مهندسی عمران شریف، (تابستان ۱۳۹۷)
دوره‌ی ۲ - ۳۴، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۹۳-۱۰۲، (یادداشت فنی)

Research Note

تحلیل هزینه‌های تحمیل‌شده برکاربران در سیستم حمل‌ونقل جاده‌یی

محمدرضا احدی * **(دانشیار)**
پژوهشکده حمل‌ونقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
مهدی نصرالهی (کارشناس ارشد)
دانشکده فنی و مهندسی، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت

هزینه‌ی کاربران راه به‌عنوان یکی از اجزاء هزینه‌ی راه در ایران، معمولاً مورد بی‌توجهی در برآوردهای امکان‌سنجی و توجیه فنی پروژه‌های راه‌سازی قرار گرفته است. از این رو هدف از پژوهش حاضر، برآورد هزینه‌ی کاربران برای آزادراه رشت ـ قزوین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محورهای ارتباطی کشور در کریدور شمال ـ جنوب است. به این منظور، با گردآوری اطلاعات ترافیکی و راه‌سازی مسیر موردنظر، به برآورد هزینه‌ی عملکرد پرداخته شد. همچنین برای برآورد هزینه‌ی سوخت از نرم‌افزار Advisor، برای برآورد ارزش زمان مردم منطقه از نرم‌افزار اقتصادسنجی Eveiws و برای برآورد هزینه‌های منطقه‌ی عملیاتی از نرم‌افزار Aimsun استفاده و با انجام روند محاسبات و تحلیل داده‌ها، هزینه‌ی هر یک از اجزاء کاربران راه به تفکیک و برای هر نوع وسیله‌ی نقلیه ارائه شد. بر طبق نتایج حاصل، هزینه‌ی کاربران راه در طول سال ۹۳، حدود ۲۹۱/۷ میلیارد تومان برآورد شد که حدود ۷۰٪ هزینه‌ی ساخت ۵ ساله‌ی آزادراه رشت ـ قزوین است.

واژگان کلیدی: هزینه‌ی کاربران راه، هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه، هزینه‌ی منطقه‌ی عملیاتی، ارزش زمان.

m.ahadi@bhrc.ac.ir
nimaa_nasrollahi@yahoo.com

۱. مقدمه

برای تحقق توسعه‌ی اقتصادی و اجتماعی، دولت همواره با موضع تصمیم‌گیری و انتخاب از میان سرمایه‌گذاری‌های بخش‌های متفاوت اقتصادی و اجتماعی روبه‌روست. هدف از هر تصمیمی آن است که سرمایه‌گذاری و کاربرد منابع کمیاب، بیشترین فایده‌ی اقتصادی را عائد کشور کند. در این راستا، استفاده از روش‌های اقتصادی (تحلیل هزینه ـ فایده) به منظور انتخاب گزینه‌ی بهینه می‌تواند راهگشا باشد. حسن استفاده از برآوردهای اقتصادی این است که هزینه‌های عملیاتی کاربران راه که از سوی خود آن‌ها پرداخت می‌شود، پیش‌بینی و برآورد شده است. در واقع هزینه‌های عملیاتی، بخش عمده‌یی از کل هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری از راه در طول چرخه‌ی عمر آن را تشکیل می‌دهد. طبق بررسی‌های انجام‌شده در HDM III [۱]، هزینه‌های کاربران راه شامل هزینه‌های استهلاک وسائط نقلیه ۸ تا ۱۰ برابر هزینه‌ی ساخت و نگهداری در طول چرخه‌ی عمر راه است که معمولاً از سوی دولت پرداخت می‌شود؛ که اگر هزینه‌های زمان مصرف‌شده در طول راه به هزینه‌ی عملیاتی اضافه شود، نسبت یادشده باز هم افزایش خواهد یافت.[۱]

از سوی دیگر، برای محاسبه‌ی ارزش خالص کنونی اقتصادی طرح راه‌سازی، افزون بر تعیین هزینه‌ها، باید جریان فایده‌ی حاصل از اجرای آن نیز پیش‌بینی و برآورد شود. در طرح راه‌سازی، صرفه‌جویی سالانه در هزینه‌ی عملیاتی وسائط نقلیه در طول عمر طرح نسبت به هزینه‌ی متناظر در گزینه‌ی پایه (ادامه‌ی وضع موجود)، نشان‌دهنده‌ی یکی از فواید حاصل از اجرای طرح است. بنابراین برآورد هزینه‌ی عملیاتی سالانه‌ی کاربران راه برای میل به اهداف ذکرشده، امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. هزینه‌ی کاربران راه را می‌توان به ۳ گروه کلی هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه، هزینه‌ی ارزش زمان و هزینه‌ی منطقه‌ی عملیاتی دسته‌بندی کرد. هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه، در واقع هزینه‌هایی هستند که در اثر استفاده از خودرو، به کاربران راه تحمیل می‌شوند و مانند: مصرف سوخت، روغن، تایر و هزینه‌ی ارزش اسقاط برای هر یک از انواع خودرو متفاوت است. مصرف منابع مذکور تابعی از راه و خصوصیات ترافیکی آن است و به طور قابل‌توجهی می‌تواند با عواملی مانند: هندسه‌ی راه، حجم و ترکیب ترافیک و سرعت وسیله‌ی نقلیه تغییرکند. زمان سفر نیز یکی از پارامترهای بسیار مهم در علم حمل‌ونقل است. ارزش زمان سفر، در واقع تعیین ارزش پولی زمان صرف‌شده توسط مسافران تعریف می‌شود که از مباحث جدید حوزه‌ی علمی مذکور محسوب می‌شود. ارزش زمان سفر در هر منطقه با توجه به شرایط آن منطقه و ویژگی‌ها و تمایلات مردم آن منطقه متفاوت است که با گذشت زمان و تغییر در شرایط موجود، ارزش زمان سفر هم تغییر خواهد کرد.[۲] منطقه‌ی عملیاتی در دستورالعمل ظرفیت بزرگراه HCM [۲]، به‌عنوان یک قسمت از بزرگراه که عملیات ساخت و ساز و نگهداری، دسترسی تعدادی از خطوط ترافیک آن را

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۵/۲۶، اصلاحیه ۱۳۹۵/۸/۲۵، پذیرش ۱۳۹۵/۱۰/۴.
DOI:10.24200/J30.2018.1359

مختل کرده و یا در خصوصیات مؤثر جریان ترافیک در داخل منطقه اثر گذاشته است، تعریف می‌شود. منطقه‌ی مذکور از آن نظر در هزینه‌ی کاربران راه اهمیت دارد که باعث تحمیل هزینه‌های اضافی به وسائط نقلیه‌ی موتوری در نتیجه‌ی فعالیت منطقه‌ی عملیاتی می‌شود.[۳]

۲. مرور ادبیات

در بخش حاضر به مرور اجمالی ۳ رکن اصلی هزینه‌ی کاربران راه (هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه، ارزش زمان و هزینه‌ی منطقه‌ی عملیاتی) پرداخته شده است: سیر تکاملی دانش برآورد هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه در ۴ دوره: قبل از ۱۹۷۰، بین ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰، ۱۹۸۰ به بعد و دوره‌ی کنونی تقسیم‌بندی می‌شود.[۴] مطالعات اولیه در زمینه‌ی ذکرشده به قبل از سال ۱۹۷۰ و به مطالعات گسترده میان هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه و ناهمواری راه نسبت داده می‌شود. در دوره‌ی ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ از روش رگرسیون برای تبدیل داده‌ها به معادلات قابل پیش‌بینی برای استفاده در پروژه‌های ارزیابی استفاده می‌شد. پس از ۱۹۸۰، شکل‌گیری مدل‌های مکانیکی (مانند HDM III و HDM IV) که مصرف منابع را با استفاده از بخش‌های فیزیک پایه و مهندسی مکانیک مدل می‌کرد، رشد قابل‌توجهی کرد که با طیف وسیعی از شرایط راه در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته به‌روزرسانی شد.[۵] برای مثال در استرالیا در اواخر سال ۱۹۶۰، پژوهش‌های نوینی توسط دفتر سابق مشترک‌المنافع راه‌ها[3] انجام شد. پروژه‌ی مذکور در میان‌سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ زیر نظر انجمن ملی راه‌های ایالتی استرالیا[4] ادامه یافت و توسط برنامه‌ی پوششی گروه رهبری هزینه‌ی کاربران راه (RUCSG)[5] در دوره‌ی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۵ به اوج خود رسید.[۶]

امروزه کاربرد مدل‌های هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه گسترده‌تر شده است و مدل‌های مکانیکی با ارتقاء فنّاوری خودروها و تغییرات ناوگان وسائط نقلیه به‌روزرسانی می‌شود. برای نمونه در ایالات متحده مدل‌های HDM IV، براساس شرایط راه ایالات متحده، کالیبره شده‌اند و اثر ناهمواری را بر وسائط نقلیه‌ی سبک پیش‌بینی می‌کنند.[۶]

سابقه‌ی استفاده از روش‌های رجحان بیان‌شده به‌عنوان یکی از روش‌های برآورد ارزش زمان به اواخر دهه‌ی ۶۰ باز می‌گردد. استفاده از روش‌های مذکور در دهه‌ی ۷۰ نیز به طور نسبی مشاهده می‌شد، اما به دلیل رواج و قوت روش‌های رجحان آشکارشده، کمتر به آن‌ها توجه شد تا اینکه در ۱۹۷۹ طی نوشتار مفصلی به ذکر ایرادهای روش‌های رجحان آشکارشده پرداخته شد. از آن هنگام روش‌های مذکور بیشتر مورد استقبال واقع شدند تا اینکه امروزه می‌توان آن‌ها را یکی از متداول‌ترین روش‌های برآورد ارزش زمان دانست.[۷] روش‌های رجحان بیان‌شده در مطالعات انگلستان، فنلاند و سوئد به طور متداول استفاده شده‌اند.[۸] پژوهش‌های بسیاری در ارتباط با ویژگی‌های روش‌های رجحان بیان‌شده انجام شده است. تخمین توزیع ارزش زمان سفر با استفاده از روش‌های رجحان بیان‌شده و آثار کنشی افراد در داده‌های رجحان بیان‌شده در برآورد ارزش زمان، از جمله مطالعات روش‌های مذکور است. تلاش‌هایی نیز برای مقایسه‌ی روش‌های رجحان بیان‌شده با روش‌های رجحان آشکارشده صورت گرفته است.[۹]

همچنین اطلاعات جمع‌آوری‌شده براساس روش رجحان بیان‌شده به منظور تخمین ارزش‌ها برای دسته‌یی از هزینه‌ها مانند: زمان سفر و زمان انتظار و مدل‌های مختلف حمل‌ونقل مانند: خودرو شخصی، تاکسی و حمل‌ونقل همگانی و انواع سفرهای کاری، اوج، غیراوج، تحصیلی و ... در کانبرا استفاده شده است.[۱۰] به منظور کاهش آثار منفی فعالیت‌های منطقه‌ی عملیاتی، مدیریت دقیق و برنامه‌ریزی صحیح و توانایی اعتماد بر برآورد ظرفیت منطقه‌ی عملیاتی موردنیاز است. دقت برآورد ظرفیت منطقه‌ی عملیاتی به‌عنوان یک ورودی کلیدی برای طول صف، تأخیر و برآورد هزینه‌های تأخیر ضروری است. در نوشتارهای اخیر، تلاش‌های پژوهشی به منظور برآورد اثر مسدودی خط در مناطق ساخت و ساز بررسی شده است.[۱۱] در اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰، دستورالعمل‌های جدیدی برای محاسبه‌ی ظرفیت انواع مختلف از خطوط بسته‌شده ارائه شد.[۱۲] همچنین مدل‌های رایانه‌یی مختلفی نیز در این زمینه ارائه شده است. نرم‌افزار رایانه‌یی QUEWZ [6] مدلی است که ظرفیت راه را براساس طبقه‌بندی شکل خط‌های مختلف مسدودشده و به کار بردن آنالیز رگرسیون برآورد می‌کند. در سال ۲۰۰۱، روش جدیدی برای برآورد ظرفیت براساس تعدادی از عوامل مؤثر (تعداد خطوط باز و مسدود، محل خطوط مسدودشده، درصد وسائط نقلیه‌ی سنگین، جمعیت رانندگان، حجم رمپ ورودی، عرض خطوط باز و طول و شیب منطقه‌ی عملیاتی) ارائه شد که با افزوده شدن عوامل دیگر شامل: شدت فعالیت منطقه‌ی عملیاتی، زمان پروژه، شرایط آب و هوایی و زمانی از روزکه عملیات انجام می‌شود، باعث شد که این روش با ضرایب کلیدی نوینش، دقت بیشتری را در پیش‌بینی ظرفیت منطقه‌ی عملیاتی نسبت به مطالعات پیشین از خود نشان دهد.[۱۳]

در سال ۲۰۰۵، پژوهشگران نتیجه‌گیری کردند که مدل‌های ضربی خالص و مدل‌های افزایشی موجود نمی‌توانند ظرفیت را به‌صورت دقیق پیش‌بینی کنند و تلاش‌هایی انجام شد که دو مدل مذکور را ترکیب کنند. لذا پیشنهاد شد که چنین مدل‌های ترکیبی از مدل ضربی و افزایشی، مدل عام ظرفیت[7] نامیده شود. بنابراین مفاهیمی برای مدل مذکور پیشنهاد شد و با اینکه مدل ارائه‌شده، شکل مدل‌های ضربی را داشت، ولی مدل همچنان برهم‌کنش میان متغیرها در مدل افزایشی را نیز محاسبه می‌کرد.[۱۴]

در نوشتار حاضر سعی شده است با دیدی جامع و کاربردی و در چارچوب برآورد هزینه‌ی یک آزاد راه به مسئله‌ی هزینه‌ی کاربران راه پرداخته شود و حتی‌الامکان به‌صورت موشکافانه و جزء به جزء هر یک از اجزاء هزینه برآورد شود. برای مثال به منظور برآورد مصرف سوخت از مبحث مکانیک خودرو، برآورد ارزش زمان از روش‌های برنامه‌ریزی حمل و نقل، و بررسی اختلالات منطقه‌ی عملیاتی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی میکروسکوپی استفاده شد. همچنین سعی شد نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از پژوهش‌های بانک جهانی (HDM) مقایسه شود و نقاط ضعف و قوت هزینه‌های کاربری در ایران نسبت به استاندارد جهانی در سایر کشورها تعیین شود. علاوه بر این با ارائه‌ی نمودارها و گراف‌های مختلف به مقایسه‌ی اجزاء مختلف هزینه‌ی کاربران راه پرداخته شد که می‌تواند معیار خوبی برای قضاوت مهندسان در برآورد هزینه‌های ذکرشده در موارد مشابه باشد.

۳. داده‌های مورداستفاده

در پژوهش حاضر از طیف گسترده‌یی از داده‌ها استفاده شده است که در ۴ گروه: داده‌های میدانی، اطلاعات ترافیکی، اطلاعات هندسه‌ی راه و داده‌های مشخصات خودرو دسته‌بندی می‌شوند. داده‌های میدانی، شامل آمارگیری از ترکیب تردد وسائط نقلیه و تعداد سرنشین خودرو است. همچنین برای برآورد ارزش زمان از روش پرسش‌نامه برای جمع‌آوری داده‌ها در سطح شهر استفاده شده است. اطلاعات ترافیکی آزادراه رشت ـ قزوین، شامل: احجام ماهانه، روزانه و ساعتی مسیر رفت و

$$V_u = \frac{E.}{[(1/VDRIVE_u)^{1/\beta}+([1/VBRAKE_u)^{1/\beta}+([1/VCURVE_u)^{1/\beta}+([1/VROUGH_u)^{1/\beta}+([1/VDESIRE_u)^{1/\beta}]^{\beta}} \quad (1)$$

برگشت از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌یی دریافت شد. لازم به ذکر است در مواردی که بنا به دلایلی داده‌های دستگاه تردد شمار در دسترس نبود، از روش برون‌یابی استفاده شد. برای دسترسی به آمار انسداد و جزئیات مربوط به آن، در مسیر آزادراه از اداره‌ی کل راه‌و شهرسازی استان گیلان و استان قزوین استعلام گرفته شد. جمع‌آوری اطلاعات مربوط به هندسه‌ی آزادراه نیز با استفاده از داده‌های شرکت ساخت و توسعه‌ی زیربناهای حمل و نقل کشور و شرکت‌های مشاور دست‌اندرکار در ساخت پروژه‌ی آزادراه رشت ـ قزوین انجام شد. همچنین با همکاری کارشناسان ایران‌خودرو و سایپا از نتایج آزمایش‌های تجربی آن‌ها در عرصه‌ی مکانیک خودرو استفاده شد.

۴. روش پژوهش

در پژوهش حاضر، به منظور بررسی هزینه‌ی کاربران راه، ۴ خودرو (سمند LX، پژو ۲۰۶، پژو پارس و پژو ۴۰۵) از شرکت خودروسازی ایران‌خودرو و ۲ خودرو (پراید صبا و پراید ۱۳۱) از سایپا در نظر گرفته شده است. همچنین از آزادراه رشت ـ قزوین به‌عنوان مسیر مطالعه‌ی موردی استفاده شده است.

۱.۴. هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه

۱.۱.۴. سرعت حالت پایدار

برای اینکه تغییرات سرعت در طول راه در نظر گرفته نشود و برآورد ساده‌تری در هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه انجام گیرد، از سرعت حالت پایدار استفاده شده است. پیش‌بینی سرعت حالت پایدار وسیله‌ی نقلیه در یک بخش از جاده با استفاده از مجموعه‌یی از محدودکننده‌های سرعت، مربوط به عوامل مختلف که تمایل به محدود کردن سرعت دارند، ارائه می‌شود. محدودکننده‌های سرعت مذکور تابعی از ویژگی‌های خودرو (قدرت موتور، ضریب آیرودینامیکی، وزن خودرو و ...) و راه (شیب طولی، ناهمواری و قوس) هستند. لازم به ذکر است که در برآورد هزینه‌ی عملکرد خودرو از مدل‌های بانک جهانی (HDM III و HDM IV) که در گزارش توجیه طرح‌های راه‌سازی توصیه شده، استفاده شده است. مدل‌های مذکور به دلیل استفاده از روابط فیزیکی، اعتبار خود را در کشورهایی که عملیات کالیبراسیون در آن‌ها انجام نشده است، حفظ می‌کنند. همچنین آن‌ها مقادیر پیش‌فرض را نیز در اختیار کاربران خود قرار داده‌اند، تا در صورت لزوم از ضرایب پیش‌فرض ذکرشده استفاده شود.[۱]

- $VDRIVE$: محدودکننده‌ی سرعت براساس شیب طولی و قدرت موتور؛
- $VBRAKE$: محدودکننده‌ی سرعت براساس شیب طولی و ظرفیت ترمز؛
- $VCURVE$: محدودکننده‌ی سرعت براساس قوس‌های راه؛
- $VROUGH$: محدودکننده‌ی سرعت براساس ناهمواری راه؛
- $VDESIRE$: محدودکننده‌ی سرعت براساس روان‌شناسی، اقتصاد و ایمنی.

مدل محاسبه‌ی پیش‌بینی سرعت حالت پایدار V با استفاده از ارزش نسبی ۵ محدودکننده‌ی سرعت برای هر قطعه در رابطه‌ی ۱ بیان شده است.[۱۵] مدل احتمالی استفاده‌شده در پژوهش حاضر، توزیع وی بول[۸] است که یک استاندارد از توزیع‌های ارزش اکسترمم است.

ـ محدودکننده‌ی سرعت $VDRIVE$: برای تعیین این محدودکننده، از قوانین تعادل استفاده شده است:

[مقاومت هوا] + [مقاومت شیب] + [مقاومت غلتشی] = [نیروی رانشی]

با تشکیل معادله‌ی سرعت و حل آن، معادله‌ی عمومی درجه‌ی ۳ با متغیر مستقل $VDRIVE$ مشخص می‌شود. شکل کلی معادله‌ی مذکور در رابطه‌ی ۲ ارائه شده است:[۱۵]

$$0.5 \times RHO \times CD \times AR \times VDRIVE_u^3 + GVW \times g \times (CR + PG) \times VDRIVE_u - 736 HPVRIVE = 0 \quad (2)$$

که در آن، RHO: چگالی جرمی هوا (کیلوگرم بر مترمکعب)، CD: ضریب آیرودینامیکی (بی بعد)، GVW: وزن خالص وسیله‌ی نقلیه (کیلوگرم)، CR: ضریب مقاومت غلتشی (بی بعد)، $HPDRIVE$: بیشینه‌ی قدرت محرکه‌ی موتور (اسب بخار).

ـ محدودکننده‌ی سرعت $VBRAKE$: به طور مفهومی هنگامی که ترمز استفاده نمی‌شود، اندازه‌ی $VBRAKE$ بی‌نهایت است، در نتیجه مقدار $\frac{1}{VBRAKE}$ صفر می‌شود و این محدودیت فقط زمانی قابل تعیین است که وسیله‌ی نقلیه نیاز به قدرت موتور مثبت در سراشیبی برای حرکت داشته باشد، یعنی مقاومت غلتشی CR بزرگ‌تر از مقدار مطلق شیب طولی منفی باشد. $VBRAKE$ با استفاده از توازن نیروها و با توجه به پارامتر قدرت ترمزگیری به دست می‌آید:

[مقاومت هوا] + [مقاومت شیب] + [مقاومت غلتشی] = [نیروی محرکه]

برای ساده کردن معادله‌ی مذکور، میزان مقاومت در برابر هوا نادیده گرفته می‌شود که این عمل خطای قابل توجهی را در محاسبات ایجاد نمی‌کند. یک معادله‌ی درجه‌ی یک برای محاسبه‌ی محدودیت مذکور در نظر گرفته می‌شود که در رابطه‌ی ۳ ارائه شده است:[۱۵]

$$VBRAKE_u = \infty$$
$$if\ CR \geq NG \Rightarrow VBRAKE_d = \infty$$
$$if\ CR < NG \Rightarrow VBRAKE_d = \frac{736 \times HP \times VRIVE}{[g \times GVW \times (CR - NG)]} \quad (3)$$

در پژوهش حاضر از آثار شیب به دلیل ناچیز بودن آن در کل مسیر صرف‌نظر شده است. بنابراین مقدار محدودکننده‌ی ناشی از ترمز $VBRAKE$ بی‌نهایت در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. سرعت ناشی از محدودکننده‌های سرعت و سرعت حالت پایدار برای هر نوع خودرو.

	سمند LX	پژه ۲۰۶	پژو پارس	پژو ۴۰۵	پراید صبا	پراید ۱۳۱
$VDRIVE$ (کیلومتر بر ساعت)	۲۱۸	۱۹۴٫۸۴	۲۲۳٫۹۱	۲۱۸٫۳۶	۱۴۵	۱۵۵
$VROUGH$ (کیلومتر بر ساعت)	۵۰۹٫۶۱۵	۵۰۹٫۶۱۵	۵۰۹٫۶۱	۵۰۹٫۶۱	۵۰۹٫۶۱۵	۵۰۹٫۶۱۵
$VCURVE$ (کیلومتر بر ساعت)	۱۴۴٫۷۵۳	۱۴۴٫۷۵۳	۱۴۴٫۷۵۳	۱۴۴٫۷۵۳	۱۴۴٫۷۵۳	۱۴۴٫۷۵۳
$VBRAKE$ (کیلومتر بر ساعت)	∞	∞	∞	∞	∞	∞
$VDESIRE$ (کیلومتر بر ساعت)	۱۲۵٫۲۸	۱۴۴٫۳۶	۱۲۵٫۲۸	۱۲۵٫۲۸	۱۴۴٫۳۶	۱۴۴٫۳۶
سرعت حالت پایدار (کیلومتر بر ساعت)	۱۰۷٫۸۳	۱۱۴٫۴۳	۱۰۸٫۰۴	۱۰۷٫۸۴	۱۰۶٫۹۹	۱۰۹٫۱۷

- محدودکننده‌ی سرعت $VCURVE$: سرعت محدودکننده‌ی انحنا از این شرط اصلی که هنگامی که انحنا قابل توجه است، تمایل چرخ‌ها به لغزش، سرعت وسیله‌ی نقلیه را محدود می‌کند، نتیجه‌گیری شده است. رابطه‌ی ۴ برای تعیین V سرعت محدودکننده‌ی انحنا $VCURVE$ ارائه شده است:[۱۵]

$$VCURVE = [(FRATIO + SP) \times g \times RC]^{۰٫۵} \quad (۴)$$

که در آن، SP: دِور، $FRATIO$: نسبت نیروی جانبی به نیروی نرمال و بر حسب یک تابع از بار مفید وسیله‌ی نقلیه تعیین می‌شود (رابطه‌ی ۵):

$$FRATIO = \max(۰٫۰۲, FRATIO_۰ - FRATIO_۱ load) \quad (۵)$$

مقادیر $FRATIO_۰$ و $FRATIO_۱$ پارامترهایی هستند که به نوع راه و نوع وسیله‌ی نقلیه وابسته هستند. HDM III مقدار پیش‌فرض برای پارامترهای مذکور را برای خودروهای کوچک و راه‌های روکش‌نشده به ترتیب ۰٫۱۲۴ و ۰ در نظر گرفته است.[۱۵] همچنین RC شعاع انحناست که به‌عنوان تابعی از میانگین قوس افقی در نظر گرفته می‌شود (رابطه‌ی ۶):

$$RC = \frac{۱۸۰۰۰۰}{[\pi \times \max(\frac{۱۸}{\pi}, C)]} \quad (۶)$$

که در آن، C درجه‌ی قوس در واحد درجه بر کیلومتر است. به این منظور با استفاده از پلان آزادراه، زاویه‌ی انحراف و طول قوس‌ها در مسیر بررسی و از حاصل تقسیم مجموع زاویه‌ی انحراف کلیه‌ی قوس‌ها بر مجموع طول آن‌ها، درجه‌ی قوس تعیین شده است.[۱۶]

- محدودکننده سرعت $VROUGH$: سرعت محدودکننده‌ی ناهمواری، به‌عنوان یک مقیاس مناسب از مقدار ناراحتی سواری و یا شدت آن در نظر گرفته می‌شود ARV [۹] برای وسیله‌ی نقلیه‌ی موردنظر به‌صورت نرخ میانگین حرکت معلق محور عقب وسیله‌ی نقلیه در واحد ($\frac{mm}{s}$) است (رابطه‌ی ۷):

$$ARV = V \times ARS \quad (۷)$$

پارامتر ARS مقیاسی از مقدار حرکت معلق محور عقب به ازاء مسافت طی‌شده است. این مقیاس مرتبط با شاخص بین‌المللی ناهمواری است که از رابطه‌ی ۸ به دست می‌آید:

$$ARS = ۱٫۱۴۶۶ \times RI \quad (۸)$$

که در آن، RI شاخص بین‌المللی ناهمواری است.

نظر به اینکه اطلاع دقیقی از پارامتر شاخص بین‌المللی ناهمواری راه برای آزادراه رشت ـ قزوین موجود نیست، با توجه به سطح کیفی خوب روسازی محور موردنظر و جدول ارائه‌شده‌ی FHWA، مقدار شاخص بین‌المللی ناهمواری ۱٫۲ متر بر کیلومتر در نظر گرفته شده است.[۱۷]

- محدودکننده‌ی سرعت $VDESIRE$: محدودیت سرعت مطلوب بر این فرض استوار است که وسیله‌ی نقلیه‌ی فرض‌شده بدون محدودیت‌هایی از قبیل: شیب طولی، انحنا و زبری و ... حرکت می‌کند و فقط سرعت وسیله‌ی نقلیه از روان‌شناسی واکنش رانندگان، ایمنی، اقتصاد و دیگر ملاحظات منتج می‌شود. بررسی مطالعات برزیل و هند نشان می‌دهد که سرعت $VDESIRE$ برای هر نوع سطح (روکش‌شده و روکش‌نشده) و برای هر نوع وسیله‌ی نقلیه ثابت است، فقط در جاده‌های باریک به دلیل تأثیر عرض خط، سرعت محدودکننده پایین‌تر خواهد بود. رابطه‌ی ۹، معادله‌ی تعیین سرعت $VDESIRE$ را نشان می‌دهد:

$$VDESIRE = VDESIRE_۰ \times BW \quad (۹)$$

$VDESIRE_۰$ سرعت مطلوب بر پایه‌ی پژوهش‌های برزیل برحسب متر بر ثانیه و BW ضریب تعدیل عرض برای تعیین سرعت مطلوب برای خودروهای کوچک و متوسط ۴۰٫۱ و ۳۸٫۴ متر بر ثانیه است.[۱۶] مقادیر محاسبه‌شده برای هر یک از محدودکننده‌های سرعت و سرعت حالت پایدار هر یک از خودروهای موردمطالعه در پژوهش حاضر در جدول ۱ ارائه شده است.

۲.۱.۴. مدل مصرف سوخت

پس از بررسی مدل‌های مصرف سوخت به دلیل نداشتن استانداردهای مناسب در کیفیت مونتاژ و تولید خودرو، روابط و مدل‌های نظری ارائه‌شده نمی‌تواند نتایج دقیق و معتبری داشته باشد. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع با مشاوره گرفتن از کارشناسان مکانیک خودرو در شرکت‌های سازنده نسبت به استفاده از مدل‌های کالیبره‌شده در شرکت‌های سازنده مبادرت شد. مدل ایران‌خودرو که در یک فایل صفحه‌ی گسترده (Excel) است، با وارد کردن مشخصات فیزیکی خودرو (وزن خودرو، سطح جلویی، ضریب آئرودینامیکی، حجم موتور و ...) میزان مصرف سوخت در سرعت‌های مختلف را ارائه می‌دهد.[۱۸و۱۹] در مدل مصرف سوخت سایپا، از قالب نرم‌افزار شبیه‌ساز Advisor، که از جعبه ابزارهای جانبی نرم‌افزار قدرتمند MATLAB است، استفاده شده است. در مطالعات پژوهشی، مدل مذکور دقت ۰٫۱ لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر را در آزمایش سیکل NEDC از خود نشان داده است.

NEDC سیکل استاندارد اروپا برای تعیین مصرف سوخت درون‌شهری است که در ایران نیز به‌عنوان مبنا در تعیین مصرف سوخت شهری استفاده می‌شود. این سیکل در واقع یک نمودار سرعت ـ زمان است. نرم‌افزار شبیه‌ساز Advisor حرکت

جدول ۲. میزان مصرف سوخت هر وسیله‌ی نقلیه.

نوع خودرو	سرعت حالت پایدار (کیلومتر بر ساعت)	مصرف سوخت (لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر)
سمند LX	۱۰۷٫۸	۷٫۲۷۶
پژو ۲۰۶	۱۱۴٫۴	۷٫۳۵۷
پژو پارس	۱۰۸٫۰۴	۷٫۵۷۵
پژو ۴۰۵	۱۰۷٫۸۴	۷٫۱۶۵
پراید صبا	۱۰۶٫۹۹	۶٫۳۴
پراید ۱۳۱	۱۰۹٫۱۷	۶٫۹۴۳

جدول ۳. میزان مصرف روغن هر خودرو.

نوع خودرو	مصرف روغن (لیتر بر ۱۰۰۰ کیلومتر)
سمند LX	۰٫۸۷۰
پژو ۲۰۶	۰٫۸۷۳
پژو پارس	۰٫۸۵۱
پژو ۴۰۵	۰٫۸۶۴
پراید صبا	۰٫۸۴۴
پراید ۱۳۱	۰٫۸۴۴

خودرو موردنظر را طبق نمودار ذکرشده شبیه‌سازی می‌کند و مصرف سوخت را به ازاء لیتر بر ۱۰۰ کیلومتر ارائه می‌دهد.[۲۰] با توجه به مدل‌های ذکرشده، میزان مصرف سوخت برای هر یک از خودروهای پیش‌فرض برای پژوهش حاضر، به شرح جدول ۲ ارائه شده است.

۳.۱.۴. مدل مصرف روغن

در پژوهش حاضر از مدل مصرف روان‌کننده‌ی روغن (HDM IV) استفاده شده است که براساس مطالعات پی‌ینار[۱۰] که گزارش آن توسط دوپلسیس[۱۱] ارائه شده، تهیه شده است. مدل مذکور، مصرف روغن را براساس آنچه سازندگان روغن موتور توصیه می‌کنند، در نظر می‌گیرد و مصرف روغن متشکل از دو قسمت است ۱. کاهش روغن ناشی از آلایندگی موتور که تابعی از فاصله‌ی میان تعویض روغن برای خودرو موردنظر است و ۲. کاهش ناشی از عملکرد موتور وسیله‌ی نقلیه که به‌عنوان تابعی از مصرف سوخت بیان می‌شود. رابطه‌ی ۱۰، مدل برآورد مصرف روغن ارائه‌شده را نشان می‌دهد:[۱۵]

$$OIL_{kp} = OILCONT + OILOPER \times FC_{kp} \qquad (۱۰)$$

که در آن، OLI_{kp}: مصرف روغن (به ازاء ۱۰۰۰ کیلومتر)، $OILCONT$: کاهش روغن ناشی از آلایندگی موتور خودرو در واحد $(km)\frac{۱}{۱۰۰۰}$، $OILOPER$: کاهش روغن ناشی از عملکرد خودرو در واحد $(km)\frac{۱}{۱۰۰۰}$ (مقدار پیش‌فرض این پارامتر براساس مطالعات بانک جهانی برابر ۰٫۰۰۲۸ در نظر گرفته شده است)، FC_{kp}: مصرف سوخت (به ازاء ۱۰۰۰ کیلومتر).

کاهش ناشی از آلایندگی به‌صورت رابطه‌ی ۱۱ برآورد می‌شود:

$$OILCONT = \frac{OILCAP}{DISCHNG} \qquad (۱۱)$$

که در آن، $OILCAP$: گنجایش روغن موتور، $DISCHNG$: مسافت طی‌شده برای هر بار تعویض روغن (این مقدار با توجه به نوع و کیفیت روغن در ایران متفاوت است).

با توجه به اینکه خودروهای موردنظر در پژوهش حاضر، گنجایش روغن ۴ لیتر دارند و با فرض اینکه از روغن با طول عمر ۶۰۰۰ کیلومتر استفاده شود، مقدار کاهش روغن ناشی از آلایندگی برابر با ۰٫۶۶۶۷ تعیین شده است. میزان مصرف روغن برای خودروهای موردنظر در پژوهش حاضر در جدول ۳ ارائه شده است.

۴.۱.۴. مدل سایش تایر

مدل سایش تایر ارائه‌شده توسط بانک جهانی براساس نظریه‌ی انرژی لغزشی است. این مدل که در سال ۱۹۸۷ توسط واتانادا و همکاران ارائه شده است، مصرف تایر در یک وسیله‌ی نقلیه را متناسب با انرژی‌های وارد بر وسیله‌ی نقلیه می‌داند.[۱۶] انرژی‌های موردنیاز به‌عنوان یک تابع از نیروهای دایره‌یی، جانبی و نرمال وارد بر هر چرخ محاسبه می‌شود. تعداد تایر نو معادل به ازاء ۱۰۰۰ وسیله‌ی نقلیه ـ کیلومتر برای هر چرخ از وسیله‌ی نقلیه نوع k در جریان ترافیک p به‌صورت رابطه‌ی ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$EQNT_{kpu} = \frac{۱ + ۰٫۰۱RREC_k \times NR_k}{DISTOT_{kpu}} \qquad (۱۲)$$

که در آن، $EQNT_{kpu}$: تعداد تایر نو معادل به ازاء ۱۰۰۰ وسیله‌ی نقلیه ـ کیلومتر برای هر چرخ، $RREC_k$: هزینه‌ی پوشش مجدد به‌عنوان درصدی از تایر نو، NR_k: تعداد پوشش مجدد به ازاء هر لاشه‌ی تایر، $DISTOT_{kpu}$: کل مسافت طی‌شده به ازاء یک تایر. با توجه به اینکه در ایران اغلب از پوشش مجدد تایر خودداری می‌شود و به بازیافت تایر به منظور استفاده‌ی مجدد اقدام نمی‌شود، مقدار NR برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

کل مسافت طی‌شده به ازاء یک تایر در یک دوره با جریان ترافیک P به صورت رابطه‌ی ۱۳ داده شده است:

$$DISTOT_k = (۱ + NR_K)\frac{VOL_K}{TWT_{kpu}} \qquad (۱۳)$$

که در آن، VOL_k: حجم قابل پوشش لاستیک $(dm^۳)$، TWT_{kpu}: نرخ سایش تایر $(dm^۳/۱۰۰۰\ veh.km)$.

نرخ سایش تایر که براساس تابعی از انرژی مماسی محاسبه می‌شود، به صورت رابطه‌ی ۱۴ است:

$$TWT_{kp} = CO_{tc} + Ctcte \times TE_{KP} \qquad (۱۴)$$

که در آن، CO_{tc}: پارامتر ثابت در مدل سایش تایر، $Ctcte$: ضریب سایش تایر در مدل سایش تایر، TE_{kp}: انرژی مماسی برای هر تایر.

مدل HDM IV برای ضریب سایش تایر و پارامتر ثابت در رابطه‌ی مذکور به ترتیب اعداد ۰٫۰۰۲۰۴ و ۰٫۰۲۱۶ را توصیه می‌کند. انرژی مماسی برای هر تایر به‌صورت یک تابع از نیروهای اعمال‌شده بر تایر مطابق رابطه‌ی ۱۵ است:

$$TWT_{kp} = \frac{CFT_{kp}^۲ + LFT_{kp}^۲}{NFT} \qquad (۱۵)$$

که در آن، CFT_{kp}: نیروی گریز از مرکز وارد بر تایر، LFT_{kp}: نیروی جانبی وارد بر تایر، NFT: نیروی نرمال وارد بر تایر.

نیروی گریز از مرکز وارد بر تایر، تابعی از مقاومت آئرودینامیکی، مقاومت شیب و مقاومت غلتشی است و از رابطه‌ی ۱۶ به دست می‌آید:

$$CFT_{kp}^۲ = \frac{(۱ + CTCON_k \times dFUEL_{kp})(FA_{kp} + FG_{kp} + FR_{kp})}{NUM_WHEELS} \qquad (۱۶)$$

جدول ۴. نیروهای موثر در تایر وسیله‌ی نقلیه براساس الگوی انرژی لغزشی.

	سمند LX	پژه ۲۰۶	پژو پارس	پژو ۴۰۵	پراید صبا	پراید ۱۳۱
مقاومت آیرودینامیکی	۳۷۸٫۹۹	۴۳۵٫۷۳	۳۸۰٫۴۷	۳۷۹٫۰۸	۵۲۰٫۲۳	۵۵۳٫۴۹
مقاومت شیب	۳۱٫۳۹	۲۸٫۴۵	۳۱	۲۹٫۴۳	۱۷٫۶	۲۰٫۴۰
مقاومت غلتشی	۳۵۴٫۸۹	۳۵۴٫۰۳	۳۵۳٫۳۳	۳۴۴٫۹۳	۲۸۲٫۹۵	۳۰۱٫۷۸
نیروی پیرامونی وارد بر تایر	۱۹۱٫۳۲	۲۰۴٫۵۵	۱۹۱٫۲۰	۱۸۸٫۳۶	۲۰۵٫۲۰	۲۱۸٫۹۲
نیروی جانبی	۰	۰	۰	۰	۰	۰
نیروی نرمال	۳۹۲۴	۳۵۵۶٫۱۲	۳۸۷۴٫۹۵	۳۶۷۸٫۷۵	۲۱۹۹٫۸۹	۲۵۵۰٫۶
فرسایش تایر در واحد ۱۰۰۰ تایر ـ کیلومتر	۰٫۰۰۸۰۶۹	۰٫۰۰۸۹۵۸	۰٫۰۰۸۱۰۸۲	۰٫۰۰۸۱۸۴۷۱۳	۰٫۰۱۱۶۴۳۵۳	۰٫۰۱۱۵۱۶۳۷

که در آن، $CTCON_k$: تغییر افزایشی مصرف تایر مرتبط با سوخت، $dFUEL_{kp}$: ضریب افزایش مصرف سوخت ناشی از آثار تغییر سرعت، FA_{kp}: مقاومت آیرودینامیکی، FG_{kp}: مقاومت گرانشی، FR_{kp}: مقاومت غلتشی.

نیروی جانبی وارد بر تایر که تابعی از دِور مسیر و سختی گوشه‌یی تایر است، از رابطه‌ی ۱۷ به دست می‌آید:

$$LFT_{kp} = \frac{FCV_{kp}}{NUM_WHEELS} \qquad (۱۷)$$

که در آن، FCV_{kp} : مقاومت انحنایی در حرکت (این پارامتر با توجه به دِور مسیر و سختی تایر صفر در نظر گرفته می‌شود)، NUM_WHEELS: تعداد چرخ‌های وسیله‌ی نقلیه.

نیروی نرمال وارد بر تایر NFT نیز به‌صورت رابطه‌ی ۱۸ بیان می‌شود:

$$NFT = \frac{WGT_OPER \times g}{NUM_WHEELS} \qquad (۱۸)$$

که در آن، WGT_OPER وزن عملکردی وسیله‌ی نقلیه است.

با انجام محاسبات روابط سایش تایر، نرخ سایش در واحد ۱۰۰۰ کیلومتر ـ وسیله‌ی نقلیه به‌صورت جدول ۴ ارائه شده است.

۵.۱.۴. ارزش اسقاط[۱۲]

ارزش اسقاط (هزینه‌ی استهلاک) در واقع کاهش ارزش وسیله‌ی نقلیه، ناشی از سن، کهنگی و پوسیدگی آن است. در پژوهش حاضر، هزینه‌ی استهلاک وسائط نقلیه در یک دوره‌ی ۱۰ ساله براساس بهای خودروهای ذکرشده در سال ۱۳۹۳ محاسبه شده است. ابتدا بهای آن‌ها با استفاده از پایگاه‌های اطلاع‌رسانی قیمت خودرو و پارکینگ‌های فروش خودرو در تهران جمع‌آوری شد، سپس افت بهای هر خودرو نسبت به سال قبل آن در یک مقطع زمانی برآورد شد. با توجه به اینکه از سال تولید خودروهای عبوری در آزادراه رشت ـ قزوین در دوره‌ی یک ساله‌ی ذکرشده، اطلاعی در دسترس نیست؛ بنابراین نمی‌توان با دقت کافی در مورد ارزش از دست رفته‌ی خودرو در دوره‌ی زمانی مذکور اظهارنظر کرد. برای حل این مشکل از میانگین کاهش هزینه‌ی استهلاک در برآورد استفاده شده است. میزان ارزش اسقاط خودروهای موردنظر در پژوهش حاضر براساس داده‌های آذر ۱۳۹۳ در جدول ۵ نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که میزان ارزش اسقاط ارائه‌شده در جدول ۵ به ازاء کیلومتراژ یک ساله‌ی آن وسیله‌ی نقلیه است. با فرض اینکه وسیله‌ی نقلیه در طول یک سال، ۹۵۰۰ کیلومتر مسافت طی کند، نسبت ارزش اسقاط ناشی از حرکت خودرو در مسیر ۱۸۱٫۵ کیلومتری آزادراه رشت ـ قزوین برابر با ۰٫۰۱۹۱ است که باید در میزان استهلاک جدول ۵ ضرب شود.

جدول ۵. ارزش اسقاط وسائط نقلیه.

نوع خودرو	میانگین کاهش ارزش خودرو (میلیون تومان)
سمند LX	۲٫۱۰۰
پژو ۲۰۶	۲٫۰۸۰
پژو پارس	۲٫۴۵۰
پژو ۴۰۵	۱٫۶۱۰
پراید صبا	۱٫۴۰۰
پراید ۱۳۱	۱٫۴۵۰

۲.۴. ارزش زمان[۱۳]

برای برآورد ارزش زمان از روش رجحان بیان‌شده استفاده شده است که مهم‌ترین گام آن ساخت مدل مطلوبیت به فرم رابطه‌ی ۱۹ است:

$$U = -\alpha_t t - \alpha_c C + \varepsilon \qquad (۱۹)$$

که در آن، ε، قسمت تصادفی و بیان‌گر میزان خطای مدل، $-\alpha_t t - \alpha_c C$، قسمت سیستماتیک رابطه، C، نقش هزینه و t، نقش زمان سفر در تابع مطلوبیت است.[۲۱و۲۵] بنابراین با استفاده از پایگاه داده‌ها که متشکل از ۷۸۸ نمونه‌ی قابل استناد است، مقادیر ΔC و Δt که تفاضل هزینه‌ها و زمان‌ها برای دو مد حمل‌ونقلی تاکسی و اتوبوس است، محاسبه شد و با استفاده از نرم‌افزار Eveiws۷ و نیز روش بهینه‌سازی Likelihood (روشی است که برای برآورد کردن پارامترهای یک مدل آماری استفاده می‌شود. وقتی بر مجموعه‌یی از داده‌ها عملیات انجام می‌شود، یک مدل آماری به دست می‌آید، آنگاه درست‌نمایی بیشینه می‌تواند تخمینی از پارامترهای مدل ارائه دهد. روش درست‌نمایی بیشینه به بسیاری از روش‌های شناخته‌شده‌ی تخمین آماری شباهت دارد) در قالب روش Binary Logit و روش Quadratic Hill Climbing (الگوریتم تپه‌نوردی، الگوریتمی است که برای یافتن بهترین پاسخ یک مسئله یا برای پیدا کردن پاسخی از مسئله که به اندازه‌ی کافی مناسب و بهینه باشد، استفاده می‌شود)، ضرایب α و β تعیین شد. با استفاده از خروجی نرم‌افزار مقدار α برابر ۰٫۰۵۳۴۸۴- و مقدار β برابر ۰٫۰۰۰۱۴۵- حاصل شد. بنابراین ارزش زمان که نسبت $\frac{\alpha}{\beta}$ است، به صورت رابطه‌ی ۲۰ تعیین می‌شود:

$$VOT_{RP} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{-۰٫۰۵۳۴۸۴}{-۰٫۰۰۰۱۴۵} = ۳۶۸٫۸۵ \text{ ریال بر دقیقه} \qquad (۲۰)$$

با توجه به پارامترهای کنترلی ارائه‌شده توسط نرم‌افزار می‌توان به راحتی اعتبار مدل را تأیید کرد. با توجه به پارامتر احتمال ($prob$)، احتمال رد هر یک از پارامترهای

dc و dt تقریباً صفر است و عدد کوچک پارامتر Log Likelihood نیز مؤید مطلوب بودن مدل است.[۲۲و۲۶] همچنین به منظور اطمینان نتایج نمونه‌های گردآوری‌شده، از روش تولیدمحور نیز استفاده شده است. براساس داده‌های بانک مرکزی، متوسط درآمد ناخالص سالانه‌ی یک خانوار در استان گیلان در سال ۸۹ برابر با ۱۲۳۵۱۵۵۱۶ ریال بوده است. با توجه به تغییر درآمد خانوار در هر سال، درصد تغییر متوسط درآمد خانوار از سال ۸۹ تا ۹۳، ۱۶٫۱٪ در نظر گرفته شد که درواقع براساس میانگین تغییر درصد درآمد ۵ سال قبل آن (از سال ۸۴ تا سال ۸۹) است.[۲۳] براساس اطلاعات بانک مرکزی، متوسط تعداد افراد خانوار برای خانواده‌یی با درآمد ذکرشده در استان گیلان برابر ۳٫۷ نفر و ساعت کاری هر نفر برابر ۸ ساعت در روز در نظر گرفته شد. بنابراین ارزش زمان به روش تولید محور به‌صورت رابطه‌ی ۲۱ است:

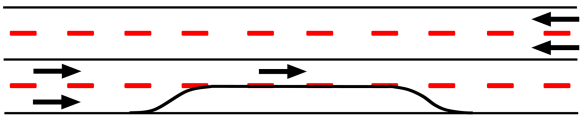
$$VOT = \frac{S}{T \times ۱۲ \times D} = ۲۷۷٫۸۳ \text{ ریال بر دقیقه} \qquad (۲۱)$$

که در آن، VOT: ارزش زمان هر ساعت فرد (ریال بر ساعت)، S: متوسط درآمد خانوار در سال (ریال)، T: متوسط ساعت کاری در ماه، D: بعد خانوار (متوسط جمعیت هر خانوار). حال با توجه به نزدیکی نتایج دو روش می‌توان به مطلوب بودن نتایج حاصل پی برد.

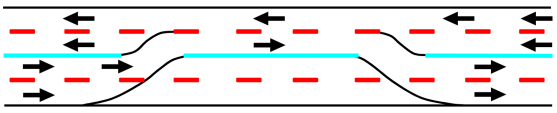
۳.۴. منطقه‌ی عملیاتی

در پژوهش حاضر، به منظور برآورد منابع اضافی مصرف در منطقه‌ی عملیاتی از نرم‌افزار Aimsun استفاده شده است. بنابراین پس از جمع‌آوری داده‌های انسداد با توجه به مشخص بودن تاریخ و ساعت انسداد، با استفاده از داده‌های تردد روزانه و ساعتی آزادراه، آمار حجمی ترافیک عبوری از منطقه‌ی عملیاتی در محل انسداد تعیین شد.[۲۴] سپس با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی، پیکربندی محدوده‌ی منطقه‌ی عملیاتی مدل شد و میزان تأخیر ناشی از اختلال ترافیک و همچنین میزان مصرف سوخت ناشی از تغییر سیکل حرکتی خودروها از خروجی نرم‌افزار مشخص شد. اطلاعات کامل از زمان و نوع انسداد با استفاده از داده‌های سازمان راهداری گیلان و قزوین در جدول ۶ شرح داده شده است.

برای مدل‌سازی انسداد منطقه با توجه به نوع آثار واقعه، ۲ نوع سناریو در نظر گرفته شده است. در سناریو انسداد یک خط، خط سمت راست مسیر به طول موردنظر بسته شده و عبور حجم ترافیک از منطقه‌ی عملیاتی در آن شبیه‌سازی شده است (شکل ۱).



شکل ۱. تصویر انسداد یک خط.



شکل ۲. تصویر انسداد یک مسیر.

در سناریو انسداد مسیر، یک جهت کاملاً بسته است و خودروهای در حال تردد مجبورند که از مسیر مقابل برای عبور استفاده کنند و کل راه در ناحیه‌ی عملیاتی به یک مسیر دو خط تبدیل می‌شود (شکل ۲).

در واقع سناریوی مذکور از دو قسمت مجزا تشکیل شده است: قسمت اول، شامل تغییر از جهت کاملاً بسته‌شده به مسیر مقابل است؛ و قسمت دوم، شامل تبدیل یک مسیر دو خط به مسیر یک خط است. بنابراین، مدل مذکور شامل دو تأخیر متفاوت برای دو جهت رفت و برگشت است. میزان تأخیر و مصرف سوخت ناشی از منطقه‌ی عملیاتی در جدول ۷ نشان داده شده است.

۵. نتایج و بحث

پس از انجام محاسبات مدل‌های عملکرد وسیله‌ی نقلیه، میزان مصرف هر یک از منابع در قیمت آن ضرب و بدین‌وسیله هزینه‌ی ناشی از عملکرد وسیله‌ی نقلیه تعیین شده است. نتایج حاصل از هزینه‌ی کاربران راه، ناشی از عملکرد خودرو، به تفکیک در نمودار شکل ۳ مشاهده می‌شود.

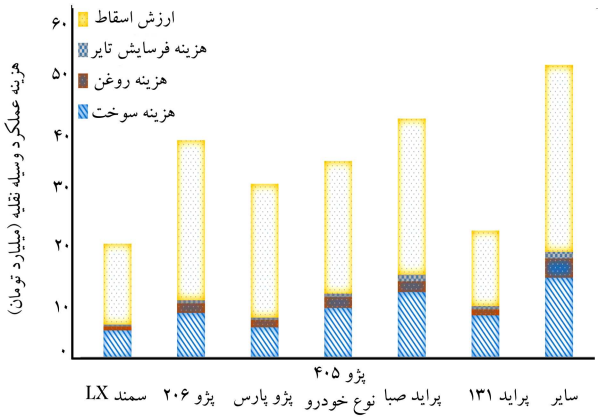
مطابق شکل ۳، هزینه‌ی عملکردی خودروی پراید قسمت قابل توجهی از هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد، که می‌توان به حجم بالای تردد آن‌ها در مسیر آزادراه رشت ـ قزوین اشاره کرد. بنابراین به منظور کاهش هزینه‌های کاربران راه باید نگاه ویژه‌یی به پراید داشت. هزینه‌های عملکردی خودرو پژو ۲۰۶ نیز به دلیل اینکه در مسیر آزادراه سرعت عملکردی بیشتری دارد، قابل‌توجه است. لازم به ذکر است که اگرچه سرعت عملکردی (سرعت حالت پایدار) بالاتر باعث افزایش هزینه‌های عملکردی می‌شود، اما سرعت بالا در کاهش زمان سفر که از اجزاء دیگر کاربران راه است، اثر

جدول ۶. اطلاعات انسداد مسیر.

نام محور	قزوین ـ لوشان		رودبار ـ منجیل	لوشان ـ قزوین
	(۱)	(۲)		
از کیلو متراژ	۵۲۰۰۰	۵۵۰۰۰	۸۰۰۰	۱۸۰۰۰
تا کیلو متراژ	۵۲۳۵۰	۵۶۰۰۰	۹۰۰۰	۱۸۲۵۰
اثرات واقعه	انسداد مسیر	انسداد مسیر	انسداد یک خط	انسداد مسیر
نوع انسداد	از پیش تعیین‌شده	از پیش تعیین‌شده	از پیش تعیین‌نشده	از پیش تعیین‌شده
شرایط انسداد	عملیات راهداری	عملیات راهداری	طغیان رودخانه	عملیات راهداری
نوع عملیات	تعمیرات تونل	تعمیرات تونل	ـ	تعمیرات پل
از تاریخ	۹۳/۱۰/۱۷	۹۳/۱۰/۱۵	۹۳/۰۳/۰۳	۹۳/۰۴/۰۳
تا تاریخ	۹۳/۱۰/۱۹	۹۳/۱۰/۱۵	۹۳/۰۳/۰۳	۹۳/۰۴/۱۵
از ساعت	۰۸:۰۰	۰۷:۰۰	۰۴:۰۰	۰۸:۰۰
تا ساعت	۱۵:۰۰	۱۷:۰۰	۱۰:۰۰	۱۷:۰۰

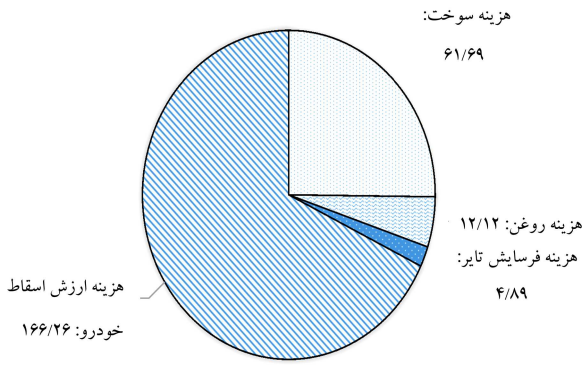
جدول ۷. برآورد منابع مصرفی در منطقه‌ی عملیاتی.

منطقه‌ی عملیاتی	طول منطقه‌ی عملیاتی (کیلومتر)	حجم وسایل نقلیه عبوری (وسیله‌ی نقلیه)	متوسط تاخیر زمانی در زمان انسداد (ثانیه بر کیلومتر)	مصرف سوخت (لیتر)
قزوین ـ لوشان (۱)	۰٫۳۵	۷۳۷۴	۲۰٫۷	۹۶۹۴
	۰٫۳۵	۱۴۳۵۴	۱٫۶۵	۲۸۰۸
قزوین ـ لوشان (۲)	۱	۵۶۹۸	۸٫۲۳	۴۲۸۰
	۱	۱۲۳۳۴	۱٫۷۶	۳۰۶۵
رودبار ـ منجیل	۱	۳۸۴۸	۷٫۸۱	۱۷۹۹
	۱	۳۴۹۹	۱٫۲۴	۴۹۸
لوشان ـ قزوین	۰٫۲۵	۷۱۰۶۴	۰٫۱۷	۳۶۱۳

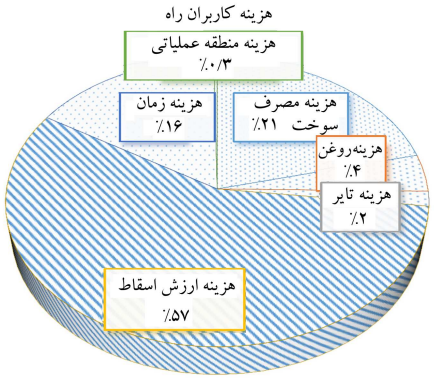


شکل ۳. نمودار ستونی هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه.

شکل ۵. نمودار ستونی اجزاء هزینه‌ی کاربران راه.



شکل ۴. نمودار دایره‌یی هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه.



شکل ۶. نمودار دایره‌یی هزینه‌ی کاربران راه.

مثبت دارد. همچنین هزینه‌های مربوط به روغن نسبت به سایر هزینه‌ها حساسیت کمتری به نوع خودرو دارد و تقریباً برای خودروهای سواری مختلف یکسان است.

با توجه به نمودار دایره‌یی شکل ۴، هزینه‌ی ارزش اسقاط با سهم بیش از ۶۰٪ عمده‌ترین سهم را دارد، در حالی‌که در مطالعات HDM، مقدار هزینه‌ی ارزش اسقاط حدود ۱۰ الی ۳۵ درصد کل هزینه‌ها برآورد شده است و این تفاوت نشان‌دهنده‌ی آن است که با اینکه خودرو در دنیا به‌عنوان یک کالای مصرفی شناخته می‌شود، در ایران بیشتر به‌عنوان کالای سرمایه‌یی است و میزان افت بهای آن چشم‌گیر است. نکته‌ی قابل‌توجه دیگر آن است که هزینه‌ی روغن در این برآورد یک جهش غیرقابل‌انتظار داشته است، در حالی که بنا به برآورد HDM، هزینه‌ی روغن ۲ الی ۵ برابر کمتر از هزینه‌ی تایر است، ولی در ایران دقیقاً بالعکس بوده است. دلیل هزینه‌ی بالای روغن را می‌توان درکیفیت پایین روغن موتورها و یا عملکرد نامطلوب موتورهای خودرو و یا تلفیقی از این دو دانست. در پژوهش حاضر از دو روش تولیدمحور و توابع مطلوبیت به برآورد ارزش زمان پرداخته شد. از آنجایی که روش تولیدمحور از داده‌های اقتصادی کلان در محاسبات خود استفاده می‌کند، فقط یک دید کلی از مقدار ارزش زمان ارائه می‌کند که کاملاً تقریبی است، ولی روش RP به دلیل استفاده از داده‌های میدانی به واقعیت نزدیکی بیشتری دارد. بنابراین با توجه به داده‌های ذکرشده، ارزش زمان مردم منطقه برابر با ۲۱۰۰۰ ریال بر ساعت در نظرگرفته می‌شود.

هزینه‌ی هر یک از اجزاء کاربران راه به‌صورت مجزا در نمودار شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود. هزینه‌ی منطقه‌ی عملیاتی (شامل هزینه‌ی تأخیر و مصرف سوخت)

برابر با ۸۲۰/۱۶ میلیون تومان است که تقریباً ۰/۳٪ هزینه‌های کاربران را به خود اختصاص می‌دهد که نسبت به سایر اجزاء هزینه‌ی کاربران راه مقدار بسیار ناچیزی است. یکی از دلایل آن می‌تواند جدید التأسیس بودن آزادراه باشد، که نیازی به عملیات مرمت و بهسازی در آن مشاهده نمی‌شود و تعداد انسداد در آن کم است. ولی با یک دید جامع‌تر می‌توان به این نتیجه رسید که حتی با تعداد انسداد بیشتر، مقدار هزینه‌ی منطقه‌ی عملیاتی قابل توجه نخواهد بود. بنابراین می‌توان عدم اختصاص پروژه‌های پرهزینه برای ارائه‌ی مدلی جامع را توجیه کرد و بیشتر آن‌ها در حد ایالات و یا منطقه‌یی خاص است و هنوز قضاوت مهندسی و داده‌های میدانی معیار اصلی در برآورد ظرفیت منطقه‌ی عملیاتی است. نکته‌ی دیگر اینکه در مواردی که انسداد کل مسیر اتفاق می‌افتد، تأخیر بسیار حادتر از انسداد یک خط خواهد بود. به‌عنوان مثال، در انسداد لوشان ـ قزوین (انسداد یک خط) فقط ۰/۱۷ ثانیه تأخیر در نرم‌افزار شبیه‌سازی برآورد شده است، در حالی که در انسداد قزوین ـ لوشان (۱) (انسداد یک مسیر) تأخیر به ۲۰/۷ ثانیه رسیده است، که حدوداً ۱۲۰ برابر شده است. لازم به ذکر است که با اینکه از نرم‌افزارهای مختلفی استفاده شده است، ولی نویسندگان تلاش کرده‌اند تا دقت لازم را داشته باشند، تا سازگاری بین نتایج رعایت شده باشد.

هزینه‌ی کل کاربران راه اعم از هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه، ارزش زمان و هزینه‌ی منطقه‌ی عملیاتی فقط در طول یک سال (۱۳۹۳) برابر با ۲۹۱/۷ میلیارد تومان است که با توجه به هزینه‌ی میلیاردی ساخت پروژه که در حدود ۵ سال به طول انجامید، این رقم حدود ۷۳٪ هزینه‌ی ساخت‌وساز پروژه خواهد بود. بنابراین با توجه به ارقام ذکرشده، بهینه‌سازی هزینه‌ی کاربران راه باید یکی اولویت‌های اصلی هر پروژه‌ی راه‌سازی در نظرگرفته شود و کاهش این هزینه‌ها می‌تواند منافع اقتصادی جامعه را به شدت افزایش دهد.

پانوشت‌ها

1. highway design and maintenance standards model
2. highway capacity manual (HCM)
3. former commonwealth bureau of roads
4. national association of australia state road authorities (NAASRA)
5. road user cost steering group (RUCSG)
6. queue and user cost evaluation of work zone
7. generic capacity model (GCM)
8. weibull distribution
9. average rectified velocity
10. PIENAAR
11. DU PLESSIS
12. depreciation
13. value of time (VT)

منابع (References)

1. Thawat, W., Clell. G.H., William P.D., Dhareshwar, O., Ashok, M., Bhandari, A. and Tsunokawa K., Description of the *HDM-III Model. The Highway Design and Maintenance Standards Series*, Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press (1987).
2. Shahi, J. and Ahangari, H. "Comparison of various methods for value of travel time (VOT)", *Transportation Research Journal*, **1**(1), pp. 17-30 (2005).
3. Darrell, W., Borchardt, G.P., Dazhi, S. and Liang, D. "Capacity and road user cost analysis of selected freeway work zones in Texas", Texas Transportation Institute, Texas A & M University System (2009).
4. Thoresen, T. and Roper, R. "Review and enhancement of vehicle operating cost models: Assessment of non urban evaluation models", In Transportation Research Board 76th Annual Meeting, CD_ROM, Washington D.C. (1996).
5. Kerali, H.G., Odoki, J. and Stannard, E. "Overview of HDM-4. the highway development and management series", Published by World Road Association and The World Bank (2006).
6. Tan, F., Thoreson, T. and Evans, C. "Review of vehicle operating costs and road roughness: Past, current and future", 25th ARRB Conference (2012).
7. Brownstone, D. and Small, K.A. "Valuing time and reliability: Assessing the evidence from road pricing demonstrations", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **39**(4), pp. 279-293 (2005).
8. Mackie, P., Wardman, M., Fowkes, A.S. and Whelan, G. "Values of travel time savings UK", Inistitute of transport studies, University of Leeds, Leeds, UK (2003).
9. Carrion, C. and Levinson, D. "Value of travel time reliability: A review of current evidence", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **46**(4), pp. 720-741 (2012).
10. Yazdan Panah, H., Babaei, S. and Abedini, M. "Estimation value of travel time using by revealed preferences", *12th International Conference on Transport and Traffic* (2012).
11. Ramezani, H., Benekohal, R.F. and Avrenli, K.A. "Methodology to analyze queue length and delay in work zones", In Transportation Research Board 90th Annual Meeting, CD_ROM, Washangton D.C. (2012).
12. Mallela, j. and Sadasivam, S. "Work zone road user costs concepts and applications", Final report FHWA (2011).
13. Meng, Q. and Weng, J. "Optimal subwork zone length and project start time for short-term daytime work zones from the contractor's perspective", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **29**, pp. 72-83 (2013).
14. Benekohal, R.F., Ramezani, H. and Avrenli, K.A. "Queue And User's Costs In Highway Work Zones", *Urbana*, **51**, pp. 61-80 (2010).
15. Archondo-Callao, R.S. and Faiz, A. "Estimating vehicle operating costs", *Journal of public Economics*, **26**(1), pp. 215-227 (2004).

16. Kerali, H.G. and Odoki, J. "Analytical framwork& model description (part E)", The Highway Development and Management Series, published by World Road Association and The World Bank (2006).

17. Saffarzade, M. and Zahedi, M. "Effect of pavement roughness and road darkness on free flow speed in freeways", *Transportation Research Journal*, **7**(1) , pp. 25-38 (2010).

18. *Technical Information of Vehicle*, Saipa Industrial Group (http://www.saipacorp.com).

19. Lee, M.G., Choo, C. and Zhang, K. "Estimation of fuel consumption using In-vehicle parameters", *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, **4**(4), pp. 37-46 (2011).

20. *Technical Information of Vehicle*, Iran-Khodro Industrial Group (http://www.ikco.com).

21. Devarasetty, P.C., Burris, M. and Douglass Shaw, W. "The value of travel time and reliability-evidence from a stated preference survey and actual usage", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **46**(8), pp. 1227-124 (2012).

22. Mehregan, N. and Rezaei, R. "Eviews 7 users guide in Econometrics", QMS (Quantitative Micro Software) (2011).

23. Central Bank Of The Islamic Republic Of Iran, Household Expenditure Statistics (2010).

24. Statistics & information of roads, Road Maintenance & Transportation Organization (http://www.rmto.ir).

25. Hyard, A. "Cost-benefit analysis according to Sen: An application in the evaluation of transport infrastructures in France", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **46**(4), pp. 707-719 (2012).

26. Guhnemann, A., Laird, J.J. and Pearman A.D. "Combining cost-benefit and multi-criteria analysis to prioritise a national road infrastructure programme", *Transport Policy*, **23**, pp. 15-24 (2012).