروه با توجه به طرح هندسی مقطع در بالادست؛ به علاوه د) ایستگاهها و زیرمقطعها می‌توانند توسط کاربر در جایی که احتیاج به داده‌های نقطه‌ای و داده‌های کلی باشد، تعیین شوند.[Traffic Analysis Module Engineer's Manual, 2010]

برخی از ویژگیهای اصلی نرم‌افزار TWOPASعبارتند از: امکان تعریف انواع مختلف وسایل نقلیه موجود در HCM ، قابلیت مدلسازی شرایط مختلف هندسی شامل قوسهای افقی، شیبها، قوسهای عمودی، فاصله دید، کنارگذر در شیبهای معمولی و کنارگذر در شیبهای خاص، مدلسازی خصوصیات رفتاری رانندگان و مشخصات وسایل نقلیه برای پرداخت مناسب مدل، امکان درنظر گرفتن توزیعهای مختلف سرعت و پردازش ترافیک و بهنگام‌سازی سرعت، شتاب و موقعیت مکانی وسیله نقلیه در بازه‌های زمانی یک ثانیه‌ای.

در روند تولید داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار، ابتدا اطلاعات هندسی و کنترلی و ترافیکی محور به فرمت مورد نظر برای نرم‌افزار وارد شده، و مقطع انتخاب شده در نرم‌افزار مدل می‌شود. پس از مدل کردن محورها و اجرای نرم‌افزار، ابتدا صحت خروجیهای به دست‌آمده با استفاده از آزمونهای آماری (ضریب همبستگی پیرسون و تست t دوطرفه) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این آزمونها که با استفاده از نرم‌افزار SPSS به دست آمده‌اند، در جداول (۱) و (۲) ارایه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، مقدار ضریب همبستگی پیرسون نزدیک به ۱ بوده و این امر نشان دهنده رابطه خطی و ارتباط خوب میان دو گروه داده (داده‌های واقعی و مقادیر به دست آمده از شبیه‌سازی) است. همچنین، با استفاده از تست t دوطرفه، که برای بررسی دو گروه داده جفت (از یک جنس) بکار می‌رود، مقادیر واقعی و شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این تست هر گاه ضریب اهمیت (sig. ۲-tailed) کمتر از ۰/۱ باشد به این معناست که اختلاف میان دو گروه معنادار است.

در پرداخت نرم‌افزار، پارامترهای انتخابی برای سنجش مقدار

جدول ۱. نتایج آزمون همبستگی پیرسون

		شبیه سازی	آماربرداری
شبیه سازی	همبستگی پیرسون	۱	۰/۸٤۰
	Sig. (2-tailed)		۰/۰۱۸
	تعداد	۷	۷
آماربرداری	همبستگی پیرسون	۰/۸٤۰	۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۰۱۸	
	تعداد	۷	۷

ضریب همبستگی (درصد زمان دنباله روی)

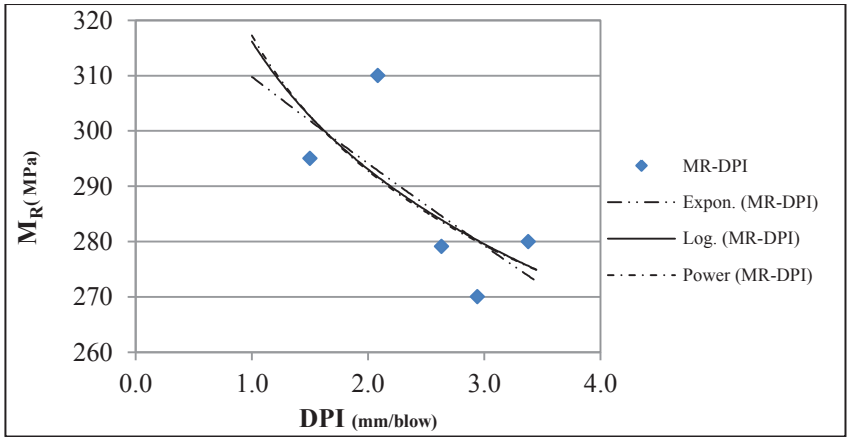
		دنباله روی – شبیه سازی	دنباله روی– آماربرداری
دنباله روی – شبیه سازی	همبستگی پیرسون	۱	۰/۷٦۳
	Sig. (2-tailed)		۰/۰٤٦
	تعداد	۷	۷
دنباله روی– آماربرداری	همبستگی پیرسون	۰/۷٦۳	۱
	Sig. (2-tailed)	۰/۰٤٦	
	تعداد	۷	۷

جدول۲. نتایج آزمون t دوطرفه

		اختلافهای جفت					
			سطح اطمینان ۹۵٪				
میانگین	انحراف معیار	متوسط خطای استاندارد	پایین تر	بالاتر	t	df	Sig. (2-tailed)
-۱۰/۱٦٤	۸/۵۸۰	۳/۲٤۳	-۱۸/۱۰۱	-۲/۲۳۱	-۳/۱۳٤	٦	۰/۰۲۰
		اختلافهای جفت					
میانگین	انحراف معیار	متوسط خطای استاندارد	سطح اطمینان ۹۵٪ پایین تر	بالاتر	t	df	Sig. (2-tailed)
۳۰/۷۳۸	۵/۰٦۰	۱/۹۱۲	۲٦/۰۵٦	۳۵/٤۱۵	۱٦/۰۷۲	٦	۰/۰۰۰

تأثیرگذاریشان بر نتایج خروجی شامل ضریب تعقیب خودرو، ضریب احتمال تجدید نظر در سبقت و فاصله دید سبقت هستند. اثر هر یک از این پارامترها بر روی نتایج خروجی شامل سرعت متوسط، زمان سفر و درصد دنباله‌روی به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است. این پارامترها عمدتاً در قسمت زیر ساخت مدل قابل تنظیم هستند و معمولاً برای کلیه شبیه‌سازیها ثابت در نظر گرفته می‌شوند.

برای آنالیز حساسیت یک مسیر فرضی به طول ۵ کیلومتر شامل



شکل۷. نمودار روابط همبستگی DPI و مدول برجهندگی

جدول۵. روابط همبستگی DPI و مدول برجهندگی

شماره رابطه	نوع رابطه	فرمول رابطه	ضریب همبستگی
(۷)	نمایی	$M_r = 318.93e^{-0.045DPI}$	R^2 = ۰/۸٤
(۸)	توانی	$M_r = 311.92DPI^{-0.104}$	R^2 = ۰/۵۹
(۹)	لگاریتمی	$M_r = 311.01-29.74\ln(DPI)$	R^2 = ۰/٦۳

جدول٦. روابط همبستگی DPI و تراکم

شماره رابطه	نوع رابطه	فرمول رابطه	ضریب همبستگی
(۱۱)	خطی	تراکم = -5.4169DPI + 104.9	R^2 = ۰/۷۲
(۱۲)	نمایی	تراکم = $105.68e^{-0.059DPI}$	R^2 = ۰/۷۲
(۱۳)	لگاریتمی	تراکم = -11.08ln(DPI) + 101.14	R^2 = ۰/٦۹
(۱٤)	توانی	تراکم = $101.42DPI^{-0.12}$	R^2 = ۰/٦۸

دو قوس افقی و سه قوس قائم و بدون ناحیه سبقت ممنوع در نظر گرفته شده و حجم متوسط ۸۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت به آن اختصاص یافته است. در فرایند آنالیز حساسیت از اعداد تصادفی یکسانی برای تکرار ارزیابیها استفاده شده است تا در ارزیابیهای مختلف جریان یکسانی تولید شود و نتایج تنها متأثر از پارامتر تغییر یافته باشند.در نهایت با تغییر فاصله دید سبقت و ضریب احتمال تجدید نظر در سبقت، نرم‌افزار کالیبره شده و نتایج ثانویه به دست آمده است. پس از پرداخت نرم‌افزار و تغییر فاصله دید سبقت و ضریب احتمال تجدید نظر در سبقت، به همراه مقادیر به دست آمده از آماربرداری و اختلاف آنها در جدول (۳) آورده شده است.

پس از پرداخت نرم‌افزار و اصلاح نتایج مشاهده می‌شود که مقادیر مربوط به زمان سفر و سرعت متوسط سفر بهبود یافته اند؛ به‌طوری که میانگین اختلاف این مقادیر به ترتیب از ۱۱/۷۹ ٪ به ۷/۹ ٪ ، از ۱۷/۳۵ ٪ به ٦/۳۸٪ و از ۲/۰۷ ٪ به ۰/۹۲ ٪ کاهش یافته است که میانگین خطای ۱۰٪ قابل قبول است.

با این حال در مورد مقادیر درصد زمان دنباله‌روی ، مقادیر اختلاف با وجود بهبودهای حاصل شده، همچنان قابل توجه

هستند. همان طور که قبلا اشاره شد، این اختلاف به عوامل مختلفی بستگی دارد. یکی از مهم ترین دلایل، نحوه آماربرداری این متغیر است. در برداشت میدانی این پارامتر با استفاده از سرفاصله‌های کمتراز ۳ ثانیه در دو ایستگاه ابتدا و انتهای مسیر به دست آمده است. این در حالی است که برای برداشت دقیق درصد زمان دنباله‌روی باید کل مقطع در یک بازه زمانی مورد بررسی قرار گیرد. یکی دیگر از عوامل، درصد مناطق سبقت ممنوع است. در اغلب محورهای شبیه‌سازی شده در این مطالعه، درصد مناطق سبقت ممنوع قابل توجه است، و همین امر باعث کاهش تعداد سبقتها در جریان شبیه‌سازی می‌شود. این در حالیست که در اغلب محورهای کشور، همان طور که در فیلم‌های برداشت شده توسط خودروی متحرک نیز قابل مشاهده است، رانندگان در مواقعی که جریان ترافیک مقابل کم است، در موارد بسیاری بدون توجه به خط ممتد اقدام به سبقت‌گیری می کنند. در مرحله بعد محورهای استانهای یزد و همدان نیز در نرم افزار

جدول ۳. نتایج به دست آمده پس از پرداخت نرم‌افزار

جاده-عوارض	داده	سرعت متوسط سفر (km/h)	زمان سفر (دقیقه)		درصد زمان دنباله روی
			رفت	برگشت	
کرج-چالوس – هموار	شبیه سازی	۶۰/٤	۷/۵	۷/۱	٤۰
	آمار واقعی	۶۱/۶	۷	۶/۷	۳۱/۷۵
	اختلاف (٪)	۲/۰۵	-۷/۱٤	-۵/۹۷	-۲۵/۹
کرج- چالوس – تپه و ماهوری	شبیه سازی	۵۶/۹	۶/٤	۵/۸	۳٤
	آمار واقعی	۵۹/۱۳	۵/۶۸	۵/۰۵	۲۲/۵
	اختلاف (٪)	۳/۷۷	-۱۲/۶۸	-۱٤/۸۵	-۵۱/۱
کرج-چالوس – کوهستانی	شبیه سازی	۶۲/۶	۱۲/۲	۹/۱	۵۳
	آمار واقعی	٤۸/٤	۱۰/۱	۸/۵	۲۷/۵
	اختلاف (٪)	-۲۹/۳٤	-۲۰/۷۹	-۷/۰۶	-۹۲/۷۳
هراز – هموار	شبیه سازی	۷۱/۲	۳/٤	۳/۳	٤۹
	آمار واقعی	۶۹/۸۷	۳	۲/۸۵	۳۷/۳
	اختلاف (٪)	-۱/۹	-۱۳/۳۳	-۱۵/۷۹	-۳۱/۳
هراز – تپه و ماهوری	شبیه سازی	۶۸/۷	۶/۶	۵/۵	٤۸
	آمار واقعی	۷۱/۶	۵/۷	۵/۷	۳۶/۳
	اختلاف (٪)	٤/۰۵	-۱۵/۷۹	۳/۵۱	-۳۲/۲
فیروزکوه – تپه و ماهوری	شبیه سازی	۸۶/۳	۳/۵	۳/۳	۳۹
	آمار واقعی	۹۵/۲	۳/۶	۳/٤	۳۵
	اختلاف (٪)	۹/۳۵	۲/۷۸	۲/۹٤	-۱۱/٤۳
فیروزکوه – کوهستانی	شبیه سازی	۶٤/۷	۳/۲	۲/۹	۳۶
	آمار واقعی	۶۸/۵۵	۳/۶	۲/۷	۲۳/۵
	اختلاف (٪)	۵/۶۲	۱۱/۱۱	-۷/٤۱	-۵۳/۱۹

شبیه سازی شده و به این ترتیب داده‌های مورد نیاز تولید شده اند. به طور کلی در هر محور برای حجمهای ورودی از ۰ تا ۱۷۰۰ وسیله نقلیه در ساعت (در کل ۱۸ مقدار مختلف حجم ورودی) نرم‌افزار اجرا شده است. مدت زمان شبیه‌سازی ۶۰ دقیقه و زمان راه اندازی شبکه ۱۰ دقیقه درنظرگرفته شده‌است. قابل ذکر است که در تحلیل داده‌ها، حجم تردد شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است نه مقادیر ورودی. به علاوه برای مشاهده بهتر رفتار ترافیک در حجمهای نزدیک به ظرفیت، شبیه‌سازی برای مقادیر درصد کامیون ٪۱۰ ، ٪۵۰ و ٪۸۰ درصد به طور جداگانه انجام گرفته است.

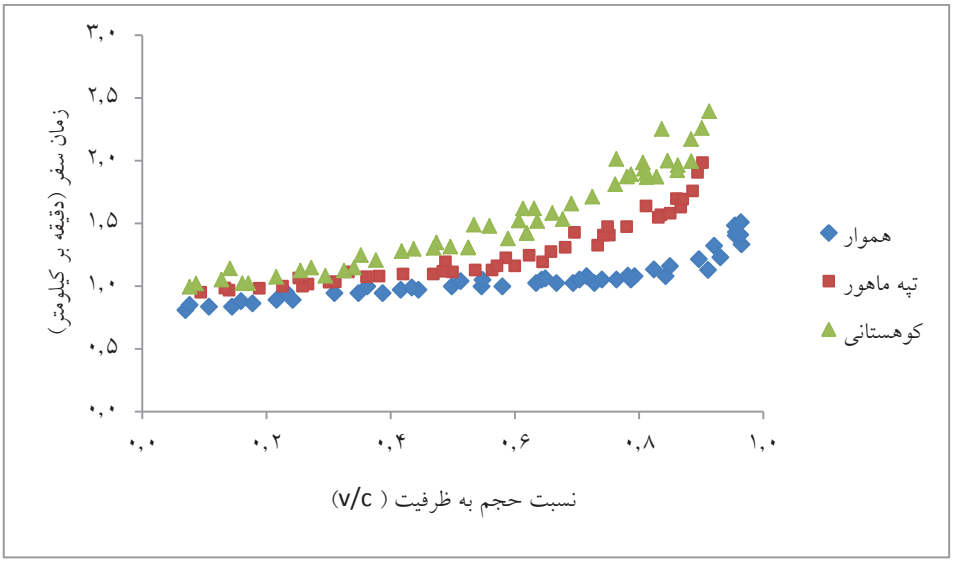
۷. تجزیه و تحلیل اطلاعات

مطالعات زمان سفر علاوه بر مدلهای تخصیص ترافیک می‌توانند مبنایی برای تحلیل ظرفیت و سطح سرویس جاده‌های برون‌شهری قرار گیرند. در شبکه‌های برون‌شهری اغلب حجم ترافیک به گونه‌ای است که عملاً در آنها زمان سفر واقعی چندان بیشتر از زمان سفر آزاد نیست. اما در برخی از راههای برون‌شهری به ویژه در جاده‌های کوهستانی و جاده‌های دوخطه تأثیر وسایل نقلیه بر یکدیگر باعث ایجاد تأخیر در حرکت می‌شود. بنابراین، می‌توان در این جاده‌ها نیز رابطه بین زمان سفر و حجم جریان را به صورت یک تابع برآورد و از آن در مدلهای تخصیص ترافیک استفاده کرد.

مقادیر زمان سفر حاصل از شبیه‌سازی محورها وتولید داده ها در شرایط نزدیک به ظرفیت، و حجم ترددهای شبیه‌سازی شده، در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. جهت مقایسه بهتر و به دلیل تفاوت طول مسیرهای آماربرداری شده، مقادیر زمان سفر بر حسب دقیقه بر کیلومتر در منحنی آورده شده‌اند. همچنین به دلیل تفاوت در مقادیر ظرفیت راه در مناطق مختلف، از نسبت حجم به ظرفیت به جای مقدار حجم در نمودار بهره گرفته شده است.

در بررسی توابع زمان سفر- حجم، ابتدا مدل مورد استفاده در تمامی مطالعات انجام گرفته در ایران (مدل BPR) مورد استفاده قرار گرفته و امکان استفاده آن در راههای دوخطه مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی نیز کلیه اطلاعات به دست آمده حاصل از شبیه‌سازی محورهای چالوس، هراز، فیروزکوه، همدان- ساوه، یزد- ابرکوه، یزد- مهریز، اردکان- چوپانان و دهگلان- سنندج در سه منطقه هموار، تپه ماهور و کوهستانی، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج رگرسیون شامل خلاصه ضرایب مدلها و ضریب همبستگی پیرسون (R^2) در مناطق مختلف توپوگرافی در جدول (٤) ارایه شده است.

همان‌طور که پیش تر اشاره شد، در مطالعه صورت گرفته در



شکل ۳. نمودار پراکنش اطلاعات زمان سفر بر حسب نسبت حجم به ظرفیت در شرایط مختلف توپوگرافی

جدول ٤. خلاصه روابط زمان سفر- حجم به تفکیک مناطق مختلف

نوع عوارض منطقه	رابطه زمان سفر - حجم	شاخص R^2
هموار	$t = t_0\left(1+0.874\left(\frac{v}{c}\right)^{0.925}\right)$	۰/۷٤
تپه ماهور	$t = t_0\left(1+1.33\left(\frac{v}{c}\right)^{1.771}\right)$	۰/۸۸
کوهستانی	$t = t_0\left(1+1.732\left(\frac{v}{c}\right)^{1.581}\right)$	۰/۹۳

زمینه توابع زمان سفر- حجم در راههای درون شهری در ایران ، از ضرایب اولیه این رابطه ($\alpha = 0.15$ و $\beta = 4$) استفاده شده است. با توجه به مقادیر ارایه شده در جدول (۱) مشاهده می‌شود که مقادیر به دست آمده در این تحقیق برای راههای دوخطه کشور، با این مقادیر تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد.

به علاوه همان طور که در شکل (۳) نیز مشاهده می شود، رابطه زمان سفر- حجم در منطقه هموار تقریباً خطی است. مقدار ضریب β حاصل از رگرسیون نیز نزدیک به ۱ بوده و گویای خطی بودن این رابطه در منطقه هموار است.

همان‌طور که اشاره شد در انگلستان روابط متفاوتی برای توابع زمان سفر - حجم ارایه شده است. در این روابط، برای سه محدوده حجم تردد روابط متفاوتی ارایه کرده است. با توجه به داده‌های به دست آمده از آماربرداری و تولید داده‌های مصنوعی به‌وسیله نرم‌افزار که نتایج تحلیل‌های اولیه در شکل (۳) نشان داده شده است، مشاهده می‌شود که در ایران نیز روند تغییر زمان سفر با افزایش حجم در سه منطقه هموار، تپه ماهور و کوهستانی متفاوت است. از این رو، روابط متفاوت برای هر منطقه متناسب با شرایط موجود در کشور، در ادامه ارایه شده است.

در تحلیل دیگر، روابط مورد استفاده در آیین نامه اندونزی برای استفاده در راههای دوخطه ایران مورد بررسی قرار گرفته اند. به‌این ترتیب که مقادیر پارامترهای α_1، α_2 و β در رابطه (٤) با استفاده از روش حداقل مربعات و با بکارگیری اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی، محاسبه شده و مقادیر آماره های R^2 و F در جدول (۵) ارایه شده است.

با توجه به جدول (۵) مشاهده می‌شود که این تحلیل شاخص R^2 بهتری نسبت به رابطه BPR ارایه می‌کند. این رابطه در حقیقت مدلهای زمان سفر- حجم را به صورت ترکیبی از یک بخش خطی و یک بخش منحنی بیان می‌کند. همان طور که در شکل (۳) نیز مشخص است، روابط زمان سفر- حجم تا قبل از نسبتهای حجم به ظرفیت ۰/٦ تقریباً خطی بوده و پس از آن زمان سفر به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. به همین علت روابط ارایه شده در آیین‌نامه اندونزی، توصیف بهتری از تغییرات زمان سفر

جدول ۵. مقادیر به دست آمده پارامترهای رابطه زمان سفر- حجم به تفکیک مناطق مختلف مطابق رابطه (٤)

نوع عوارض منطقه	مقدار α_1	مقدار α_2	مقدار β	مقدار t_0	شاخص R^2
هموار	۰/٦٢٦	۰/۳۲۳	۱۹/۳۰۵	۰/۸۳	۰/۹۵
تپه ماهور	۱/۲۳٤	۰/۰۸٤	۷/٤۵۱	۰/۹۱	۰/۹۷
کوهستانی	۱/۰٤۲	۰/٦۰۵	۳/۷۵۲	۰/۹٦	۰/۹۵

بر حسب حجم تردد را ارایه می‌کنند. لازم به ذکر است که سایر مدلهای آورده شده در مبانی تحقیق نیز با اطلاعات موجود مورد آزمایش قرار گرفته است، اما به دلیل نتایج نامناسب و ضرایب همبستگی بسیار پایین، جزئیات نتایج در مقاله آورده نشده است.

۸. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از ترکیب اطلاعات میدانی و داده‌های تولید شده به وسیله نرم‌افزار شبیه‌ساز، به تحلیل و بررسی رابطه میان زمان سفر و حجم تردد جریان در راههای دوخطه دوطرفه ایران پرداخته شده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

-در هر سه منطقه تا نسبتهای حجم به ظرفیت ٦/٠ تغییرات زمان سفر تقریباً خطی است اما پس از آن، با افزایش حجم، زمان سفر به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می یابد.

- هرچه شیب منطقه بیشتر باشد، تأثیر حجم به ظرفیت، به ویژه در حجمهای بالا، بر زمان سفر بیشتر است. بنابراین در مناطق کوهستانی افزایش زمان سفر با افزایش حجم تردد، بیشتر از سایر مناطق است.

- مدل به دست آمده با اصلاح ضرایب رابطه BPR مطابقت قابل قبولی با داده‌های میدانی و شرایط راههای موجود در کشور دارد. از آنجا که این مدلها مشتق‌پذیر هستند می توانند در مدلهای تخصیص ترافیک بکار روند.

- مدل ارایه شده در آیین نامه اندونزی، توصیف بهتری از تغییرات زمان سفر برحسب حجم تردد ارایه می‌کند، زیرا این مدلها، روابط زمان سفر- حجم را به صورت ترکیبی از دوقسمت خطی و غیرخطی بیان می‌کنند.

- شیب راه و نوع توپوگرافی منطقه بر مدلهای زمان سفر تاثیر مستقیم داشته و مشاهده شد که ضرایب به دست آمده برای هر دو مدل در مناطق مختلف با یکدیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارند.

- از آنجا که تفاوتهای عملکردی، هندسی و محیطی بین راههای کشور و سایر کشورها (به ویژه امریکا) وجود دارد، استفاده از روابط این آیین‌نامه‌ها برای راههای کشور می‌تواند منجر به نتایج دور از واقعیت گردد. از آنجا که سالانه بخش عمده‌ای از بودجه‌های راهسازی و راهداری صرف شبکه راههای دوخطه و سرمایه‌گذاری برای توسعه، بهسازی و نگهداری آنها می‌شود و با توجه به سهم چشمگیر این راهها در شبکه و جابجایی بار و مسافر، ضرورت دارد که روابط دقیق جهت برنامه‌ریزی و طراحی به دست آیند.

- عمرناوگان حمل و نقل سنگین در کشور، حضوربرخی وسایل نقلیه سنگین در محورهای ایران که در بسیاری از کشورهای پیشرفته بویژه آمریکا، از رده خارج محسوب می‌شوند، تفاوت در میزان تناژ بارگیری، حرکت وسایل نقلیه سنگین به صورت یکسر بار و مواردی از این قبیل باعث تفاوت‌های اساسی در عملکرد این وسایل نقلیه در ایران باسایر کشورهاست.

- ویژگیهای رفتاری رانندگان وسایل نقلیه سواری و سنگین، برای مثال رانندگی در سرعتهای بالا، رعایت نکردن قوانین راهنمایی و رانندگی و حقوق سایر رانندگان، پذیرفتن سرفاصله‌های کمتر و همچنین پارامترهایی چون نرخ سبقت، موجب کمرنگ‌تر شدن کاربرد مفید و عملی از آیین‌نامه های کشورهای خارجی در کشور ما شده و لزوم برداشت میدانی جهت دستیابی به مدلها و روابط منطبق با شرایط حاکم بر راههای کشور را توجیه می کنند.

۹. مراجع

- آیین‌نامه طرح هندسی راهها (۱۳۷۵)، نشریه شماره ۱٦۱، سازمان برنامه و بودجه.

- بهبهانی، حمید، (۱۳۷٤) «مهندسی ترافیک، تئوری و کاربرد»، انتشارات سازمان حمل و نقل و ترافیک.

- پورزاهدی، حسین و ذکایی آشتیانی، هدایت (۱۳٦٤) «برنامه‌ریزی و طراحی شبکه حمل و نقل منطقه صنعتی حاشیه زاینده رود و نواحی اطراف آن»، گزارش نهایی پروژه حمل و نقل مسافر، مرکز برنامه‌ریزی سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان.

– سالنامه آماری حمل‌ونقل جاده‌ای،) ۱۳۸۸) دفتر فن‌آوری اطلاعات، سازمان حمل و نقل و پایانه‌های کشور.

– شهراد، شروین (۱۳۹۰) «ظرفیت راههای دوخطه ایران، روش شناسی و پرداخت هم‌سنگ سواری»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین.

- Choe, T., Skabardonis, A. and Varaiya, P. (2002) "Freeway performance measurement system (PeSM): an operational analysis tool", Transportation Research Board, 81st Annual meeting, Washington DC.

- Department of Transport (1985) "Traffic Appraisal Manual" HMSO, London.

- Gastaldi, M. and Rossi, R. (2011) "A methodology for calibrating road link travel time functions using data from driving simulator experiments", Procedia Social and Behavioral Science, pp.656-665.

- Indonesian Highway Capacity Manual (1995) "Directorate General of Highways Ministry of Public Works".

- Overgaard, K. R. (1967) "Urban transportation planning: traffic estimation', Traffic Quarterly, XXI(2), pp.197-218.

- Rossi, R., Gastaldi, M., Meneguzzer, C. and Gecchele, G. (2011) "Gap-acceptance behavior at a priority intersection: field observation versus experiments of driving simulator", Proceedings of the 90th Transportation Research Board Meeting, Washington, D. C.

- Smock, R. J. (1962) "An iterative assignment approach to capacity restraint on arterial networks", Highway Research Board Bulletin, 156, pp.1-13.

- Traffic Analysis Module Engineers' Manual (2010) "Interactive highway safety design model", (IHSDM), Federal Highway Administration, Turner-Fairbank Highway Research Center, Colorado Springs.

- Turner, S. (2004) "Lessons learned: monitoring highway congestion and reliability using archived traffic detector data", FHWA-OP-05-003.

- Turner, S. M. (1996) "Advanced techniques for travel time data collection"', Transportation Research Board, 75th Annual meeting, Washington DC.

- U.S. Department of Commerce. Bureau of Public Roads, Urban Planning Division (1964) "Traffic assignment manual", Washington DC.

- VanLint, J.W. C. and Zuylen, H. J. (2005) "Monitoring and predicting freeway travel time reliability using width and skew of day-to-day travel time distribution"', Transportation Research Board, 84th Annual Meeting, Washington DC.

- Zhang, X. and Rice, J. (2003) "Short-term travel time prediction", Transportation Research Part C, 11, pp. 187-210.