

# ارائه‌ی مدلی برای برآورد تأخیر کاربران راه با استفاده از شبیه‌سازی نرم‌افزاری

محمدرضا احدی (استادیار)

پژوهشکده‌ی حمل‌ونقل، مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی

مهدی نصراللهی\* (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم‌و‌صنعت ایران

پیمان غلامین (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی علوم ریاضی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهجان

مهندسی عمران شریف، زمستان ۱۳۹۵ (۲-۳، شماره ۳/۲، ص. ۷۳-۸۰)

انتخاب راهبرد مناسب در منطقه‌ی عملیاتی و ارائه‌ی تسهیلات به مسافران در این ناحیه، یکی از مباحث مهم در مدیریت منطقه‌ی عملیاتی است. تأخیر ناشی از منطقه‌ی عملیاتی یکی از مهم‌ترین پارامترهای ایجاد اختلال در سیستم حمل‌ونقل است. این تأخیر عمدتاً به دلیل ایجاد صف و کاهش سرعت در این ناحیه رخ می‌دهد. برای ارائه‌ی مدل تأخیر مناسب، ابتدا به کمک نرم‌افزار Aimsun اقدام به شبیه‌سازی میکروسکوپی منطقه‌ی عملیاتی شده و میزان تأخیر حاصل از انسداد مسیر در حالات مختلف حجم ورودی به ناحیه و طول منطقه‌ی عملیاتی اندازه‌گیری شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS ۲۱ از مدل غیرخطی چندگانه، که دقت بالایی دارد، برای تأخیر منطقه‌ی عملیاتی در راه‌های دوخطه‌ی آزادراهی استفاده شده است. در نهایت به برآورد هزینه‌های تأخیر کاربران راه در آزادراه رشت - قزوین در سال ۹۲ اقدام و در مورد هزینه‌ی تأخیر هر یک از انسدادها در آزادراه به بحث پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: منطقه‌ی عملیاتی، زمان تأخیر، شبیه‌سازی میکروسکوپی، مدل غیرخطی چندگانه.

## ۱. مقدمه

بزرگراه‌های بسیاری از ایالات امریکا (ایالت مریلند) طول صف و میانگین زمان سفر ناشی از منطقه‌ی عملیاتی را به مقدار معینی محدود کرده‌اند.<sup>[۱]</sup> از سوی دیگر، مراجع حمل و نقل زمینی با منابع سرمایه‌ی محدودی روبه‌رو هستند و نمی‌توانند مطلوب‌ترین راهکار که گاه می‌تواند پرهزینه‌ترین باشد، را برگزینند. بنابراین باید میان هزینه‌های سرمایه‌ی وارد بر سازمان و میزان هزینه‌های متحمل‌شده به کاربران راه نوعی تعادل به‌وجود آید، به‌طوری که به نسبت میزان هزینه‌های وارد بر کاربران (تأخیر سفر و...)، به ارائه‌ی تسهیلات و راهبردهای مختلف مانند: احداث راه انحرافی موقت، شتاب در روند عملیات ساخت و بهسازی با پرداخت هزینه‌های اضافی، انجام عملیات شبانه‌روزی، و... اقدام شود. بنابراین برآورد تأخیر کاربران راه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء هزینه‌های تحمیل‌شده به کاربران اجتناب‌ناپذیر است، تا بتوان با استناد به آن رویکرد و خط‌مشی درست را در مدیریت منطقه‌ی عملیاتی در نظر گرفت.<sup>[۲]</sup> این در حالی است که در سال‌های اخیر ازدحام ناشی از منطقه‌ی عملیاتی در خیابان‌ها و بزرگراه‌ها رشد چشم‌گیری داشته است، به‌طوری که یک بحث بحرانی در بسیاری از کشورها محسوب می‌شود. تقریباً ۲۴٪ از تأخیرات از پیش تعیین‌شده و متناوب در آزادراه‌ها ناشی از منطقه‌ی عملیاتی است. علاوه بر این، در سال ۲۰۰۳، تقریباً ۴۸۰ میلیون وسیله‌ی نقلیه - ساعت تأخیر در ۷۲۰۰ منطقه‌ی

منطقه‌ی عملیاتی، یک ناحیه‌ی بزرگراهی است که در آن فعالیت‌های نگه‌داری، بهسازی، و نوسازی راه انجام می‌شود. این منطقه به‌دلیل محدودیت‌های فضای و زمانی، که در خطوط دسترسی ایجاد می‌کند، باعث اثرات سوء در جریان نرمال ترافیک می‌شود.<sup>[۱]</sup> یکی از مهم‌ترین ارکان در مدیریت منطقه‌ی عملیاتی، تجزیه و تحلیل هزینه، و انتخاب راهبرد به صرفه در منطقه‌ی عملیاتی است. در واقع، مدیریت منطقه‌ی عملیاتی به نوعی بهینه‌سازی هزینه‌هاست. هزینه‌های منطقه‌ی عملیاتی را می‌توان در ۳ گروه هزینه‌ی ساخت‌وساز، هزینه‌ی کاربران راه، و هزینه‌ی تجهیزات ترافیکی دسته‌بندی کرده است.<sup>[۲]</sup> از دیدگاه مدیریت ایمنی ترافیک بزرگراه ملی امریکا<sup>۱</sup>، هزینه‌های کاربران راه مهم‌ترین هزینه در پروژه‌های منطقه‌ی عملیاتی به‌شمار می‌رود، زیرا احداث یک منطقه‌ی عملیاتی به‌طور بالقوه باعث ایجاد اختلال در جریان ترافیک و کاهش سرعت در طول دوره‌ی زمانی آن می‌شود، که این اختلال باعث بروز تأخیر در سفر و نارضایتی عمومی مسافران می‌شود. میزان اهمیت این اثرات منفی ناشی از منطقه‌ی عملیاتی به حدی است که کاهش نارضایتی و کاهش مدت زمان بروز آن یکی از اهداف اصلی در نظر گرفته شده است. مدیریت

\* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۸، اصلاحیه ۱۳۹۴/۳/۲، پذیرش ۱۳۹۴/۳/۱۰

عملیاتی امریکا به کاربران راه تحمیل شده است.<sup>[۵]</sup> این ازدحام ترافیکی و تأخیرات ناشی از آن اثرات زیان‌باری شامل مصرف بالاتر و ازدیاد آلاینده‌های وسائط نقلیه، افزایش ریسک تصادفات، و در نتیجه هزینه‌ی حمل و نقل بیشتر را به بار می‌آورد.<sup>[۶]</sup> مطالعات نشان می‌دهد که تأخیرات حاصل از روش تئوری صف معین، که به‌طور گسترده توسط متخصصان پذیرفته شده است، معمولاً زمان تأخیر را کمتر برآورد می‌کند؛ زیرا رویکرد تأخیرات موجی ناگهانی (شوکه‌کننده)<sup>[۷]</sup> در آن لحاظ نشده است. نرم‌افزار Aimsun یکی از ابزارهای شبیه‌ساز ترافیکی شناخته شده است که می‌تواند در برآورد زمان سفر و تأخیر به‌کار برده شود. این شبیه‌ساز رایانه‌ی، یک رویکرد ارزشمند برای برآورد تأخیرات در شرایط مختلف به‌شمار می‌رود.<sup>[۷]</sup> بر طبق مطالعاتی که توسط دپارتمان حمل و نقل ایندیانا انجام شده است، تأخیرات زمانی ناشی از منطقه‌ی عملیاتی را می‌توان به ۴ گروه مختلف دسته‌بندی کرد:

۱. تأخیر ناشی از کاهش شتاب وسائط نقلیه قبل از ورود به منطقه‌ی عملیاتی،
۲. تأخیر ناشی از کاهش سرعت وسائط نقلیه در منطقه‌ی عملیاتی،
۳. تأخیر ناشی از افزایش شتاب وسائط نقلیه بعد از ورود به منطقه‌ی عملیاتی،
۴. تأخیر صف ناشی از نرخ وسائط نقلیه‌ی ورودی و خروجی.<sup>[۸]</sup>

در این نوشتار سعی شده است که با رویکردی کاربردی به ارائه‌ی مدل و نمودارهای قابل استفاده برای برآورد تأخیر کاربران مبادرت شود، تا بتواند به‌عنوان معیاری برای تصمیم‌گیری زمان انسداد و یا اتخاذ سایر راهبردهای راه‌داری استفاده شود. همچنین در این پژوهش از مدل غیرخطی نمایی استفاده شده است، که می‌تواند دقت بالایی را در زمینه‌ی مدل‌سازی ارائه دهد.

## ۲. مرور ادبیات

دیدگاه‌های موجود قابل اجرا برای برآورد تأخیر ترافیک در مناطق عملیاتی را می‌توان در ۳ رویکرد دیدگاه‌های تحلیلی میکروسکوپی، دیدگاه‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی، و دیدگاه‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی دسته‌بندی کرد.<sup>[۹]</sup> در تحلیل میکروسکوپی ۲ مدل شناخته‌شده‌ی مدل صف معین و مدل موج شوکی به‌منظور تجزیه و تحلیل تأخیر صف در گلوگاه‌ها به‌طور گسترده استفاده شده است. در مدل موج شوکی فرض می‌شود که جریان ترافیک مانند یک سیال رفتار می‌کند و هنگامی که تقاضا از ظرفیت تجاوز می‌کند، یک موج شوک از بالادست گسترش می‌یابد و سرعت آن براساس چگالی ترافیک، که اغلب برآورد و اندازه‌گیری آن سخت است، تخمین زده می‌شود. نظریه‌ی تئوری صف معین نیز یکی دیگر از دیدگاه‌های متداول تحلیل میکروسکوپی است، که به‌عنوان شیوه‌ی استاندارد برآورد تأخیر برای مناطق آزادراهی از طریق کتاب راهنمای ظرفیت بزرگراه‌ها توصیه شده است.<sup>[۱۰]</sup> در این رویکرد فرض می‌شود هنگامی که جریان ترافیک کمتر از ظرفیت منطقه‌ی عملیاتی است، هیچ صفی شکل نمی‌گیرد؛ بنابراین، تأخیر ترافیکی برابر با تأخیر در حال حرکت ناشی از محدودیت سرعت در منطقه‌ی عملیاتی است.<sup>[۱۱]</sup> در صورتی که جریان ترافیک از ظرفیت منطقه‌ی عملیاتی تجاوز کند، در بالادست منطقه‌ی عملیاتی صف تشکیل خواهد شد. در این حالت تأخیر ترافیکی به‌صورت مجموع تأخیر صف و تأخیر در حال حرکت در نظر گرفته می‌شود. در سال ۲۰۱۳، با در نظر گرفتن مقادیر مختلف سرعت ترافیکی یک مدل پیشرفته‌ی صف معین برای برآورد تأخیر منطقه‌ی عملیاتی ارائه شده است.<sup>[۱۲]</sup> همچنین دو رابطه‌ی اصلی که در برآورد تأخیر منطقه‌ی عملیاتی، که در مطالعات پیشین انجام شده، اصلاح شده است.<sup>[۱۳]</sup> اگر چه تئوری صف معین

به دلیل سادگی آن به‌طور گسترده استفاده شده است، ولی این نظریه ۲ محدودیت اصلی دارد: ۱. این رویکرد مانورهای کاهش شتاب و افزایش شتاب قبل از ورود به منطقه‌ی عملیاتی و در هنگام خروج آن را در نظر نمی‌گیرد، که برای رفع چنین نقطه‌ضعفی در سال ۱۹۹۹، رویکرد تئوری صف با افزوده شدن تأخیرات ناشی از کاهش و افزایش شتاب اصلاح شده است. ۲. تأخیرات ناشی از موج شوک در برآورد تأخیر لحاظ نمی‌شود. علاوه بر دیدگاه تحلیلی میکروسکوپی چندین بسته‌ی نرم‌افزاری رایج برای برآورد تأخیر وجود دارد، که جریان‌های ترافیکی را در سطح میکروسکوپی مدل می‌کند. FRESIM،<sup>۳</sup> QUEWZ،<sup>۴</sup> و Quickzone ابزارهای شبیه‌سازی میکروسکوپی هستند، که به‌طور وسیعی استفاده می‌شوند.<sup>[۹]</sup> در نرم‌افزار رایانه‌ی QUEWZ علاوه بر تأخیرات، برآورد هزینه‌ی کاربران و طول صف به‌منظور مدیریت هزینه‌ی کاربران راه (شامل: زمان سفر، هزینه‌ی عملکرد وسیله‌ی نقلیه، و آلاینده‌ی) نیز در نظر گرفته شده است. Quickzone نیز یک برنامه‌ی برآورد تأخیر منطقه‌ی عملیاتی است، که در صفحه‌ی گسترده‌ی excel گسترش یافته است.<sup>[۱۴]</sup> عملکرد این ۳ ابزار در تخمین تأخیر ترافیکی در منطقه‌ی عملیاتی با استفاده از داده‌های میدانی جمع‌آوری شده در ۱۱ ناحیه‌ی عملیاتی ایلی‌نویز مقایسه و مشخص شده است که دو نرم‌افزار QUEWZ و FRESIM سرعت وسیله‌ی نقلیه را به‌طور دست بالا برآورد می‌کند.<sup>[۹]</sup>

به‌منظور برآورد دقیق تأخیر کاربران برای شبکه‌های پیچیده راه استفاده از روش شبیه‌سازی به‌عنوان یک ابزار تجزیه و تحلیل ارزشمند اجتناب‌ناپذیر است. ARENA یک مدل شبیه‌سازی میکروسکوپی است که با استفاده از مدل پیشرفته‌ی انیمیشن، تأخیر ترافیکی منطقه‌ی عملیاتی را برآورد می‌کند.<sup>[۱۵]</sup> علاوه بر نرم‌افزار ARENA، ابزارهای شبیه‌سازی میکروسکوپی مانند: CORSIM،<sup>۵</sup> INTEGRATION،<sup>۶</sup> PARAMIC،<sup>۷</sup> Aimsun<sup>۸</sup> توسط پژوهشگران به‌منظور برآورد تأخیر استفاده شده است.<sup>[۱۶]</sup> از میان نرم‌افزارهای ذکر شده، نرم‌افزارهای PARAMICS و VISSIM دو نرم‌افزار تجاری هستند که می‌توانند برآوردی با دقت بالا ارائه دهند. در مقایسه با دیدگاه‌های شبیه‌سازی و تحلیلی میکروسکوپی، ابزارهای شبیه‌سازی میکروسکوپی می‌توانند برآورد تأخیر ترافیکی دقیق‌تری را ارائه دهند؛ زیرا نرم‌افزارهای مذکور توانایی مدل‌سازی دینامیکی پیچیده در سطح تک تک وسائط نقلیه را دارند. به هر حال آن‌ها به‌منظور مدل‌سازی عملکرد جریان ترافیک، نیاز به منابع محاسباتی زیاد و دفعات تکرار بالا دارند. به‌منظور بهبود بازدهی محاسباتی، یک روش منحصر به فرد، ادغام مفاهیم تئوری صف و نرم‌افزار شبیه‌سازی میکروسکوپی، برای برآورد تأخیر ترافیکی منطقه‌ی عملیاتی است.<sup>[۱۷]</sup> در سال ۲۰۰۸ چنین دیدگاه ترکیبی که مدل تحلیلی میکروسکوپی را با ابزار شبیه‌ساز میکروسکوپی پیوند دهد، پیشنهاد شده است.<sup>[۱۸]</sup> سه نرم‌افزار شبیه‌سازی FRESIM، CORSIM و INTEGRATION برای شبیه‌سازی آزادراه با ازدحام بالا استفاده و اعتبارسنجی عملکرد آن‌ها با استفاده از داده‌هایی که از آزادراه دالاس جمع‌آوری شده، آزمایش شده است. نتایج نشان داده است که هر ۳ مدل، عملکرد نسبتاً خوبی برای شرایط نرمال ارائه می‌دهند؛ ولی برای شرایط ازدحام، عملکرد آن‌ها پراکنده و تقریباً نامعتبر است.<sup>[۱۹]</sup>

## ۳. داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از داده‌های ترافیکی انسداد آزادراه رشت - قزوین، که در محدوده‌ی قزوین - لوشان رخ داده، استفاده شده است. این انسداد به طول ۱ کیلومتر و به دلیل تعمیرات تونل برای مدت ۱۰ ساعت بوده است. برای

#### ۴. روش پژوهش

در این پژوهش از روش شبیه‌سازی میکروسکوپی برای برآورد تأخیر استفاده شده است. به این منظور از میان عوامل مؤثر در تأخیر منطقه‌ی عملیاتی نظیر: تعداد خطوط بسته‌شده، طول ناحیه، شیب راه، شرایط روسازی، عرض راه، میزان حجم ورودی به منطقه‌ی عملیاتی، و شرایط محیطی ۲ پارامتر تأثیرگذار طول منطقه‌ی عملیاتی و حجم ورودی به ناحیه‌ی انسداد در برآورد تأخیر منطقه‌ی عملیاتی در نظر گرفته شده است.<sup>[۲۱]</sup> تأخیر زمانی حاصل از انسداد برای حالات مختلفی از طول منطقه و حجم ورودی با استفاده از نرم‌افزار AIMSUN ۶/۱ (شبیه‌ساز ریزبین فعل و انفعالی پیشرفته برای شبکه‌های شهری و غیرشهری) تعیین شده است. در این پژوهش یک آزادراه دوخطه، که خط کندروی آن بسته شده است، در نرم‌افزار شبیه‌ساز مدل و تصویر منطقه‌ی عملیاتی و موقعیت انسداد آن در شکل ۱ ارائه شده است.

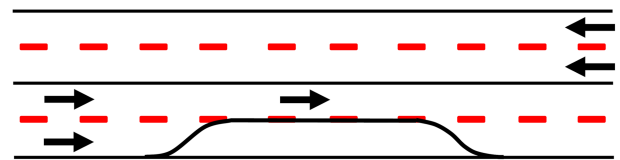
همچنین با توجه به مشاهدات میدانی به دلیل کاهش عرض خط عبوری، شانه‌های جانبی، و واکنش رانندگان، سرعت وسائط نقلیه در نرم‌افزار در ناحیه‌ی عملیاتی به ۲۵ کیلومتر بر ساعت محدود شده است.<sup>[۱۵]</sup> سپس داده‌های میانگین تأخیر زمانی خودرو از نرم‌افزار به دست آمده است. حال با داشتن میزان تأخیر هر خودرو می‌توان کل تأخیر وسائط نقلیه ناشی از انسداد مسیر را تعیین کرد. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی در جدول ۲ ارائه شده است. در این پژوهش محدوده‌ی پارامتر طول منطقه‌ی انسداد از ۲۵ تا ۲۵۰۰ متر و حجم تردد تا ۴۵۰۰ وسیله‌ی نقلیه بر ساعت در نظر گرفته شده است. این مقادیر براساس آنچه به‌طور متداول در مناطق عملیاتی رخ می‌دهد، به‌کار برده شده است. برای ارزیابی داده‌های تأخیر خروجی نیز از معیار زمان سفر استفاده شده است. منطقه‌ی عملیاتی با شرایط ارائه‌شده در مطالعه‌ی میدانی در نرم‌افزار شبیه‌سازی و زمان سفر با شرایط واقعی مقایسه شده است. پس از مقایسه، یک سری نتایج آماری به دست آمده است، که نشان‌دهنده‌ی صحت مقادیر پارامترهای نرم‌افزار AIMSUN است.<sup>[۲۲]</sup> میزان مطابقت شرایط

اعتبارسنجی نرم‌افزار AIMSUN ۶/۱، زمان سفر در حین عبور وسائط نقلیه از منطقه‌ی عملیاتی قزوین - لوشان برای مدت ۱ ساعت ثبت شده است (جدول ۱). همچنین از خروجی نرم‌افزار شبیه‌سازی برای مدل‌سازی تأخیر زمانی استفاده شده است.

برای برآورد هزینه‌های تأخیر کاربران راه از داده‌های میدانی میانگین اشغال وسیله‌ی نقلیه‌ی (AVO)<sup>[۹]</sup> در حال تردد در آزادراه استفاده شده است. به این منظور، در ۳ روز متوالی و به مدت ۶ ساعت به شمارش تعداد مسافران مبادرت و در نهایت، میانگین اشغال خودرو برابر ۲/۸ نفر به ازاء هر وسیله‌ی نقلیه مشخص شده است. همچنین برای برآورد ارزش زمان از روش پرسش‌نامه برای جمع‌آوری داده‌ها در سطح شهر استفاده شده است. اطلاعات ترافیکی آزادراه رشت - قزوین شامل: احجام ماهانه، روزانه، و ساعتی از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌یی دریافت شده است.<sup>[۲۰]</sup> برای دسترسی به آمار انسداد و جزئیات مربوط به آن در مسیر آزادراه از اداره‌ی کل راه و شهرسازی استان گیلان و استان قزوین استعلام گرفته شده است.

جدول ۱. زمان سفر در منطقه‌ی عملیاتی قزوین - لوشان.

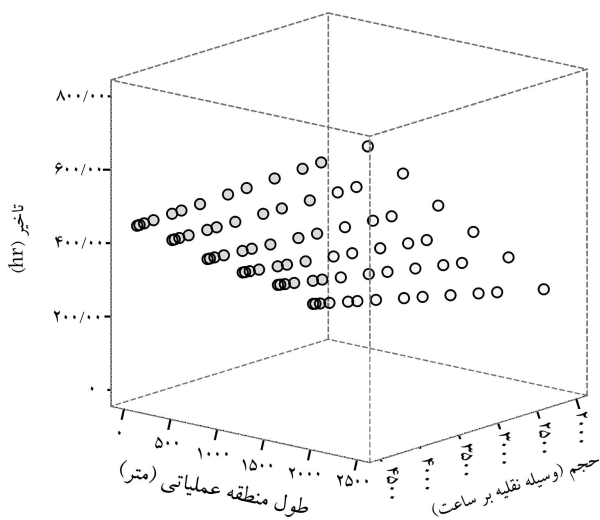
ساعت	زمان سفر (ثانیه)
۱۷:۰۰ - ۱۷:۱۵	۲۵۰
۱۷:۱۵ - ۱۷:۳۰	۱۸۰
۱۷:۳۰ - ۱۷:۴۵	۳۳۰
۱۷:۴۵ - ۱۸:۰۰	۳۷۰



شکل ۱. تصویر منطقه‌ی عملیاتی.

جدول ۲. داده‌های تأخیر (برحسب ساعت) خروجی از نرم‌افزار Aimsun.

طول منطقه‌ی عملیاتی (متر)	حجم وسیله نقلیه (وسيله نقلیه بر ساعت)									
	۴۵۰	۹۰۰	۱۳۵۰	۱۸۰۰	۲۲۵۰	۲۷۰۰	۳۱۵۰	۳۶۰۰	۴۰۵۰	۴۵۰۰
۲۵	۰٫۴۰	۱٫۰۲	۲٫۱۹	۱۲٫۴۸	۸۶٫۶۴	۱۶۷٫۸۹	۲۳۱٫۴۶	۲۹۷٫۵۳	۳۷۸٫۹۶	۴۴۷٫۳۱
۵۰	۰٫۷۶	۱٫۴۷	۳٫۲۶	۱۳٫۹	۸۸٫۴۲	۱۷۰٫۰۲	۲۳۳٫۹۶	۳۰۰٫۳۸	۳۸۲٫۱۶	۴۵۰٫۸۸
۱۰۰	۱٫۴۷	۲٫۹	۵٫۴	۱۶٫۷۵	۹۱٫۹۹	۱۷۴٫۳	۲۳۸٫۹۴	۳۰۶٫۰۸	۳۸۸٫۵۸	۴۵۸
۲۰۰	۲٫۹	۵٫۷۵	۹٫۶۸	۲۲٫۴۵	۹۹٫۱۱	۱۸۲٫۸۵	۲۴۸٫۹۲	۳۱۷٫۴۸	۴۰۱٫۴	۴۷۲٫۲۵
۴۰۰	۵٫۷۵	۱۱٫۴۵	۱۸٫۲۳	۳۳٫۸۵	۱۱۳٫۳۶	۱۹۹٫۹۵	۲۶۸٫۸۷	۳۴۰٫۲۸	۴۲۷٫۰۵	۵۰۰٫۷۵
۵۰۰	۷٫۱۷	۱۴٫۳	۲۲٫۵	۳۹٫۵۵	۱۲۰٫۴۹	۲۰۸٫۵	۲۷۸٫۸۴	۳۵۱٫۶۸	۴۳۹٫۸۸	۵۱۵
۷۰۰	۱۰٫۰۲	۲۰	۳۱٫۰۵	۵۰٫۹۵	۱۳۴٫۷۴	۲۲۵٫۶	۲۹۸٫۸	۳۷۴٫۴۸	۴۶۵٫۵۲	۵۴۳٫۵
۱۰۰۰	۱۴٫۳	۲۸٫۵۵	۴۳٫۸۸	۶۸٫۰۵	۱۵۶٫۱۱	۲۵۱٫۲۵	۳۲۸٫۷۲	۴۰۸٫۶۸	۵۰۴	۵۸۶٫۲۵
۱۲۰۰	۱۷٫۱۵	۳۴٫۲۵	۵۲٫۴۲	۷۹٫۴۵	۱۷۰٫۳۶	۲۶۸٫۳۵	۳۴۸٫۶۷	۴۳۱٫۴۸	۵۲۹٫۶۵	۶۱۴٫۷۵
۱۵۰۰	۲۱٫۴۲	۴۲٫۸	۶۵٫۲۵	۹۶٫۵۵	۱۹۱٫۷۴	۲۹۴	۳۷۸٫۶	۴۶۵٫۶۸	۵۶۸٫۱۲	۶۵۷٫۵
۱۸۰۰	۲۵٫۷	۵۱٫۳۵	۷۸٫۰۸	۱۱۳٫۶۵	۲۱۳٫۱۱	۳۱۹٫۶۵	۴۰۸٫۵۲	۴۹۹٫۸۸	۶۰۶٫۶	۷۰۰٫۲۵
۲۰۰۰	۲۸٫۵۵	۵۷٫۰۵	۸۶٫۶۲	۱۲۵٫۰۵	۲۲۷٫۳۶	۳۳۶٫۷۵	۴۲۸٫۴۷	۵۲۲٫۶۸	۶۳۲٫۲۵	۷۲۸٫۷۵
۲۵۰۰	۳۵٫۶۷	۷۱٫۳	۱۰۸	۱۵۳٫۵۵	۲۶۲٫۹۹	۳۷۹٫۵	۴۷۸٫۳۴	۵۷۹٫۶۸	۶۹۶٫۳۸	۸۰۰



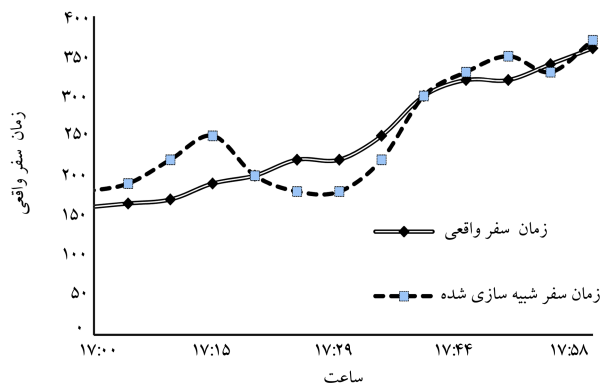
شکل ۴. توزیع داده‌های تأخیر  $V > 1800$  pcu/hr

### ۵. برآورد هزینه‌ی تأخیر کاربران

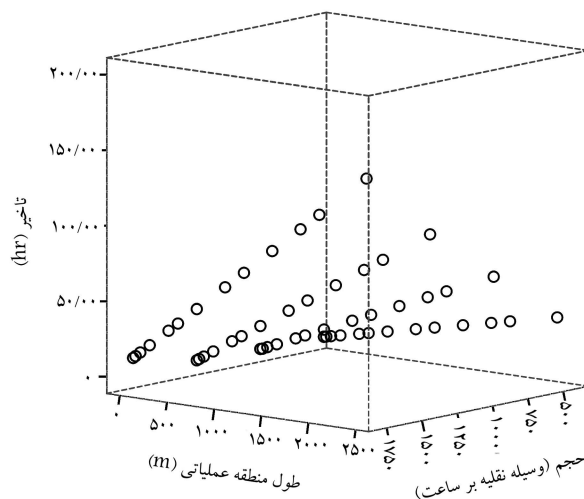
در این بخش با توجه به مدل ارائه‌شده، به برآورد هزینه‌ی تأخیر کاربران راه ناشی از منطقه‌ی عملیاتی در آزادراه رشت - قزوین پرداخته شده است. به این منظور باید ابتدا ارزش زمان مسافران محاسبه شود. زمانی که در سفر و در یک وسیله‌ی نقلیه صرف می‌شود، مانند کالاها و خدمات، دارای یک منبع با ارزش اقتصادی است. ارزش پولی زمان براساس مفاهیمی است که اگر این زمان در مسافرت سپری نمی‌شد، در فعالیت‌های تولیدی صرف می‌شد. ارزش زمان سفر در هر منطقه با توجه به شرایط منطقه و ویژگی‌ها و تمایلات مردم آن منطقه متفاوت بوده است، که با گذشت زمان و تغییر در شرایط موجود، ارزش زمان نیز تغییر خواهد کرد.<sup>[۲۵]</sup> در این پژوهش برای برآورد ارزش زمان از روش تقدم اظهاری<sup>۱</sup> استفاده شده است، در این روش مهم‌ترین گام ساخت مدل مطلوبیت به فرم رابطه‌ی ۲ است:

$$U = -\alpha_t t - \alpha_c C + \varepsilon \quad (2)$$

که در آن،  $\varepsilon$  قسمت تصادفی و بیان‌گر میزان خطای مدل،  $-\alpha_t t - \alpha_c C$  بیان‌گر قسمت سیستماتیک رابطه،  $C$  نشان‌گر نقش هزینه، و  $t$  بیان‌گر نقش زمان سفر در تابع مطلوبیت است. بنابراین با استفاده از پایگاه داده‌ها که متشکل از ۷۸۸ نمونه‌ی قابل استناد است، مقادیر  $\Delta C$  و  $\Delta t$  که تفاضل هزینه‌ها و زمان‌ها برای دو مدل حمل و نقلی تاکسی و اتوبوس است، محاسبه شده است. برای ساخت تابع مطلوبیت عام باید به  $U$  مقادیر دودویی (binary) تخصیص داده شود، به نحوی که اگر افراد مد تاکسی را انتخاب کرده باشند، به  $U$  مقدار ۱ و اگر مد اتوبوس را انتخاب کرده باشند، مقدار صفر تخصیص داده شود.<sup>[۲۶]</sup> سپس در نرم‌افزار EVIEWSY با استفاده از روش بهینه‌سازی Likelihood (روشی که برای برآوردکردن پارامترهای یک مدل آماری استفاده می‌شود. وقتی عملیاتی بر مجموعه‌ی داده‌ها 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 Binary Logic و شیوه‌ی Hill Climbing Quadratic (الگوریتم تپه‌نوردی، الگوریتمی است که برای یافتن بهترین پاسخ یک مسئله یا برای پیداکردن پاسخی از مسئله که به اندازه‌ی کافی مناسب و بهینه باشد، استفاده می‌شود) ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  تعیین شده است.<sup>[۲۷]</sup> با استفاده از خروجی نرم‌افزار



شکل ۲. مقایسه‌ی زمان سفر واقعی و شبیه‌سازی شده.



شکل ۳. توزیع داده‌های تأخیر  $V < 1800$  pcu/hr

شبیه‌سازی و واقعی در شکل ۲ نشان داده شده است:

$$R^2 = 0.817, \quad RMSP = 0.143, \quad U_m = 0.45,$$

$$U_s = 0.000, \quad U_c = 1.039,$$

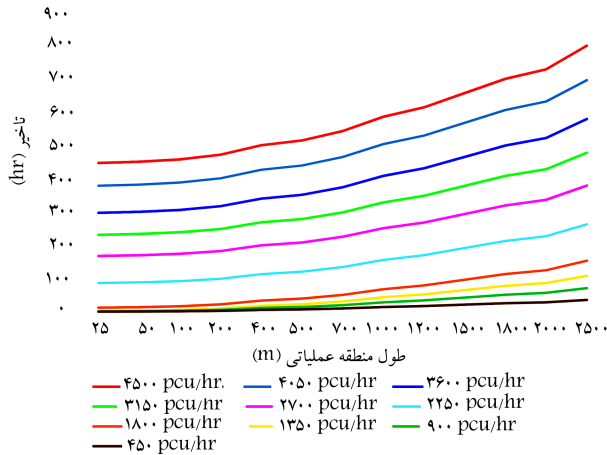
یکی از گام‌های مهم در انجام یک مدل‌سازی مناسب و قابل قبول انتخاب نوع برازش و فرم مدل موردنظر آن است. در این پژوهش ابتدا داده‌های حاصل از نرم‌افزار شبیه‌ساز در نرم‌افزار SPSS۲۱ وارد شده است. سپس انواع مختلف از رگرسیون‌های خطی چندگانه، نمایی، لگاریتمی، حاصل‌ضربی، درجه ۲ و درجه ۳، و... مورد آزمون قرار گرفته است، تا بتوان بهترین مدل را ارائه کرد.<sup>[۲۳]</sup>

پس از انجام رگرسیون برای داده‌های موردنظر مشخص شده است که رفتار داده‌های تأخیر برای حجم کمتر از  $1800$  و بیشتر از آن با هم متفاوت است. بنابراین دو مدل برای برآورد تأخیر زمانی در نظر گرفته شده است. نحوه‌ی توزیع این داده‌ها در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. در نهایت، مدل بهینه برای برآورد تأخیر زمانی منطقه‌ی عملیاتی به صورت رابطه‌ی ۱ و به فرم غیرخطی چندگانه در نظر گرفته شده است، که با توجه به مطالعات پیشین انجام‌شده در این زمینه، که به فرم خطی چندگانه است، تطابق بیشتری را نشان می‌دهد.<sup>[۲۴]</sup>

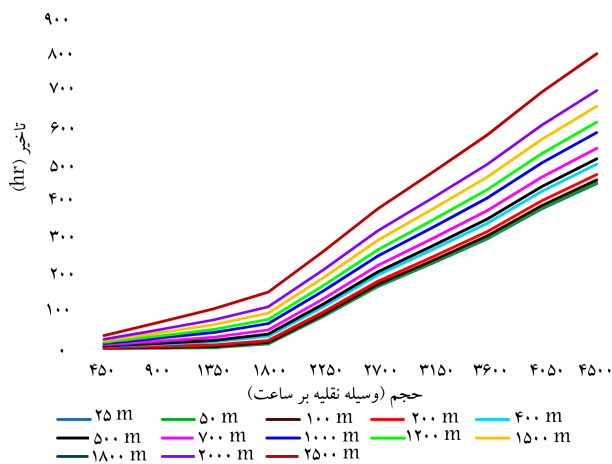
$$\text{Delay} = b_1 + (b_2 \times \text{volume} + b_3 \times \text{length}) \times \psi^{b_4 \times \text{volume} + b_5 \times \text{length}} \quad (1)$$

## ۶. بحث

حال می‌توان با توجه به نتایج تأخیر ناشی از شبیه‌سازی به بررسی اثرات متغیرهای مستقل (طول منطقه‌ی عملیاتی و حجم ورودی به ناحیه‌ی انسداد) دست یافت. نحوه‌ی تغییرات تأخیر زمانی در برابر هر یک از پارامترها به طور جداگانه در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان نرخ افزایش زمان تأخیر به



شکل ۵. نمودار تأخیر - طول منطقه‌ی عملیاتی.



شکل ۶. نمودار تأخیر - حجم ورودی به ناحیه‌ی انسداد.

مقدار  $\alpha$  برابر  $0.53484$  و مقدار  $\beta$  برابر  $0.100145$  حاصل شده است. بنابراین ارزش زمان، که نسبت  $\alpha/\beta$  است، به صورت رابطه‌ی ۳ تعیین می‌شود:

$$VOT_{RP} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{0.53484}{0.100145} = 368.8 \quad (3)$$

ریال بر دقیقه. حال با توجه به پارامترهای کنترلی ارائه شده توسط نرم‌افزار می‌توان به راحتی اعتبار مدل را تأیید کرد. بر طبق پارامتر احتمال (Prob)، احتمال رد هر یک از پارامترهای  $dc$  و  $dt$  تقریباً صفر است و نیز عدد کوچک پارامتر Log Likelihood، نیز مؤید مطلوب بودن مدل است.

همچنین به منظور اطمینان از نتایج نمونه‌های گردآوری شده، از روش تولید - محور<sup>۱۱</sup> نیز استفاده شده است. براساس داده‌های بانک مرکزی متوسط درآمد ناخالص سالانه‌ی یک خانوار در استان گیلان در سال ۸۹ برابر با  $123515516$  ریال است. با توجه به تغییر درآمد خانوار در هر سال، درصد تغییر متوسط درآمد خانوار از سال ۸۹ تا ۹۲،  $16.1\%$  در نظر گرفته شده است، که در واقع براساس میانگین تغییر درصد درآمد ۵ سال قبل آن (از سال ۸۴ تا سال ۸۹) است.<sup>[۲۸]</sup> براساس اطلاعات بانک مرکزی، متوسط تعداد افراد خانوار برای خانواده‌ی با درآمد ذکر شده در استان گیلان برابر  $3.7$  نفر و ساعت کاری هر نفر برابر ۸ ساعت در روز در نظر گرفته شده است. بنابراین ارزش زمان به روش تولید محور به شرح رابطه‌ی ۴ است:

$$VOT_{PBM} = \frac{S}{T \times 12 \times D} = 342/15 \quad (4)$$

ریال بر دقیقه. 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 مذکور می‌توان به مطلوب بودن نتایج حاصل پی برد. سپس با استفاده از اطلاعات کامل از زمان و نوع انسداد، که به کمک داده‌های سازمان راهداری گیلان و قزوین در جدول ۳ شرح داده شده است، اطلاعات حجم ترافیک در ساعات مورد نظر تعیین و با قراردادن داده‌های طول منطقه‌ی عملیاتی و حجم، میزان تأخیر وسائط نقلیه در مدل تأخیر وسائط نقلیه محاسبه و میزان زمان تلف شده برآورد شده است. این تذکر لازم است که مدل ارائه شده‌ی مذکور، تأخیر کل وسائط نقلیه را برآورد می‌کند. بنابراین برای تعیین مقدار تأخیر مسافران باید میزان تأخیر وسائط نقلیه را در میانگین اشغال خودرو ضرب کرد و در گام نهایی برای برآورد هزینه‌ی کاربران راه ناشی از منطقه‌ی عملیاتی کافی است میزان تأخیر مسافران در ارزش زمان ضرب شود. روند برآورد هزینه‌ی تأخیر کاربران راه ناشی از منطقه‌ی عملیاتی را می‌توان در رابطه‌ی ۵ خلاصه کرد.

جدول ۳. داده‌های انسداد آزادراه رشت - قزوین در دوره‌ی یک ساله.

نام محور	قزوین - لوشان (۱)	قزوین - لوشان (۲)	رودبار - منجیل	لوشان - قزوین
از کیلومتر تا	۵۲۷۰۰	۵۵۷۰۰	۸۷۰۰	۱۸۰۰۰
تا کیلومتر	۵۲۷۳۵	۵۶۷۰۰	۹۷۰۰	۱۸۷۲۵
نوع انسداد	از پیش تعیین شده	از پیش تعیین نشده	از پیش تعیین نشده	از پیش تعیین شده
شرایط انسداد	عملیات راهداری	ریزش کوه	طغیان رودخانه	عملیات راهداری
نوع عملیات	تعمیرات تونل	-	-	تعمیرات پل
از تاریخ	۹۲/۱۰/۱۷	۹۲/۱۰/۱۵	۹۲/۰۳/۰۳	۹۲/۰۴/۰۳
تا تاریخ	۹۲/۱۰/۱۹	۹۲/۱۰/۱۵	۹۲/۰۳/۰۳	۹۲/۰۴/۱۵
از ساعت	۰۸:۰۰	۰۷:۰۰	۰۴:۰۰	۰۸:۰۰
تا ساعت	۱۵:۰۰	۱۷:۰۰	۱۰:۰۰	۱۷:۰۰

بر کاربران از مقدار مشخصی تجاوز نکند. حال با استفاده از این حجم، می توان زمان شروع پروژه برای روزها و ساعاتی که حجم ترافیکی کمتر از حجم بیشینه باشد، را انتخاب کرد. مطابق شکل ۷، با افزایش محدودیت تأخیر، میزان سطح نمودار کاهش می یابد و حجم وسائط نقلیه قابل تردد در منطقه عملیاتی کم می شود.

در گام نهایی با استفاده از رگرسیون غیرخطی چندگانه، به ارائه مدل مناسب برای برآورد تأخیر اقدام شده است. برای تأیید و تصدیق مدل از جدول ANOVA، از داده های خروجی نرم افزار SPSS ۲۱ استفاده شده است. در جدول مذکور پارامترهای مجموع مربعات اصلاح شده و مانده ها، مربوط به مدل رگرسیون موجود است. با استفاده از رابطه ۶، شاخص همبستگی  $R^2$  تعیین می شود. این شاخص مهم ترین معیار در میزان نزدیکی مدل مورد نظر با داده های موجود است.

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\text{مجموع مربعات مانده ها}}{\text{مجموع مربعات اصلاح شده}} \right) \quad (6)$$

دو مدل تأخیر زمانی منطقه عملیاتی برای دو محدوده مختلف برای آزادراه های دوخطه و میزان شاخص همبستگی آن در رابطه های ۷ و ۸ ارائه شده است. در این مدل ها: Delay مجموع تأخیر زمانی کلیه وسائط نقلیه (ساعت)،  $L$  طول منطقه عملیاتی (متر)،  $V$  و حجم وسائط نقلیه ورودی به منطقه عملیاتی (وسيله نقلیه بر ساعت) است.

-- مدل تأخیر زمانی منطقه عملیاتی در محدوده  $V \leq 1800$ :

$$\text{Delay} = (0.000097769V + 0.010888L) \times \varphi(0.00013294V + 0.00013762L) \quad (7)$$

$$R^2 = 0.994$$

-- مدل تأخیر زمانی منطقه عملیاتی در محدوده  $1800 < V \leq 4500$ :

$$\text{Delay} = -275.11 + (0.16381V - 0.00015068L) \times \varphi(-0.00004670V + 0.00023272L) \quad (8)$$

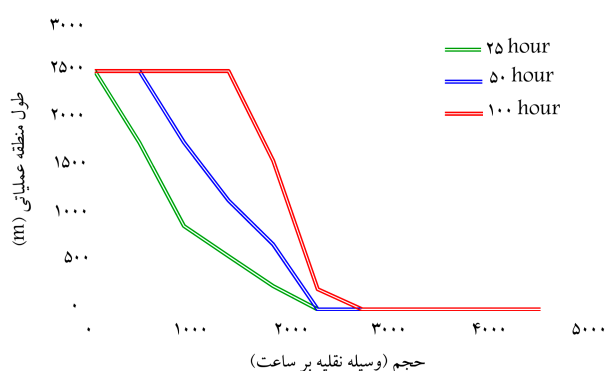
$$R^2 = 0.999$$

با بررسی نتایج تأخیر حاصل از مطالعه موردی و با توجه به جدول ۴، بیشترین میانگین نرخ تأخیر مربوط به انسدادهای مسیر در حالت ناگهانی و از پیش تعیین نشده است. این نوع انسداد که معمولاً به دلیل سوانح طبیعی و مواردی مشابه به سازمان

میزان حجم ورودی، نسبت به طول منطقه عملیاتی حساسیت بیشتری دارد. میزان افزایش تأخیر به ازاء هر  $100$  وسیله نقلیه بر ساعت به طور میانگین حدود  $12$  ساعت برای کل خودروهاست. در حالی که با افزایش طول منطقه عملیاتی به مقدار  $100$  متر، تأخیر در بیشترین حالت حدود  $87.5$  ساعت افزایش می یابد. در هنگام شبیه سازی نرم افزاری با استفاده از ابزارهای جانبی نرم افزار، یک شمارنده ترافیکی در داخل منطقه عملیاتی در نظر گرفته شده است. این شمارنده مقدار ظرفیت منطقه عملیاتی را برای شرایط ایران برابر با  $1700$  وسیله نقلیه بر ساعت ثبت کرده است، که با پژوهش های ظرفیت منطقه عملیاتی که توسط مرز و همکاران ( $2000$ ) انجام شده است،<sup>[۲۹]</sup> مطابقت نسبی دارد. بنابراین افزایش ناگهانی تأخیر زمانی در حجم بیش از  $1800$  وسیله نقلیه بر ساعت را می توان ناشی از ورود بیش از حد خودروها به ناحیه انسداد و ایجاد صف دانست.

$$\text{خروجی مجموع تأخیر وسائط نقلیه از مدل} = \text{هزینه تأخیر کاربران راه} \times (\text{ارزش زمان}) \times (\text{ضریب اشغال خودرو}) \times (5)$$

یکی از پارامترهای مهم در مدیریت منطقه عملیاتی انتخاب زمان مناسب انسداد مسیر است تا کمترین اختلال ترافیکی و تأخیر زمانی در آزادراه به وجود آید. نمودار طول منطقه عملیاتی - حجم ورودی با استفاده از داده های شبیه سازی برای حدود  $25$ ،  $50$  و  $100$  ساعت تأخیر در شکل ۷ نشان داده شده است. مجموعه زوج مرتب هایی (طول منطقه، حجم ورودی) که در زیر مرز هر یک از حدود قرار می گیرند، تأخیر کمتر از آن محدوده دارند. این نمودار می تواند شاخص و معیار مناسبی برای نحوه انتخاب راهبرد در زمان شروع پروژه در منطقه عملیاتی قرار گیرد، به طوری که با دانستن طول منطقه عملیاتی، بیشینه حجم وسیله نقلیه عبوری را نشان می دهد، با شرط اینکه میزان کل تأخیر متحمل شده



شکل ۷. نمودار طول منطقه عملیاتی - حجم ورودی.

جدول ۴. هزینه تأخیر حاصل از انسداد راه به کاربران در آزادراه رشت - قزوین.

انسداده	نوع انسداده	مدت زمان انسداده (ساعت)	میانگین تأخیر به ازاء هر ساعت انسداده یک کیلومتری	ارزش زمان هر ساعت مسافران (ساعت/ریال)	هزینه تأخیر حاصل از انسداده (میلیون ریال)
قزوین - لوشان (۱)	از پیش تعیین شده	۵۸	۱۴,۱۵	۲۲۱۳۰	۱۷,۷۸۳
قزوین - لوشان (۲)	از پیش تعیین نشده	۱۱	۲۱,۷۳	۲۲۱۳۰	۱۴,۷۹۱
رودبار - منجیل	از پیش تعیین نشده	۷	۲۴,۴۷	۲۲۱۳۰	۱۰,۶۰۱
لوشان - قزوین	از پیش تعیین شده	۱۱۰۳	۱۶,۶۹	۲۲۱۳۰	۷۰,۷۶۷

## ۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش با انجام شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار Aimsun تأخیر زمانی ناشی از انسداد یک خط آزادراه برآورد و با بررسی نتایج حاصل از آن مشخص شده است که حجم ورودی به ناحیه‌ی انسداد نسبت به طول منطقه‌ی عملیاتی در ایجاد تأخیر برای وسائط نقلیه نقش بیشتری دارد و با افزایش حجم ورودی، تأخیر زمانی حاصل به شدت افزایش می‌یابد. در این نوشتار ظرفیت منطقه‌ی عملیاتی با توجه به کاهش عرض و شانه‌های جانبی،  $1700$  وسیله‌ی نقلیه بر ساعت برای یک خط عبور معین شده است. پس از انجام شبیه‌سازی فوق، با استفاده از نرم‌افزار SPSS ۲۱ برآزش غیرخطی چندگانه برای داده‌های موجود انجام و مدل تأخیر زمانی در دو محدوده‌ی حجمی مختلف ارائه شده است. در نهایت به برآورد هزینه‌های تأخیر کاربران راه در آزادراه رشت - قزوین در سال ۹۲ اقدام و مشخص شده است که هزینه‌های تأخیر برای انسدادهای از پیش تعیین نشده به مراتب بیشتر از انسدادهای از پیش تعیین شده است.

تحلیل می‌شود، ارائه‌ی سناریوهای مختلف (از جمله انتخاب زمان شروع پروژه) را برای مدیریت منطقه مختل می‌کند. برای مثال پروژه‌ی انسداد رودبار - منجیل با اینکه فقط یک انسداد ۷ ساعته بوده است، ولی نرخ میانگین تأخیر به مراتب بالاتری نسبت به پروژه‌ی انسداد لوشان - قزوین  $1103$  ساعته دارد. یکی از دلایل مهم چنین تأخیر کمی در منطقه‌ی عملیاتی را می‌توان انتخاب مناسب زمان شروع پروژه‌ی منطقه‌ی عملیاتی برای انسدادهای از پیش تعیین شده دانست. با بررسی شرایط زمان انسداد می‌توان دریافت که با اینکه این پروژه ۱۲ روز به طول انجامیده است، ولی در یکی از بهترین زمان‌های ممکن که میزان سفر در این کریدور به میزان کمیته بوده و شرایط آب و هوایی مساعدی برای فعالیت‌های بهسازی وجود داشته است، انجام شده است. در ضمن هزینه‌ی کل تأخیر متحمل شده بر کاربران راه حدود ۱۱۴ میلیون ریال است، که نسبت به هزینه‌های اجرای پروژه‌های منطقه‌ی عملیاتی رقم به مراتب کمتری است. به همین دلیل ارائه‌ی راهکارهای هزینه‌بر مانند احداث راه انحرافی و انجام هزینه‌های اضافی برای شتاب پروژه و کاهش تأخیر کاربران پیشنهاد نمی‌شود.

## پانویس‌ها

1. national highway traffic safety administration
2. shock wave
3. freeway simulation
4. queue and user cost evaluation of work zone
5. corridor simulation
6. parallel microscopic simulation
7. visual traffic simulation
8. advanced interactive microscopic simulator for and non-urban networks
9. average vehicle occupancy
10. revealed preferences
11. production-based method (PBM)

## منابع (References)

1. Reilly, W., *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Transportation Research Board (2000).
2. Schonfeld, P., Yang, N. and Tien, S-L., Optimization of Work Zone Decisions through Simulation, State Highway Administration Research Report, Final Report, University of Maryland, Department of Civil and Environmental Engineering, p.139 (July 2006). Schonfeld, P. and Shin-Lai Tien, N.Y., *Optimization of Work Zone Decisions through Simulation*, State Highway Administration Research Report, 139 p. (July 2006).
3. *Work Zone Transportation Management Plans*, Bureau of Design and Environment Manual, Chapter Thirteen (September 2010).
4. 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).
5. 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 (2011).
6. Kim, T., Lovell, D.J. and Paracha, J. "A new methodology to estimate capacity for freeway work zones", in Transportation Research Board Annual Meeting CD-ROM (2001).
7. Rajasakran, R. "AIMSUN micro-simulation-a practical application: Micro-simulation of the N1 freeway", in *27th Southern African Transport Conference (SATC 2008)*, Pretoria, South Africa (2008).
8. Chien, S.I.J. and et al. "Simulation-based estimates of delays at freeway work zones", *Journal of Advanced Transportation*, **36**(2), pp. 131-156 (2002).
9. Weng, J. and Meng, Q. "Estimating capacity and traffic delay in work zones: An overview", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, **35**, pp. 34-45 (2013).
10. Jiang, X. and Adeli, H. "Freeway work zone traffic delay and cost optimization model", *Journal of Transportation Engineering*, **129**(3), pp. 230-241 (2003).
11. Schonfeld, P.M. and Chien, I.J. "Optimal work zone length for two-lane highways", *Journal of Transportation Engineering*, **125**(1), pp. 21-29 (1999).
12. Meng, Q. and Weng, J. "Optimal subwork zone operational strategy for short-term work zone projects in four-lane two-way freeways", *Journal of Advanced Transportation*, **47**, pp. 151-169 (2013).
13. Tang, Y. and Chien, S. "Scheduling work zones for highway maintenance projects considering a discrete

- time-cost relation", *Transportation Research Record*, **2055**(03), pp. 21-30 (2008).
14. Schonfeld, P.M., Yang, N. and Tien, S., *Optimization of Work Zone Decisions through Simulation*, State Highway Administration Research Report, Research Project: SP508B4C (September 2006).
  15. Maze, T. and Kamyab, A. "Work zone simulation model", Iowa State University, Center for Transportation Research and Education, 45 p. (1991).
  16. Choa, F., Milam, R.T. and Stanek, D. "Corsim, paramics, and vissim: What the manuals never told you", in *9th TRB Conference on the Application of Transportation Planning Methods* (2004).
  17. Chien, S.I., Goulias, D.G., Yahalom, S. and Chowdhury, S.M. "Simulation-based estimates of delays at freeway work zones", *Journal of Advanced Transportation*, **36**(2), pp. 131-156 (2002).
  18. Yang, N., Schonfeld, P. and Kang, M.W. "A hybrid methodology for freeway work-zone optimization with time constraints", *Public Works Management & Policy*, **13**(3), pp. 253-364 (Jun. 2009).
  19. Crowther, B.C. "A comparison of corsim and integration for the modeling of stationary bottlenecks", Thesis Submitted to the Faculty University in partial of the Virginia Polytechnic Institute and State Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Civil and Environmental Engineering (2001).
  20. Road Maintenance And Transportation Organization, <http://www.rmtto.com>.
  21. Benekohal, R.F., Ramezani, H. and Avrenli, K.A., *Queue And User's Costs In Highway Work Zones*, University of Illinois at Urbana Champaign, Report No.FHWA-ICT-10-075 (Sep. 2010).
  22. Hourdakis, J., Michalopoulos, G. and Kottommannil, J. "A practical procedure for calibrating microscopic traffic simulation models", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, **1852**, pp. 130-139 (Jun 2003).
  23. Rameshe, Z. and Afshanei, A. "SPSS20 Application Guidance", Second Edition, Bisheh publishment, (2010).
  24. Saffarzade, M. and Salimifar S. "Evaluation vehicle delay time and queue length due to work zone in roads".
  25. Whitney Dahlke, D., *The Value of Travel-Time: Estimates of the Hourly Value of Time for Vehicles in Oregon, 2011*, Oregon Department of Transportation (2012).
  26. Nerhagen, L. "Mode choice behavior, travel mode choice models and value of time estimation", A Literature Review, T&S Dalarna University, Borlange (2000).
  27. Mehregan, N. and Rezaei, R., *Eviews 7 User's Guide in Econometrics*, Tehran: Faculty of Economics and Noor Elm. (2011).
  28. Central Bank of The Islamic Republic of Iran, *Household Expenditure Statistics* (2010).
  29. Maze, T., Schrock, S.D. and Kamyab, A. "Capacity of freeway work zone lane closures", *Mid-Continent Transportation Symposium 2000 Proceedings*, pp. 178-183 (2000).