«مجله علمی تخصصی علوم و فنون سازندگی»

سال سوم ، شماره۱، فصل بهار ۱۴۰۱؛ صفحه ۲۷ الی ۴۰

علمی – تخصصی

بهبود عملکرد تقاطع‌های غیرهمسطح با بهبود کارایی تقاطع‌های مجاور؛ مطالعه موردی میدان آزادی شهر کرمان

معین عسکری[۱*]، سامان سنجری [۲]

۱- دکترای تخصصی (دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

۲- کارشناسی ارشد(دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان)

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳)

چکیده

این مقاله به دنبال بهبود وضعیت ترافیکی یکی از میدان‌های شهر کرمان، است. در این مقاله در ابتدا شدت ترافیک در روزها و ساعت‌های متوالی موردبررسی قرارگرفته و گره ترافیکی آن با استفاده از معیارهای بصری استخراج‌شده است. گره ترافیکی استخراج‌شده یکی از تقاطعات مجاور میدان بوده است که باعث پس‌زدگی ترافیک به سمت میدان و عدم استفاده از زیرگذر احداث‌شده در میدان می‌شود. در این مطالعه در ابتدا به آیین‌نامه‌هایی برای بهبود وضعیت کلی این تقاطع اشاره می‌شود و در مرحله بعد برای بهبود این تقاطع خاص از شبیه‌سازی ترافیکی استفاده می‌گردد. برای انجام شبیه‌سازی به داده خام حجم ترافیک عبوری از این تقاطع نیاز بود که این کار با استفاده از چند نفر و با استفاده از چند دوربین فیلم‌برداری برداشت گردید. بعد از برداشت این داده با استفاده از دوربین‌های فیلم‌برداری، اطلاعات موردنیاز با استفاده از بازبینی این فیلم‌ها استخراج گردید. در مرحله بعد با استفاده از شبیه‌سازی ۵ راهکار برای بهبود وضعیت این تقاطع پیشنهاد گردید که توانست پارمترهای ترافیکی این تقاطع را بهبود دهد که ازجمله آن می‌توان به کاهش تأخیر به یک‌سوم مقدار گزینه عدم انجام کار اشاره نمود. در این مطالعه همچنین پیشامدهای اقتصادی این گزینه‌ها موردبررسی قرار گرفت که نشان‌دهنده بهبود ۳۹ درصدی هزینه تحمیل‌شده با تقاطع غیرهمسطح نسبت به وضع موجود بود.

کلیدواژه‌ها: مدیریت شهری، مدیریت عرضه، گره ترافیکی، شبیه‌سازی ترافیک، برداشت داده

۱. مقدمه

امروزه حضور خودروها در شهرها نیازمند زیرساخت‌هایی در این بخش می‌باشد، ولی زیرساخت‌های کنونی تا حدی پاسخگوی نیاز جامعه بوده و در بخش‌هایی تقاضا از عرضه سبقت‌گرفته است. این مسئله در شبکه حمل‌ونقل باعث به وجود آمدن تراکم ترافیک شده است که این موضوع به اقتصاد کشور ضربه وارد می‌کند. از اثرات نامطلوب تراکم ترافیک به‌طور خاص می‌توان به مشکلات محیط زیستی، فشارهای روانی، افزایش مصرف سوخت، افزایش زمان سفر و غیره اشاره کرد. امروزه مشکل ترافیک به‌صورت کلاف پیچیده و سردرگمی درآمده است که ارائه راهکارهایی جهت تقلیل یا رفع معضلات ناشی از آن جز بر پایه مطالعه و تحقیق میسر نمی‌باشد.در راستای بهبود جریان ترافیک، شناسایی نقاط تأثیرگذار بسیار مهم بوده و باعث افزایش کارایی کل سیستم می‌شود. مهم‌ترین نقاط تأثیرگذار بر جریان ترافیک، گره‌های ترافیکی می‌باشند. بروز گره-های ترافیکی همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات جریان ترافیکی شناخته می‌شود که شناسایی این گره‌های ترافیکی و رفع آن‌ها همواره یکی از مهم‌ترین دغدغه مهندسان ترافیک و مسئولان می‌باشد. برای شناسایی هر گره ترافیکی روش‌های کیفی و کمی بسیاری وجود دارد که از این جمله می‌توان به استفاده از معیارهای بصری و معیارهای ترافیکی اشاره کرد[۲-۱].هدف از این مطالعه پیدا کردن راه‌حل مناسب برای بهبود وضعیت ترافیکی میدان آزادی شهر کرمان است. در این پژوهش برای اختصار و به دلیل

* نویسنده مسئول: moeinaskari2013@gmail.com

واضح بودن تا حد ممکن از اشاره به متن آیین‌ها اجتناب شده است و سعی شده است که مقطع موردنظر با استفاده از شبیه‌سازی موردبررسی قرارگیرد. میدان آزادی مرکز اقتصادی و حمل‌ونقلی این شهر محسوب شده و هرروزه افراد و وسایل نقلیه زیادی از این محدوده عبور می‌کنند. با توجه به موارد گفته‌شده، هر اقدام حمل‌ونقلی می‌تواند تأثیر به سزایی در وضعیت حمل‌ونقلی و اقتصادی این شهر گذارد. در طول زمان با تجمیع این ضررهای کوتاه‌مدت، ضرر یا سودهای هنگفتی به مردم این شهر ناشی از تغییر در زمان سفر، آلودگی هوا، مصرف سوخت و غیره تحمیل می‌شود که این موارد اهمیت انتخاب این محدوده شهر را به‌عنوان این مطالعه به این صورت است که در بخش دوم، مطالعات مرتبط با این پژوهش را موردبررسی قرارداده و در انتها به ویژگی‌های مثبت این مطالعه نسبت به دیگر مطالعات انجام‌شده تاکنون اشاره می‌کند. بخش سوم پژوهش به بررسی روش تحقیق پرداخته و در بخش چهارم جمع‌آوری اطلاعات و ویژگی‌های اطلاعات استخراج‌شده موردبررسی قرار می‌گیرد. بخش پنجم این پژوهش به شبیه‌سازی و نتایج آن اشاره می‌کند و در بخش آخر به نتیجه-گیری کل مطالعه می‌پردازد.

۲. مرور ادبیات

به‌طورکلی مشکل گره ترافیکی در بیشتر موارد با استفاده از تئوری صف موردبررسی قرار می‌گیرد. در این تئوری نرخ ورودی با نرخ خروجی مقایسه و تصمیمات مقتضی گرفته می‌شود[۷-۳]. به‌طورکلی چندین راه‌حل برای بهبود گره‌های ترافیکی در مطالعات پیشین پیشنهاد شده است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از ۱) استفاده از دوربرگردان به‌جای گردش‌به‌چپ، ۲) کاهش پارک حاشیه‌ای در محدوده تقاطع هم‌سطح، ۳) بهبود وضعیت عابریم در گره‌های ترافیک، که در ادامه به‌طور خلاصه موردبررسی قرار می‌گیرند. در ابتدا استفاده از دوربرگردان به‌جای حرکات گردش‌به‌چپ موردبررسی قرار می‌گیرد که دارای دو هدف کاهش تأخیر حرکات مستقیم و کاهش نقاط برخورد است. [۸] در پژوهش خود سه نوع تقاطع بدون چراغ، چراغ‌دار هوشمند و دوربرگردان جایگزین گردش به چپ را با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز Aimsun موردبررسی قراردادند و به این نتیجه رسیدند که در احجام ترافیک مسیر اصلی بالای ۲۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت، اگر درصد گردش‌به‌چپ بین ۵-۱۵ درصد تردد باشد، استفاده از دوربرگردان جایگزین گردش‌به‌چپ در مسیر اصلی اولویت دارد و اگر حجم گردش‌به‌چپ بین ۲۵-۳۵ درصد باشد، چراغ هوشمند برتری می‌یابد.همچنین در یک مطالعه به بررسی عملکرد تقاطع خیابان‌های با عملکرد نزدیک با حذف گردش‌به‌چپ و ایجاد دوربرگردان بدون حذف چراغ راهنمایی پرداخته شد [۹]. ازجمله نتایج مهم این پژوهش افزایش مسافت سفر و ایمنی و کاهش زمان سفر و حرکات تداخلی بود. [۱۰] در پژوهش خود به تصادفات ناشی از تبدیل تقاطع‌ها چراغ‌دار به دوربرگردان‌ها پرداختند که نشان‌دهنده افزایش ۴ درصدی تصادف‌ها بود که البته تعداد تصادف‌ها با افزایش عرض خط، شعاع گردش و عرض بازشدگی کاهش می‌یابد. [۱۱] در پژوهش خود به بررسی و مقایسه تقاطع‌های چراغ‌دار متداول با تقاطع‌ها بدون گردش‌به‌چپ با میدان‌های مجاور (پایپون) پرداختند. ازجمله نتایج این پژوهش کاهش تأخیر، زمان سفر، طول صف در حجم به ظرفیت‌های ($\frac{V}{C}$) ۱ و ۰،۸۵ بود.در بخش دیگر از پژوهش‌های پیشین، به پارک حاشیه‌ای در محدوده تقاطع‌های هم‌سطح پرداختند. [۱۲] به بررسی تأثیر ممنوع کردن پارک حاشیه‌ای پرمصرف سوخت پرداخت که ازجمله نتایج آن کاهش بیش از ۱۷ در صدی مصرف سوخت در بازه زمانی یک ساعته بود. [۱۳] نیز تقاطع‌ها را در سه حالت ۱) وجود پارک حاشیه‌ای، ۲) پارک جزئی و ۳) ممنوع کردن کامل پارک حاشیه‌ای، بررسی نمودند که ازجمله نتایج آن بهبود ۳۲ درصدی زمان سفر کل وسایل نقلیه در حالت‌های حذف پارک حاشیه‌ای جزئی و کلی نسبت به حالت وجود پارک حاشیه‌ای بود.در پژوهش دیگری [۱۴] به بررسی وجود یا عدم وجود پارک حاشیه‌ای و راست‌گرد در تقاطع‌ها و تأثیر آن در زمان سفر تقاطع پرداختند. ازجمله نتایج آن کاهش ۴۷ در صدی زمان سفر در حالت وجود جزیره راست‌گرد و عدم اجازه پارک حاشیه‌ای در محدوده و کاهش ۳۰ در صدی زمان سفر با رعایت عدم پارک در حریم ۳۰ متری تقاطع اشاره کرد.علاوه بر مطالعات داخلی و خارجی که بر روی انواع تقاطع‌ها و شیوه مدیریت آن‌ها صورت گرفته است، آیین‌نامه‌هایی نیز در این حوزه وجود دارد که در ادامه به این موارد اشاره می‌شود. ازجمله این آیین‌نامه می‌توان در ابتدا به [۱۵] که در رابطه با طرح هندسی است اشاره کرد.همچنین آیین‌نامه‌هایی بخش علائم افقی و عمودی ترافیکی را موردبررسی قرار داده‌اند. این علائم در مسافت تصمیم‌گیری رانندگان و همچنین کانالیزه کردن عبور خودروها بسیار مؤثر هستند. ازجمله این آیین‌نامه‌ها می‌توان به [۱۶] اشاره کرد. آیین نامه های داخلی دیگری در این حوزه وجود دارد که از این قبیل می‌توان به [۱۷] اشاره کرد. البته چندین آیین‌نامه خارجی نظیر[۱۸] نیز در این حوزه وجود دارد که به دلیل مطابقت بیشتر آیین نامه های داخلی با رفتار و شرایط ایران، استفاده از آیین‌نامه‌های داخلی در اولویت است.

۲-۱. نوآوری‌های پژوهش

تصمیم گیران شهری با توجه به بودجه محدود، نیاز به انتخاب پروژه‌هایی دارند که با حداقل مقدار هزینه، بیشترین مقدار کارایی را داشته باشد. هدف از این مطالعه بهبود محدوده موردمطالعه به طریقی است که با آیین‌نامه‌های ایران همخوانی

داشـــته و شـــبیه‌ســـازی‌ها، بهبود محدوده با اعمال آن اقدام حمل‌ونقلی را تائید کنند. مطالعات گذشـته سـعی بر این داشـتند که بر یکی از جنبه‌های آیین‌نامه یا شـبیه‌سـازی تمرکز کنند که می‌تواند باعث عدم همخوانی آیین‌نامه با شـبیه‌سـازی شـود. در مطالعه موجود سعی شده است که بادید وسیع‌تری این مشکلات مرتفع گردد. در این مطالعه سعی شده است که اکثر آیین‌نامه‌ها و مطالعات داخلی مرتبط موردبرر سی قرارگرفته و در مواردی که به دلیل ویژگی‌های محدود مطالعاتی نتوان از آیین‌نامه‌های موجود استفاده کرد، از شبیه سازی با یکی از نرم‌افزارهای معتبر استفاده گردد.

۳. روش تحقیق

روش تحقیق نشان‌دهنده مسیر دستیابی به نتایج هر پژوهش است که در این مطالعه به دلیل گستردگی حوزه موردبررسی، سعی شده است که به موارد آیین‌نامه‌ای که برای تمامی مقاطع یکسان هستند به‌صورت گذرا اشاره‌شده و بحث شبیه‌سازی که خاص هر مقطع است بیشتر موردبررسی قرار گیرد. تحقیق پیشنهادی آن در چند بخش موردبررسی قرار می‌گیرد. بررسی روش تحقیق در سه بخش کلی ۱)تسهیلات پیاده‌روی، ۲) تقاطع‌های هم‌سطح، ۳) تابلوهای هدایت مسیر و ۴) شبیه‌سازی انجام می‌شود.

۳-۱. تسهیلات پیاده‌روی

پیاده‌روی جایگاه برجسته‌ای در سیستم حمل‌ونقل شهری دارد و بخش عمده‌ای از سفرهای شهری به‌صورت پیاده انجام می‌شود. سیستم پیاده در مقایسه با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل شهری از خصوصیات و مزایای منحصربه‌فردی برخوردار است که ازجمله آن‌ها می‌توان به انعطاف‌پذیری، ارزانی، مصرف انرژی کمتر، هماهنگی با ملاحظات زیست‌محیطی و ... اشاره نمود [۲۷-۲۳].

۳-۲. تقاطع‌های هم‌سطح

اهداف اصلی طراحی تقاطع‌ها شامل ۱- کاهش احتمال برخورد بین وسایل نقلیه و یا وسایل نقلیه و عابریم پیاده، ۲- افزایش کارایی و یا ظرفیت، و ۳- افزایش ایمنی شبکه ارتباطی می‌شود. به دلیل نقش مؤثر تقاطع‌ها در شبکه شهری، عملکرد نامناسب آن‌ها می‌تواند باعث مشکل‌های زیادی برای استفاده‌کنندگان از سیستم گردیده و عملکرد کل شبکه را تحت تأثیر قرار دهد [۲۸].

۳-۳. تابلوهای هدایت مسیر

تابلو هدایت مسیر از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین تابلوهای اخباری است که باهدف مسیریابی سریع رانندگان برای انتخاب بهترین مسیر برای رسیدن به مقصد استفاده می‌شود. تابلوهای هدایت مسیر شامل چهار ویژگی شکل، رنگ، نوشتار و نقوش و علائم تصویری می‌شود [۳۰-۲۹].

۳-۴. شبیه‌سازی

شبیه‌سازی، تقلید عملکرد یک سیستم واقعی در طول یک دوره زمانی است. شبیه‌سازی شامل تولید تاریخچه مصنوعی یک سیستم و بررسی عملکرد آن با اعمال تغییراتی در شبیه‌سازی است. در ابتدای شبیه‌سازی، فرض‌هایی اتخاذ می‌شود که می‌توانند مرتبط با اعضا یا هدف‌های سیستم باشند. هنگامی‌که شبیه‌سازی توسعه داده شد و اعتبارسنجی گردید، گستره زیادی از سؤالات "چه می‌شود اگر" را می‌توان بر روی آن اعمال کرد. از شبیه‌سازی می‌توان برای بررسی تغییرات بالقوه استفاده کرد و یا یک سیستم را قبل از ساخت موردبررسی قرارداد. شبیه‌سازی دارای مراحلی است که به‌طور اختصار عبارت از ۱) فرمول‌بندی مسئله، ۲) مفهوم مدل، ۳) برداشت داده، ۴) اجرای مدل، ۵) تائید مدل، ۶) اعتبار سنجی، ۷) طراحی آزمایش و ۸) اجرا، هستند [۳۱].

۴. جمع‌آوری داده

یکی از مهم‌ترین مراحل انجام پژوهش و به‌طور خاص شبیه‌سازی، برداشت داده می‌باشد. در این پژوهش این برداشت به‌صورت میدانی انجام می‌شود و عوامل بسیاری می‌تواند در دقت داده برداشت‌شده تأثیرگذار باشد. یکی از مهم‌ترین مراحل برداشت داده، بازدید از محدوده مطالعاتی می‌باشد که اطلاعاتی مانند نوع کنترل تقاطع و زمان‌بندی در صورت چراغ‌دار بودن، مکان پارک حاشیه‌ای، ایستگاه اتوبوس، سرعت‌گیر، میدان دید و غیره در برداشت می‌شود. برای بررسی نوع خودروهای استفاده‌کننده از معبر، در صورت امکان بهتر است نوع خودرو در هنگام آماربرداری استخراج شود و در شبیه‌سازی مورداستفاده قرار گیرد. بهتر است با توجه به تعداد زیاد و تنوع استفاده‌کنندگان از شبکه شهری، حداقل چهار نوع خودرو ۱) شخصی، ۲) تاکسی، ۳) اتوبوس، ۴) وسایل سنگین موردبررسی قرار گیرند.که در پژوهشی مقادیر پیشنهادی برای ایران ارائه‌شده است. همچنین در ادامه باید اطلاعات ۱) نقشه‌های محدوده مطالعاتی، ۲) خصوصیات فیزیکی شبکه معابر، ۳) داده‌های ترافیکی و ۴) داده‌های کالیبراسیون، استخراج شوند.

۴-۱. گردآوری و تحلیل اطلاعات ترافیک

اطلاعات کلی مورداستفاده تقاطع‌ها به‌طورکلی شامل حجم، ترکیب ترافیک، سرعت طرح، مشخصات وسیله نقلیه طرح، اطلاعات وسایل حمل‌ونقل عمومی، آمار تصادف‌ها و پارکینگ حاشیه‌ای می‌شود.مهم‌ترین معیار در طراحی هندسی تقاطع‌های هم‌سطح، حجم ترافیک ساعت طرح (DHV) می‌باشد. در غیاب آمارهای مستمر میانگین سالانه ترافیک روزانه (AADT) جهت تعیین سی‌امین بزرگ‌ترین حجم ساعتی سالانه، استخراج این آمارها در چند ساعت

پیک صبح و عصر کفایت می‌کند. البته باید این حجم را با استفاده از ضرایب رشد و با توجه به سال طرح افزایش داد.احجام ترافیک بهتر است در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای و در صورت عدم امکان در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای برداشت شود. دوره آماربرداری باید قبل و بعد از ساعت اوج به‌منظور در نظرگیری انباشتگی و پراکندگی در نظر گرفته شود. همچنین تعداد و طول صف در پس‌زدگی باید موردبررسی قرار گیرد. به‌طورمعمول جهت کنترل نرم‌افزار با شبیه-سازی در تقاطع‌ها از پارامتر طول صف استفاده می‌شود.

۴-۲. میدان آزادی شهر کرمان

میدان آزادی مهم‌ترین مرکز تجاری و حمل‌ونقلی شهر کرمان محسوب می‌شود. این میدان دارای شعاعی در حدود هفتادوپنج متر بوده که علاوه بر وسایل نقلیه، تعداد زیادی از عابریم پیاده و خطوط اتوبوس‌رانی و تاکسیرانی نیز از این میدان استفاده می‌کنند. ابتدا یا انتهای پنج معبر اصلی شهر کرمان در این مقطع قرار می-گیرد که عبارت‌اند از ۱) خیابان شریعتی (بهشتی)، ۲) بلوار بهمنیار، ۳) بلوار جمهوری اسلامی، ۴) بلوار شهید صدوقی، ۵) بلوار استقلال، که نحوه جانمایی آن‌ها در شکل شماره ۱ نمایش داده‌شده است.

۴-۳. وضعیت ترافیک موجود:

میدان آزادی پس از احداث زیرگذر و ضعیت ترافیک متفاوتی را تجربه می‌کند و تراکم ترافیک همان‌طور که پیش‌بینی می‌گردید از این میدان به تقاطع‌ها اطراف منتقل‌شده است. دو تقاطع که در وضعیت کنونی عملکردی بحرانی دارند تقاطع‌ها خیابان خواجو و بلوار استقلال و خیابان بهشتی (شریعتی) با بلوار جهاد است. برای مشخص شدن وضعیت و ساعت‌های پیک ترافیکی اطلاعات ترافیکی در بازه‌های ۵ دقیقه‌ای استخراج شده و بازه زمانی ۱۸:۳۰ تا ۱۹:۳۰ به‌عنوان ساعت اوج ترافیک در زمان موردبررسی شناخته شد.شروع جریان ترافیک در این مقطع از چهارراه خواجوی کرمانی است که پس‌زدگی این ترافیک و گسترش آن به میدان آزادی شهر کرمان باعث پس‌زدگی ترافیک در دیگر خیابان‌های منتهی به میدان آزادی می‌گردد. با توجه بررسی ترافیک میدان آزادی و مطالب گفته‌شده،

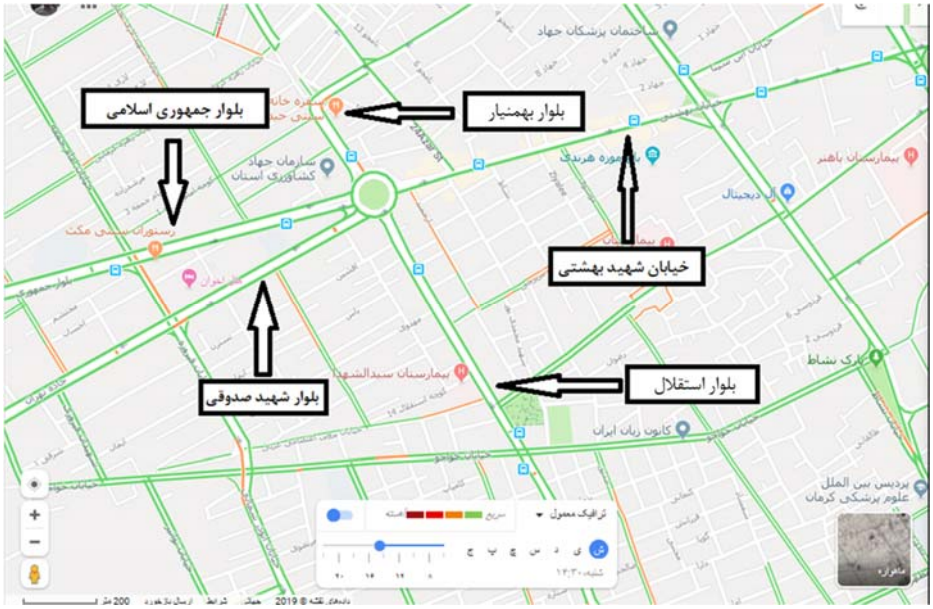
۴-۴. برداشت داده میدانی:

چهارراه خواجوی کرمانی بعد از مشخص نمودن ساعات کاندید، در چند بازه تقاطع موردنظر به‌صورت حضوری مورد بررسی قرار گرفت و بازه زمانی ۱۸ تا ۲۰ روز چهارشنبه ۲۱ خردادماه سال ۱۳۹۹ برای تصویربرداری و برداشت داده انتخاب گردید. از مشخصات روز و هفته موردنظر برای آماربرداری می‌توان به:

۱) عدم قرارگیری روز تعطیل در آن هفته،

۲) عدم وجود مناسبت‌های خاص مانند ماه مبارک رمضان،

۳) عدم وجود پیک ویروس کرونا یا قرنطینه ناشی از آن در آن ایام اشاره کرد. مدت‌زمان تصویربرداری ۲ ساعت یا ۶۹ سیکل چراغ راهنمایی را شامل شد که نتایج آن برای استخراج گردش‌ها و نوع وسایل نقلیه مشخص شده است. برای استخراج هر نوع از گردش و یا وسیله نقلیه که درمجموع شامل ۴۵۰۰ سلول می شود، این تصاویر به صورت چندباره اجرا شدند که استخراج تعداد و نوع وسایل نقلیه برای این تقاطع در حدود ۲۰ روز زمان برد.درروند آماربرداری، نفر پنجم مسئول اندازه‌گیری طول صف با واحد متر یا خودرو بوده است و همچنین در زمان‌های تصادفی خودرویی را در صف انتخاب کرده و زمان ورود آن به‌صف و خارج شدن آن از تقاطع را ثبت کرده است که این کار به‌صورت نوبتی و چرخشی بین ورودی‌ها به تقاطع انجام‌شده است. داده برداشت‌شده از طول صف و زمان حضور خودروها در صف در کالیبراسیون نرم‌افزار برای مقطع موردبررسی استفاده می‌گردد.



شکل (۱). موقعیت قرارگیری میدان آزادی و خیابان‌های اطراف

۵. شبیه‌سازی و نتایج

در حوزه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و مهندسی ترافیک، نرم‌افزارهای مختلفی ارائه‌شده است که در بین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نرم‌افزار Aimsun به دلیل در نظرگیری هر سه سطح خردنگر، میان‌نگر و کلان‌نگر از اولویت بیشتری نسبت به نرم‌افزارهای دیگر برخوردار است. این نرم‌افزار توسط گروه TSS که به‌طور تخصصی بر روی توسعه مدل‌سازی حمل‌ونقل و ترافیک تمرکز دارد ارائه گردیده است.

ازجمله ویژگی‌های مثبت دیگر این نرم‌افزار امکان کالیبراسیون در محیط نرم‌افزار است که ویژگی‌های آن را با واقعیت ترافیکی نزدیک می‌کند. با پایان کالیبراسیون، باید نرم‌افزار بتواند مشاهده‌های میدانی را بازتولید کند.

هدف از کالیبراسیون حداقل کردن اختلاف بین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده است. به‌طورکلی گام‌های کالیبراسیون را می‌توان به‌طور خلاصه ۱) تعیین هدف، ۲) انتخاب پارامترهای کالیبراسیون، ۳) تعیین تعداد اجراهای نرم‌افزار و ۴) فرایند تکرار برای تنظیم پارامترهای مدل دانست.

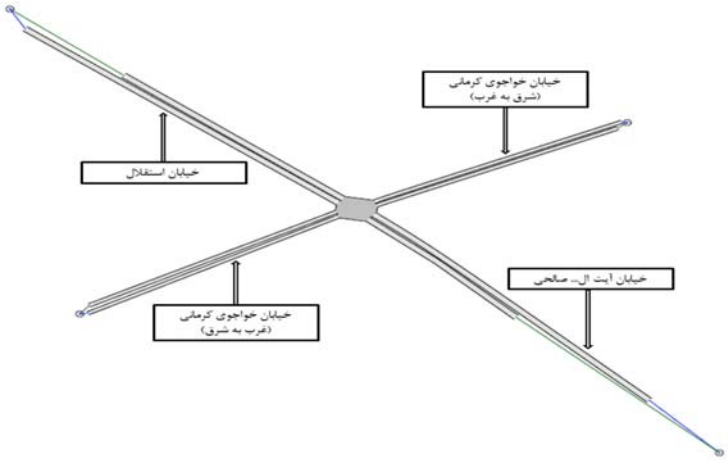
هدف از اعتبارسنجی که به دنبال کالیبراسیون می‌آید، بررسی موفقیت مدل در بازتولید واقعیت است. اعتبارسنجی به گونه مشاهده‌ای و آماری انجام می‌شود. در گونه مشاهده‌ای تلاش می‌شود تا به‌طور کیفی شباهت پویانمایی با واقعیت میدانی مطابقت داده شود.

۵-۱. کالیبراسیون

در مرحله ابتدایی نرم‌افزار با استفاده از مطالعات داخلی پیشین و با استفاده از داده برداشت‌شده از مقطع موردنظر کالیبره می‌گردد. احجام مورداستفاده در کالیبراسیون در جداول زیر نمایش داده‌شده است که مربوط به ساعت اوج ترافیک می‌باشند. همچنین لازم به ذکر است که ساعت ۱۸:۲۵ تا ۱۹:۲۵ به‌عنوان ساعت اوج ترافیک انتخاب گردید که بر اساس تعداد خودروهای ورودی به تقاطع و معیار PCE مشخص گردیده است. همچنین بازه زمانی ۱۵ دقیقه‌ای ۱۸:۳۴ تا ۱۸:۴۹ به‌عنوان بازه بحرانی مشخص گردید.

جدول (۱). احجام مورداستفاده در کالیبراسیون

رویکرد	گردش‌به‌راست					حرکت مستقیم					گردش‌به‌چپ					گردش کامل سواری
	سواری	تاکسی	موتور	اتوبوس	سنگین	سواری	تاکسی	موتور	اتوبوس	سنگین	سواری	تاکسی	موتور	اتوبوس	سنگین	
خواجوی کرمانی (غرب به شرق)	۱۴۶	۲	۶	۰	۰	۴۵۰	۳	۴۳	۰	۰	۲۳۲	۹	۱۴	۰	۰	۴۴
استقلال	۷۳	۲	۵	۰	۰	۷۶۶	۷۹	۵۳	۰	۰	۴۴۴	۹	۲۲	۰	۰	۰
خواجوی کرمانی (شرق به غرب)	۱۵۷	۳	۳	۰	۰	۴۵۱	۷	۳۸	۰	۰	۳۰۵	۷	۲۵	۰	۰	۲۵
صالحی	۸۴	۱	۹	۰	۰	۹۷۲	۶۷	۷۵	۰	۰	۲۳۳	۲	۸	۱	۰	۰



شکل (۲). شبکه مورداستفاده در کالیبراسیون نرم‌افزار Aimsun

۵-۲. نتایج

پس از کالیبره نمودن نرم‌افزار، با استفاده از تنظیمات به‌دست‌آمده در مرحله کالیبراسیون، روش‌های پیشنهادی در نرم‌افزار شبیه‌ساز موردبررسی قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه داده در سال ۱۳۹۹ برداشت‌شده و هدف از این مطالعه بررسی مقطع موردنظر در افق کوتاه‌مدت یعنی سال ۱۴۰۴ است، داده برداشت‌شده با استفاده از ضریب رشد پیشنهادی [۳۱] که سالیانه برابر با ۲/۱ درصد است رشد داده‌شده و حجم عبوری از تقاطع در سال افق طرح استخراج می‌گردد. نتایج احجام رشد داده‌شده برای استفاده در جداول زیر نمایش داده‌شده است.در ادامه با توجه به احجام استخراج‌شده، چند روش برای بهبود وضعیت ترافیکی منطقه موردنظر پیشنهاد داده می‌شود که عبارت‌اند از ۱) تعریض و احداث جزایر گردش‌به‌راست، ۲) ممنوع کردن گردش‌به‌چپ، ۳) ممنوع کردن گردش‌به‌چپ با احداث تقاطع مجاور، ۴) احداث تقاطع غیرهمسطح، ۵) ترکیب روش‌های پیشنهادی، که با گزینه عدم انجام کار مقایسه می‌گردند. در ادامه نتایج هرکدام از آن‌ها در جدول زیر نمایش داده‌شده است

.

جدول(۲). تخمین احجام مورداستفاده در شبیه‌سازی سال هدف (۱۴۰۴)

حرکت/ رویکرد	گردش‌به‌راست					حرکت مستقیم					گردش‌به‌چپ					گردش کامل سواری
	سواری	تاکسی	موتور	اتوبوس	سنگین	سواری	تاکسی	موتور	اتوبوس	سنگین	سواری	تاکسی	موتور	اتوبوس	سنگین	
خواجوی کرمانی (غرب به شرق)	۱۴۲	٤	۱۳	۰	۰	۵۸۱	٤	٤۰	۰	۰	۲۸۰	٤	۱۳	۰	۰	۷۵
استقلال	۸۹	٤	٤	۰	۰	۹٦۷	۸٤	۵۳	۰	۰	۵٤٦	۱۳	٤	۰	۰	۰
خواجوی کرمانی (شرق به غرب)	۱۹۵	٤	٤	۰	۰	۵۵۰	۱۸	٤٤	۰	۰	۳۵۱	۰	۲۷	۰	۰	۱۸
صالحی	۱۰۲	٤	۹	۰	۰	۱۱۳٦	۵۸	۷۱	۰	۰	۲۸۰	۹	۱۳	۰	۰	۰

جدول (۳). نتایج شبیه‌ساز Aimsun برای گزینه‌های پیشنهادی مختلف در سال ۱۴۰۴ (مقادیر میانگین ۵ تکرار)

گزینه پیشنهادی	پارامتر ترافیکی	تأخیر	چگالی	کل مسافت پیموده شده	کل زمان سفر	زمان سفر
	واحد	ثانیه بر کیلومتر	وسیله بر کیلومتر	کیلومتر	ساعت	ثانیه بر کیلومتر
عدم انجام کار		۲۱۲/۴۷۲	۴۶/۹۱۱۴	۱۰۶۳۲/۲	۶۶۵/۰۰۲	۲۸۳/۴۲۶
تعریض و احداث جزایر گردش‌به‌راست		۱۷۹/۸۶۴	۴۰/۸۷۱۷	۱۰۶۳۲/۲	۶۱۱/۹۸۱	۲۵۰/۷۷
ممنوع کردن گردش‌به‌چپ خیابان‌های استقلال و صالحی		۶۸/۷۱۴۵	۲۳/۵۰۵۷	۱۲۸۶۸/۷	۴۴۱/۵۲	۱۳۹/۴۵۷
ممنوع کردن گردش‌به‌چپ خیابان‌های استقلال و صالحی با احداث تقاطع مجاور		۶۸/۷۰۰۳	۲۱/۳۲۲۴	۱۲۳۸۸/۴	۴۲۹/۰۷۲	۱۳۹/۱۴۶
مسدود کردن ارتباط قسمت‌های خیابان خواجوی کرمانی		۸۶/۸۵۹۵	۳۳/۱۷۲۹	۱۳۹۶۷	۵۹۸/۷۳۵	۱۵۶/۴۴۵
احداث تقاطع غیرهمسطح بین خیابان‌های استقلال و صالحی		۷۱/۵۹۶۹	۲۲/۹۵۰۶	۱۰۶۳۲/۲	۳۸۲/۰۶۱	۱۴۲/۱۹۹
ممنوع کردن گردش‌به‌چپ با ایجاد تقاطع مجاور و تعریض محدوده تقاطع و مجاز کردن گردش‌به‌راست		۵۵/۸۱۴۶	۱۸/۵۶۰۵	۱۲۵۵۲	۳۹۹/۱۹۹	۱۲۶/۱۸۱
ممنوع کردن گردش‌به‌چپ با استفاده از دوربرگردان‌های مجاور و تعریض محدوده تقاطع و مجاز کردن گردش‌به‌راست		۵۷/۰۴۱۲	۲۰/۷۱۰۹	۱۳۰۷۶/۶	۴۱۲/۸۱۸	۱۲۷/۵۹۹

۵-۲-۱. تعریض و احداث جزایر گردش‌به‌راست

همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، این تقاطع به لحاظ طرح هندسی از وضعیت خوبی برخوردار نمی‌باشد. به این صورت که در رویکردهای صالحی و استقلال با نزدیک شدن به تقاطع عرض معبر کاهش‌یافته و باعث تداخل ترافیک می‌شود. از سوی دیگر در این تقاطع مثلث دید برای زمان‌هایی که چراغ‌راهنمایی به هر دلیلی دچار خرابی یا خاموشی است رعایت نشده است که این موارد عملکرد ایمن این تقاطع را با تهدید جدی روبرو می‌کند. از سوی دیگر به دلیل موقعیت این تقاطع و هزینه بالای تصرفات آن برای شهرداری کرمان، علیرغم آنکه شاید این کار لازم به نظر بیاید ولی نمی‌توان آن را جز گزینه‌های ارزان طبقه‌بندی کرد.

با توجه به جدول شماره ۲ و درصد کم گردش‌به‌راست در این تقاطع به نظر نمی‌آید که این اقدام تأثیر به سزایی در بهبود این تقاطع داشته باشد. لازم به ذکر است که بااین‌حال احداث جزایر گردش‌به‌راست در این تقاطع در نرم‌افزار Aimsun برای هر چهار رویکرد به‌صورت هم‌زمان شبیه‌سازی‌شده و نتایج آن در جدول ۳ قابل‌مشاهده است.

با مقایسه نتایج استخراج‌شده با تعریض و آزاد کردن گردش‌به‌راست با نتایج عدم انجام کار (جدول ۳)، مشاهده می‌شود که تأخیر ۱۵ درصد و همچنین کل زمان سفر شبکه و زمان سفر به ازای هر کیلومتر ۹ درصد در این مقطع کاهش می‌یابد. همان‌طور که در پیش‌ازاین اشاره شد، شاید این مقدار بهبود در مقابل هزینه موردنیاز برای تعریض این مقطع قابل‌قبول نباشد.

۵-۲-۲. ممنوع کردن گردش‌به‌چپ

گزینه پیشنهادی در این بخش ممنوع کردن گردش‌به‌چپ خیابان‌های صالحی و استقلال است. به این صورت که در گردش‌به‌چپ در این دو خیابان ممنوع و دوربرگردان‌های بعد از تقاطع به این کار اختصاص داده می‌شود. به این صورت که خودروهایی که قصد گردش‌به‌چپ از این دو خیابان به سمت خیابان خواجوی کرمانی شرقی یا غربی را دارند از تقاطع به‌صورت مستقیم عبور کرده و بعد از تقاطع با استفاده از دوربرگردان به سمت تقاطع برمی‌گردند و با حرکت گردش‌به‌راست به سمت خیابان موردنظر خود حرکت می‌کنند. همچنین فاز سبز این دو خیابان اکنون‌که هیچ‌گونه تداخلی با یکدیگر ندارند با یکدیگر هم‌زمان‌شده و زمان سبز مجموع این دو فاز در حالت قبل به آن‌ها اختصاص داده می‌شود.

نتایج این شبیه‌سازی در جدول زیر نمایش داده‌شده است. همان‌طور که مشخص است مقدار تأخیر در این تقاطع با انجام این کار تقریباً به یک‌سوم در مقایسه با گزینه عدم انجام کار تقلیل پیداکرده است. همچنین در پارامتر زمان سفر کل نیز بهبود ۳۳ درصدی مشاهده می‌شود. در پارامتر زمان سفر به ازای هر کیلومتر نیز بهبود قابل‌ملاحظه ۵۰ درصدی در مقایسه با گزینه عدم انجام کار مشاهده می‌شود که آن را می‌توان از مزایای این گزینه نسبت به عدم انجام کار دانست. البته در پارامتری هم شاهد افزایش مقادیر نسبت به گزینه عدم انجام کار هستیم که مسافت پیموده شده در حدود ۵۰ درصد افزایش‌یافته است.

به لحاظ هزینه نیز این گزینه را می‌توان یکی از به‌صرفه‌ترین گزینه‌های پیشنهادی دانست، به این صورت که فقط باید فازبندی چراغ راهنمایی تغییر پیدا کند و تابلوهای هدایت مسیر (که در حال حاضر هم وجود ندارند) در محل نصب شوند. البته در روزهای ابتدایی اعمال این گزینه باید از همکاری پلیس راهنمایی رانندگی و رسانه‌های جمعی برای آشنایی مردم با مسیرهای جدید استفاده برد.

۵-۲-۳. ممنوع کردن گردش‌به‌چپ با احداث تقاطع مجاور

در گزینه پیشنهادی این بخش نیز مانند بخش قبل گردش‌به‌چپ خیابان‌های استقلال و صالحی ممنوع می‌شود و فاز سبز این دو هم‌زمان و مدت‌زمان آن به‌اندازه مجموع این دو فاز در حالت قبل از تغییر می‌شود. تفاوت دیگر این گزینه با گزینه قبل به این صورت است که گردش‌به‌چپ خیابان صالحی همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده‌شده است از طریق خیابان خیام صورت می‌گیرد. از مزایای این روش نسبت به گزینه قبل این است که خودروهایی که قصد گردش‌به‌چپ از خیابان صالحی را دارند مجبور به استفاده از خیابان استقلال که یک معبر شلوغ می‌باشد را ندارند. همچنین انتظار می‌رود که با باز شدن ورودی خیابان بهمنیار به سمت میدان آزادی شاهد حجم خودروی بیشتری از این سمت باشیم که این گزینه را نسبت به گزینه قبل در جایگاه بهتری قرار می‌دهد. البته این گزینه به دلیل نیاز به طراحی و نصب یک چراغ راهنمایی هماهنگ با چراغ راهنمایی تقاطع خیابان خواجوی کرمانی و

خیابان استقلال در تقاطع خیابان‌های خواجوی کرمانی و خیام نیازمند هزینه بیشتری نسبت به گزینه قبل می‌باشد.

۵-۲-۴. جدول‌کشی میانه تقاطع و مسدود کردن ارتباط قسمت‌های خیابان خواجوی کرمانی

گزینه دیگری که در این پژوهش موردبررسی قرار گرفت، بستن ارتباط بین قسمت‌های شرقی غربی و غربی شرقی خیابان خواجوی کرمانی در تقاطع خواجوی کرمانی بود. همان‌طور که از نتایج این شبیه‌سازی مشخص است، مقدار تأخیر نسبت به حالت عدم انجام کار به مقدار زیادی کاهش پیداکرده است، اما همچنان تأخیر بیشتری را نسبت به گزینه‌های ممنوع کردن گردش‌به‌چپ گزارش می‌دهد. از سوی دیگر مقدار کل مسافت پیموده شده در این گزینه مقدار بیشتری را نسبت به‌تمامی گزینه‌های دیگر گزارش می‌دهد. همچنین مقدار کل زمان سفر شبکه در این گزینه مقدار بیشتری را نسبت به گزینه‌های تعریض و ممنوع کردن گردش‌به‌چپ گزارش می‌دهد که از آن می‌توان به‌عنوان معایب این گزینه نام برد.

۵-۲-۵. احداث تقاطع غیرهمسطح

تقاطع غیرهمسطح یکی دیگر از گزینه‌های موردبررسی در این مطالعه بوده است. با توجه به هزینه تملیک زیاد در این نقطه از شهر کرمان و سطح بودجه شهرداری کرمان، تصمیم گرفته شد که تقاطع غیرهمسطح با کمترین میزان تملیک در این پژوهش موردبررسی قرارگیرد که انجام آن نیز در آینده نزدیک دور از دسترس نباشد.

همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، سطح دیگر این تقاطع ارتباط مستقیم خیابان‌های استقلال و صالحی را برقرار می‌کند. با توجه به جدول شماره ۱ و درصد گردش‌ها در این دو خیابان، از ۳ خط عبور هرکدام از این دو خیابان، دو خط به حرکت مستقیم یعنی عبور از روی روگذر و یک خط عبور به حرکات گردش‌به‌چپ و گردش‌به‌راست یعنی سطح کنونی تقاطع اختصاص داده‌شده است.

نتایج گزارش‌شده ناشی از شبیه‌سازی در جدول زیر نمایش داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار تأخیر این گزینه با گزینه‌های ممنوع کردن گردش‌به‌چپ تقریباً برابر و مقدار کمتری نسبت به دیگر گزینه‌های ارائه می‌دهد. از سوی دیگر مقدار مسافت پیموده شده این گزینه نسبت به دیگر گزینه‌ها مقدار کمتری است که می‌تواند این گزینه را علیرغم هزینه اجرای بیشتر آن نسبت به گزینه‌های دیگر، در بین گزینه‌های مطلوب قرار دهد.

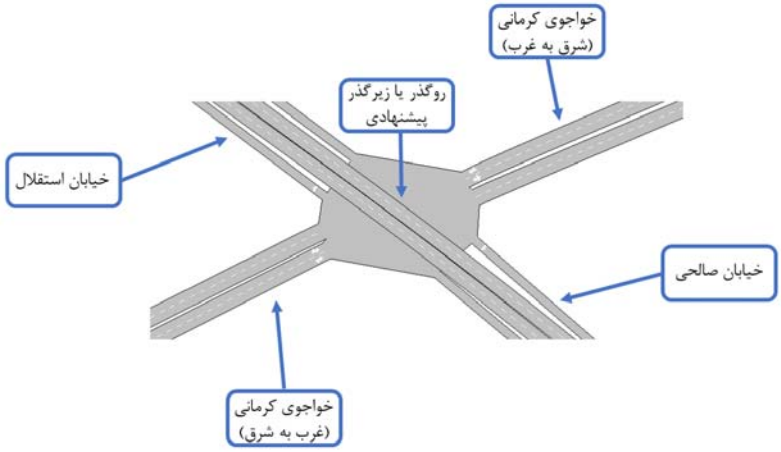
۵-۲-۶. ممنوع کردن گردش به چپ با ایجاد تقاطع مجاور و تعریض محدوده تقاطع و مجاز کردن گردش‌به‌راست

برای بهبود هر چه بیشتر تقاطع خواجوی کرمانی در این بخش از ترکیب گزینه‌های پیشنهادی قبلی استفاده می‌شود. نتایج ناشی از این ترکیب یک بهبود را نسبت به هرکدام از این گزینه‌ها به‌تنهایی نشان می‌دهد. البته این بهبود نسبت به گزینه تعریض و مجاز کردن گردش‌به‌راست بسیار قابل‌توجه و نسبت به گزینه ممنوع کردن گردش‌به‌چپ اختلاف کمی دارد که البته با توجه به هزینه بسیار بیشتر این گزینه نسبت به گزینه تنهای ممنوع کردن گردش‌به‌چپ و استفاده از تقاطع مجاور، باید تصمیم‌گیری در رابطه با آن را به مسئولان و سیاست‌گذاران شهر واگذار کرد.

۵-۲-۷. ممنوع کردن گردش به چپ با استفاده از دوربرگردان‌های مجاور و تعریض محدوده تقاطع و مجاز کردن گردش به‌راست

این گزینه نیز همانند گزینه ترکیبی قبل از ممنوع کردن گردش‌به‌چپ و تعریض تقاطع استفاده می‌شود و تقریباً نتایج مشابهی را نتیجه می‌دهد. البته اختلاف این دو گزینه در آینده به دلیل باز شدن خیابان بهمنیار به سمت میدان آزادی می‌تواند بیشتر شود.

شکل (۲). مسیر جایگزین پیشنهادی (خیابان خیام) برای گردش‌به‌چپ خیابان صالحی



شکل (۳). نمایی از تقاطع خواجوی کرمانی با روگذر یا زیرگذر پیشنهادی

۶- بررسی اقتصادی نتایج گزینه‌ها

تصمیم‌گیری برای انجام و یا عدم انجام هر پروژه همواره یکی از چالش‌های مدیران شهری است که شاید یکی از مهم‌ترین معیارهای تصمیم‌گیری برای افراد مسئول که می‌تواند آن‌ها را در جهت انتخاب پروژه مناسب راهنمایی کند، بررسی نتایج پیشامدهای اقتصادی هر پروژه است. در این بخش سعی شده است که گزینه‌های پیشنهادی به لحاظ اقتصادی موردبررسی قرارگرفته تا سیاست‌گذاران شهری را در جهت انتخاب بهتر راهنمایی کند.

در این مطالعه با توجه به اینکه برآوردی از هزینه انجام این گزینه‌ها در دست نیست، فقط پیشامدهای اقتصادی هر گزینه موردبررسی قرار می‌گیرد. پارامترهایی که در این بخش برای بررسی پیشامدهای اقتصادی موردبررسی قرار می‌گیرند عبارت‌اند از مصرف سوخت که با مقدار آلودگی هوا همبستگی دارد و مقدار زمان مصرف شده و هزینه آن است که در این بخش موردبررسی قرار می‌گیرد. البته پارامترهایی دیگری نیز هزینه‌های ناشی از آلودگی هوا، خرابی روسازی، تنش‌های عصبی و غیره می‌توانست موردبررسی قرار گیرد که با توجه به اینکه نقش آن‌ها در مقایسه

با نقش این عوامل کمتر است و کمی سازی هزینه اقتصادی آن‌ها دارای روش متحدی نیست در این بخش از آن‌ها صرف‌نظر شده است.

در این بخش خودروی ۲۰۶ (تیپ ۲) به‌عنوان یکی از پرتیراژترین خودروهای داخلی به‌عنوان معیار مصرف سوخت در نظر گرفته‌شده است. مصرف سوخت گزارش‌شده این خودرو ۸/۹ لیتر به ازای پیمایش هر ۱۰۰ کیلومتر در سفرهای شهری و ۱/۵ لیتر به ازای هر ساعت توقف در نظر گرفته شده و هزینه سوخت ۳۰۰۰ تومان به ازای هر لیتر در نظر گرفته‌شده است. همچنین برای ارزش زمان هر فرد با توجه به حداقل حقوق در سال برداشت داده یعنی سال ۱۳۹۹ مقدار ۱۳۳ تومان به ازای هر دقیقه در نظر گرفته‌شده و تعداد سرنشین هر خودرو نیز به‌طور متوسط ۲ نفر در نظر گرفته‌شده است. باید توجه نمود که مقدار تأخیر در پروژه احداث تقاطع غیرهمسطح (گزینه با کمترین زمان سفر) صفر در نظر گرفته‌شده و هزینه سوخت توقف با توجه به این گزینه محاسبه شده است. نتایج بررسی این موارد به‌اختصار در جدول زیر ارائه‌شده است.

همان‌طور که در جدول مشخص است، مقدار هزینه تحمیل شده به افراد برای یک روز استخراج شده است. البته این هزینه با توجه به بنزین لیتری ۳۰۰۰ تومانی و حداقل حقوق در سال ۱۳۹۹، و تعداد سرنشین ۲ نفر محاسبه شده است که با محاسبه با نرخ صادراتی ۰/۶ دلار به ازای هر لیتر بنزین ایران، هزینه زمان متوسط افراد جامعه و تعداد سرنشین‌های بیشتر، تفاوت مقادیر بالا ارقام بیشتری را نشان می‌دهد.

با توجه به مقادیر استخراج‌شده در جدول شماره ۴، مشاهده می‌شود که گزینه ساخت تقاطع غیرهمسطح، هزینه تحمیل‌شده به شهروندان را تا ۳۹ درصد نسبت به عدم انجام کار کاهش می‌دهد. البته گزینه‌های دیگر پیشنهادی عملکرد بهتری را نسبت به وضع موجود نشان می‌دهند که شاید ساده‌ترین، سریع‌ترین و یکی از کم‌هزینه‌ترین آن‌ها ممنوع کردن گردش‌به‌چپ خیابان‌های صالحی و استقلال است که هزینه تحمیلی را تا ۲۶ درصد نسبت به وضع موجود کاهش می‌دهد.

البته باید توجه نمود که این هزینه برای یک روز و با توجه به هزینه‌های سال ۱۳۹۹ محاسبه‌شده است و این هزینه‌ها در سال ۱۴۰۴ تفاوت بیشتری را نمایان خواهند کرد. همچنین محاسبه هزینه‌ها برای یک سال کامل و یا یک دوره زمانی چندساله تفاوت بسیار زیاد بین گزینه‌ها را بهتر نمایان می‌کند.

جدول (۴). نتایج پیشامدهای اقتصادی هر گزینه برای یک روز در سال ۱۴۰۴ (با مقیاس هزینه‌های سال ۱۳۹۹)

گزینه / مقدار هزینه (تومان)	ناشی از سوخت	ناشی از زمان صرف شده	کل (میلیون تومان)
عدم انجام کار	۳۱۲۵۸۶۶ +۱۲۷۳۵۰۰	۱۰۴۷۳۷۵۰	۱۴/۹
تعریض و احداث جزایر گردش‌به‌راست	۳۱۲۵۸۶۶ +۱۰۳۰۵۰۰	۹۶۳۹۰۰۰	۱۳/۸
ممنوع کردن گردش‌به‌چپ خیابان‌های استقلال و صالحی	۳۷۸۳۳۹۸ +۲۶۵۵۰۰	۶۹۵۳۹۴۰	۱۱/۰
ممنوع کردن گردش‌به‌چپ خیابان‌های استقلال و صالحی با احداث تقاطع مجاور	۳۶۴۲۰۷۲ +۲۱۱۵۰۰	۶۷۵۶۷۵۰	۱۰/۶
مسدود کردن ارتباط قسمت‌های خیابان خواجوی کرمانی	۴۱۰۶۲۹۸ +۹۷۵۱۵۰	۹۴۱۸۵۰۰	۱۴/۵
احداث تقاطع غیرهمسطح بین خیابان‌های صالحی و استقلال	۳۱۲۵۸۶۶ +۰	۶۰۱۶۵۰۰	۹/۱
ممنوع کردن گردش‌به‌چپ با ایجاد تقاطع مجاور و تعریض محدوده تقاطع و مجاز کردن گردش‌به‌راست	۳۶۹۰۲۸۸ +۷۶۵۰۰	۶۲۸۷۴۰۰	۱۰/۱
ممنوع کردن گردش‌به‌چپ با استفاده از دوربرگردان‌های مجاور و تعریض محدوده تقاطع و مجاز کردن گردش‌به‌راست	۳۸۴۴۵۲۰ +۱۳۵۰۰۰	۶۶۳۰۷۵۰	۱۰/۶

شکل (۴). مقایسه گزینه‌ها بر اساس تأخیر و هزینه ($۱۰^{۴}$) هر گزینه برای استفاده‌کنندگان شبکه

در انتها شکل شماره ۴ برای مقایسه بین گزینه‌ها آورده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که گزینه ششم یعنی احداث تقاطع غیرهمسطح کمترین هزینه را بین گزینه‌ها به استفاده‌کنندگان از شبکه تحمیل می‌کند، این هزینه شامل هزینه تأخیر و هزینه ناشی از سوخت می‌شود. البته شاید پیشنهاد این گزینه بدون توجه به هزینه اولیه ساخت آن است، همچنین احداث تقاطع‌های غیرهمسطح نیاز به بررسی بیشتر برای تأثیر آن در شبکه دارد. از سوی دیگر در این نمودار مشاهده می‌شود که بیشترین هزینه را عدم انجام کار به استفاده‌کنندگان از شبکه تحمیل می‌کند که این نمودار لزوم انجام کار هر چه سریع‌تر در این تقاطع را نشان می‌دهد. در بین گزینه‌های کم‌هزینه، گزینه سوم یعنی ممنوع کردن گردش‌به‌چپ خیابان‌های استقلال و صالحی بهترین عملکرد را از خود نشان می‌دهد. شاید نتایج این مطالعه، انتخاب گزینه سوم را در کوتاه‌مدت نشان دهد و در زمان مناسب بتوان با بررسی کل شبکه، درباره این تقاطع نیز تصمیم‌گیری کرد.

۷. نتیجه‌گیری

در این مطالعه به مشکلات ترافیکی موجود در میدان آزادی شهر کرمان، که از آن به‌عنوان مرکز شهر کرمان یاد می‌شود، پرداخته شد. در ابتدا گره ترافیکی این میدان یعنی تقاطع خواجوی کرمانی با استفاده از پس‌زدگی ترافیک شناسایی شد و سپس با استفاده از آیین‌نامه‌ها و مطالعات پیشین، راهکارهایی استخراج‌شده و بر روی این تقاطع اعمال گردید.

در انتها با توجه به پارامترها و نتایج هر یک از گزینه‌ها، دو پیشنهاد برای بازه زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت پیشنهاد گردید. در کوتاه‌مدت، گزینه ممنوع کردن گردش‌به‌چپ خیابان‌های استقلال و صالحی و در بلندمدت با بررسی شبکه و در صورت وجود اعتبارات مالی لازم، شاید بتوان احداث تقاطع غیر هم‌سطح در این تقاطع را موردبررسی قرارداد.

در انتها شاید بتوان گفت که این مطالعه مانند مطالعات دیگر نیاز به بررسی از دیدگاه‌ها و جنبه‌های دیگری دارد. شاید یکی از این موارد بررسی راهکارهای پیشنهادی در شبکه و بررسی تأثیر هرکدام از آن‌ها بر روی کل شبکه باشد. از سوی دیگر در این مطالعه چراغ هوشمند و در این تقاطع و تقاطع‌های مجاور موردبررسی قرار نگرفت که می‌تواند در ترافیک این تقاطع بسیار تأثیرگذار باشد.

۸. مراجع

[1] D. Chen, and S. Ahn, "Capacity-drop at extended bottlenecks: Merge, diverge, and weave," Transportation Research Part B, Vol. 108, pp. 1-20, 2018.

[2] دیگر of Transportation (DoT) State of Florida, Bottlenecks on Florida SIS, 2011.

[3] R. L. Bertini, and M. T. Leal, "Empirical study of traffic features at a freeway lane drops," Journal of Transportation Engineering, vol. 131, pp. 397, 2005.

[4] J. H. Lee, and M. J. Cassidy, "An empirical and theoretical study of freeway weave bottlenecks," California PATH Research Report, USB-ITS-PRR-2009.

[5] J. Rudjanakanoknad, and C. Akaravorakulchai, "Mechanism of a freeway weaving section as typical traffic bottleneck," Transportation Research Board, Paper#11-0747, 2011.

[6] M. Treiber, and A. Kesting, "Trajectory and Floating-Car Data. In: Traffic Flow Dynamics," Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.

[7] M. Garavello, K. Han, and B. Piccoli, "Models for vehicular traffic on networks (Vol. 9)," American Institute of Mathematical Sciences (AIMS), Springfield, MO, 2016.

[8] M. Rezazadeh, E. Safa, and B. Naqli, "Investigation of alternative left turn detours at lighted intersections in the city," International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Management in Iran, Tehran, University of Tehran, 2019 (In Persian).

[9] M. Majd, K. Rahimof, and S. Afandizadeh, "Evaluating the performance of lighted intersections after replacing a straight left turn with a middle turn without removing the traffic light," 2nd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Crisis Management, 2018 (In Persian).

[10] F. Haqiqi, S. Seyedhosseini, and S. Niknejad, "Analysis and effectiveness of replacing lighted intersections with U-turns," 13th International Conference on Transportation and Traffic Engineering, 2014 (In Persian).

[11] M. Safarzadeh, S. Naseralavi, and S. Hasaninasab, "Eliminate left turn at the illuminated intersection using two adjacent squares," 8th Iranian Conference on Transportation and Traffic Engineering, 2009 (In Persian).

[12] A. Afshari, "The effect of marginal park near the intersection on the fuel consumption of vehicles by Aimsun software," International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Cityscape, Turkey, 2016 (In Persian).

[13] S. Afandizadeh, A. Aabgoun, and N. Dehghani, "Effectiveness of marginal park on latency at lighted intersections using AIMSUN software along with model calibration for an intersection in Tehran," 13th International Conference on Transportation and Traffic Engineering, 2014 (In Persian).

[14] F. Firzouie, R. Norouzi, R. Eftekhari, and S. Mohsenian, "Technical and economic evaluation of marginal park management in intersection performance optimization; Case study of Aboutaleb-Qarni intersection of Mashhad," International Conference on Urban Planning and Management, 2018 (In Persian).

[15] "Highway Geometric Design Code No. 415," Office of Deputy for Strategic Supervision Department of Technical Affairs, 2012 (In Persian).
[16] "Road Safety Manual,", Management and Planning Organization, 2005 (In Persian).
[17] "Road restraint systems – Part 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers including vehicle parapets," Iranian National Standardization Organization, 2013 (In Persian).
[18] U. S. Department of Transportation (US Dot), Federal Highway Administration, "Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) for Streets and Highways," 2003.
[19] "Urban Roads – Safety Equipments in Gore Points of Highways – Code of Practice," Iranian National Standardization Organization, 2015 (In Persian).
[20] "Traffic control devices – Fixed vertical signs – Part 2: Specification and technical Characteristics," Iranian National Standardization Organization, 2013 (In Persian).
[21] "General Techncal Specification for Design, Measurment and Installation of Road Lighting," Office of Deputy for Strategic Supervision Department of Technical Affairs, 2013 (In Persian).
[22] K. Markvica, G. Richter, and G. Lenz, "Impact of urban street lighting on road users' perception of public space and mobility behavior," Building and Environment, Vol 154, pp.32-43, 2019.
[23] P. R. Anciaes, and P. Jones, "Estimating preferences for different type's pf pedestrian crossing facilities," Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 52, pp. 222-237. 2018.
[24] N. W. F., Bode, M. Chraibi, and S. Holl, "The emergence of macroscopic interactions between intersecting pedestrian streams," Transportation Research Part B, Vol. 119, pp. 197-210, 2019.
[25] O. Oviedo-Trespalacios, and B. Scott-Parker, "Footbridge usage in high-traffic flow highways: The intersection of safety and security in pedestrian decision-making," Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 49, pp. 177-187, 2017.
[26] H. Rizati, S. Z. Ishak, and I. R. Endut, I. R. "The utilization rates pf pedestrian bridges in Malaysia," IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC), 2013.
[27] M. Rasanen, T. Lajunen, F. Alticafarbay, and C. Aydin, "Pedestrian self-reports of factors influencing the use of pedestrian bridges," Accident Analysis and prevention, Vol. 39, pp. 969-973, 2007.
[28] S. Hasanpour, A. Asgari, and A. Komasi, "Prioritize the factors affecting the selection of the best intersection control system," National Conference on Architectural Engineering, Civil Engineering and Urban Development, 2016 (In Persian).
[29] Y. Zhang, P. A. Ioannou, "Combined variable speed limit and lane change control for highway traffic," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Sys-tems, Vol. 99, pp. 1–12, 2016.
[30] J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, and D. M. Nicol, "Discrete-Event system simulation (Fourth edition)," Prentice Hall Publisher. 2004.
[31] "Comprehensive plan of Kerman city," Kerman Municipality Transportation and Traffic Organization, 2012 (In Persian).