Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: https://modelling.semnan.ac.ir/

ISSN: 2783-2538

Research Article

Evaluation of Safety, Traffic and Economic Indicators of Traffic Calming Measures Using Software Simulation (Case Study: Qom City)

Sajad Abdi [a,*], Mohamad Hosein Dehnad [b]

[a] *Department of Civil Engineering, University of Qom, Qom, Iran*
[b] *Assistant Professor of Transportation Engineering, University of Qom, Qom, Iran*

PAPER INFO

Paper history:

Received: 18 November 2022
Revised: 19 July 2023
Accepted: 02 September 2023

Keywords:

Traffic calming
Safety
Simulation
Accident prediction
Economic assessment.

ABSTRACT

The increasing growth of vehicles and the decrease in road safety in developing countries have led to an increase in urban accident statistics. Urban management policymakers have aimed to implement effective solutions to improve the level of safety, reduce economic costs caused by accidents and environmental consequences of fossil fuel consumption. This is possible by implementing traffic calming measures, which change the behavior of drivers according to the environment by limiting the speed of vehicles. This study has tried to evaluate traffic calming measures by presenting 4 proposed scenarios, such as changing the speed reduction facilities, building a signalized intersection, and reducing the road width to calm the traffic flow on one of the high-traffic and accident-prone roads in Qom using Aimsun simulator software. The evaluation of accidents showed that the construction of new signalized intersections has reduced the average speed of vehicles by 35.5%, and the total number of accidents has increased from 474 in 2018 to 217. But this has led to an increase in the delay time and more time has been wasted. Further, the results of the investigation showed that by removing the speed reduction facilities and increasing the width of the road, the travel time was reduced by 19.9 and 9.3 percent, respectively, compared to the existing situation, and by constructing the signalized intersection, the speed of vehicles decreased by 12.9 percent.

DOI: https://doi.org/ 10.22075/jme.2023.29039.2364

© 2023 Published by Semnan University Press.
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*** Corresponding author.**

E-mail address: simoon.sajad.k@gmail.com

How to cite this article:
Abdi, S., & Dehnad, M. H. (2023). Evaluation of safety, traffic and economic indicators of traffic calming measures using software simulation (case study: Qom city). Journal of Modeling in Engineering, 21(75), 285-295. doi: 10.22075/jme.2023.29039.2364

مقاله پژوهشی

ارزیابی شاخص‌های ایمنی، ترافیکی و اقتصادی اقدامات آرام‌سازی ترافیک با بکارگیری شبیه‌سازی نرم‌افزاری (مطالعه موردی: شهر قم)

سجاد عبدی شیجانی [۱،*]، سیدمحمدحسین دهناد [۲]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۲۷
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱

واژگان کلیدی:
آرام‌سازی ترافیک،
ایمنی، شبیه‌سازی،
پیش‌بینی تصادفات،
ارزیابی اقتصادی.

چکیده

رشد روزافزون وسایل نقلیه و کاهش سطح ایمنی معابر در کشورهای درحال توسعه منجر به افزایش آمار تصادفات شهری شده است و سیاست‌گذاران مدیریت شهری به دنبال اعمال راه‌کارهای موثر برای ارتقای سطح ایمنی، کاهش هزینه‌های اقتصادی ناشی از وقوع تصادفات و خسارت‌های زیست محیطی مصرف سوخت‌های فسیلی بوده‌اند که این امر با انجام اقدامات آرام‌سازی ترافیکی میسر می‌گردد که با محدود کردن سرعت وسایل نقلیه، رفتار رانندگان را متناسب با محیط تغییر می‌دهد. این مطالعه با ارائه ۴ سناریوی پیشنهادی نظیر تغییر در تسهیلات کاهش سرعت، احداث تقاطع چراغدار و کاهش عرض راه جهت آرام‌سازی جریان ترافیکی برای یکی از معابر پرتردد و حادثه‌خیز در شهر قم با استفاده از نرم افزار شبیه‌ساز ایمسان سعی در ارزیابی اقدامات آرام‌سازی جریان ترافیکی داشته است. ارزیابی تصادفات نشان داد که احداث تقاطعات چراغدار جدید با کاهش سرعت متوسط وسایل نقلیه موجب کاهش ۳۵/۵ درصدی تصادفات شده است و مجموع تعداد تصادفات از ۴۷۴ عدد در سال ۱۳۹۸ به ۲۱۷ عدد رسانده است؛ اما این امر منجر به افزایش زمان تاخیر شده و اتلاف وقت بیشتری در آن صورت گرفته است. در ادامه نتایج بررسی نشان داد که با حذف تسهیلات کاهش سرعت و افزایش عرض سواره‌رو، زمان سفر به ترتیب به میزان ۱۹/۹ و ۹/۳ درصد نسبت وضع موجود کاهش یافته و با احداث تقاطع چراغدار، سرعت وسایل نقلیه به میزان ۱۲/۹درصد کاهش یافته است.

DOI: https://doi.org/ 10.22075/jme.2023.29039.2364

© 2023 Published by Semnan University Press.
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

۱-مقدمه

تصادفات یکی از عوامل تأثیرگذار بر مرگ و میر در دنیا به شمار می‌رود؛ بنا برگزارش سازمان بهداشت جهانی سالانه حدود یک میلیون و دویست هزار نفر جان خود را در اثر تصادفات جاده‌ای از دست می‌دهند و حدود پنجاه میلیون نفر نیز در اثر این حوادث آسیب می‌بینند [۱]. همچنین، به نقل از گزارش منتشر شده توسط پژوهشکده آمار ایران که به بررسی حوادث و تلفات جاده‌ای در ایران از سال ۱۳۹۲ تا ۹ ماه اول سال ۱۳۹۸ پرداخته است، نشان می‌دهد ایران با برآورد نرخ ۲۰/۵ فوتی در هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در رتبه ۱۱۳ از بین ۱۷۵ کشور قرار داشته که طی دوره ۶ ساله بیش از ۱۱۴ هزار نفر در تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست داده‌اند [۲]. افزایش فراوانی تصادفات اهمیت بیشتر ایمن‌سازی معابر و ارتقای سطح ایمنی را نشان می‌دهد، که در نتیجه اعمال سیاست‌های درست و کارآمد می‌تواند منجر به کـاهش خسارات جبران ناپذیر روحی و

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: simoon.sajad.k@gmail.com
۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد،گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم، قم، ایران.
۲. استادیار، گروه مهندسی حمل‌ونقل، دانشگاه قم، قم، ایران

استناد به این مقاله:
عبدی شیجانی, سجاد ,و دهناد, سیدمحمدحسین. (۱۴۰۲). ارزیابی شاخص‌های ایمنی، ترافیکی و اقتصادی اقدامات آرام‌سازی ترافیک با بکارگیری شبیه‌سازی نرم‌افزاری (مطالعه موردی: شهر قم) .*مدل سازی در مهندسی* ,*21*(75) , ۲۸۵-۲۹۵. doi: 10.22075/jme.2023.29039.2364

روانی و همچنین، جبران هزینه‌های اقتصادی ناشی از وقوع تصـادفات گردد [۳]. پیش‌بینی تصادفات یکی از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی ایمنی تبدیل شده است[۴].
یکی از راه‌کارهای اصلی که موجب کاهش تعداد، شدت تصادفات و ارتقای سطح ایمنی می‌گردد استفاده از اقدامات پیشنهادی جهت آرام‌سازی ترافیک است که با محدود کردن سرعت وسایل نقلیه موتوری، رفتار رانندگان را متناسب با محیط اطراف تغییر داده و عامل موثری در افزایش ضریب ایمنی عابران پیاده و دوچرخه‌سواران شناخته می‌شود [۵]. اقدامات آرام‌سازی ترافیک با اهداف متعددی شامل کاهش حجم و سرعت وسایل نقلیه، کاهش تداخل ترافیکی و تقاضای سفر ایجاد می‌شوند. با این حال، ممکن است این اقدامات بر دسترسی ساکنان، عملکرد وسایل نقلیه همگانی و اضطراری و هزینه‌های تعمیر و نگهداری خیابان اثر منفی داشته باشند و علاوه براین، در برخی مواقع با انتقال جریان وسایل نقلیه به سایر معابر موجب افزایش مشکلات ترافیکی شود [۶].
اگرچه تعریف آرام‌سازی ترافیک در نگاه اول به علت نامفهومی موجب سردرگمی در افراد می‌گردد [۷]، اما در مطالعه گادلی نشان داده شد که تعریف آرام‌سازی به معنای کاهش قابلیت دسترسی وسایل نقلیه برای یک هدف مشخص بوده است [۸]. آرام‌سازی برای اولین بار در اواخر دهه ۶۰ میلادی در شهر دلفت هلند برای کاهش سرعت وسایل نقلیه به کار گرفته شد و سپس توسط کشورهای آلمان، سوئد، دانمارک، انگلیس، فرانسه، ژاپن، اتریش و سوئیس عملیاتی شد. همچنین، اجرای اقدامات آرام‌سازی در اواخر دهه ۷۰ در کشور آلمان با هدف کاهش آثار زیان‌بار ترافیک حمل‌ونقل موتوری و ارتقاء کیفیت محیط زیستی در خیابان‌ها و محله‌های شهری مورد پذیرش قرار گرفت [۹].
آرام‌سازی در آمریکا برای اولین بار دردهه ۶۰ و ۷۰ میلادی در شهر برکلی و سیاتل به کار گرفته شد [۱۰]. در سال ۱۹۹۸، اداره کل بزرگراه‌های آمریکا تحقیقات گسترده‌تری نسبت تحقیقات دهه‌های قبل، به منظور استفاده از ابزارهای آرام‌سازی در مناطق مسکونی انجام داد [۱۱] و طرح‌های آرام‌سازی برای اولین بار در ایران در سال ۱۳۷۷ با استفاده از روش تعیین ظرفیت تقاطع‌های بدون چراغ راهنمایی مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۲].
در این پژوهش باتوجه به اهمیت و نقش آرام‌سازی ترافیکی در افزایش ایمنی و کاهش تصادف به بررسی وضعیت موجود بلوار حادثه خیز پانزده خرداد در شهر قم با استفاده از نرم افزار شبیه‌ساز ایمسان انجام شده و از طریق ارزیابی هزینه‌های ناشی از تصادفات، زمان تاخیر، مصرف سوخت و آلودگی هوا در طرح‌های پیشنهادی آرام‌سازی به اصلاح وضع موجود پرداخته شده است.

۲ -روش تحقیق

رشد روزافزون صنعت و توسعه شهری در دهه‌های اخیر موجب افزایش تراکم در شبکه حمل‌ونقل شهری شده است که این تراکم در کشور آمریکا در سال ۲۰۰۳ میلادی و نسبت به سال ۱۹۸۲ به میزان ۵۲۸ درصد افزایش یافته است [۱۳]. افزایش تراکم در شبکه‌های حمل‌ونقلی و محدودیت‌های روش‌های سنتی در تحلیل و ارزیابی استراتژی‌های مدیریتی باعث شده که تعداد زیادی از متخصصان حمل‌ونقلی به استفاده از روش‌های شبیه‌سازی ترافیکی گرایش پیدا کنند [۱۴].
نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ترافیکی، ابزاری قدرتمند در رشته حمل‌ونقل می‌باشد که به مطالعه شرایط ترافیکی کنونی و بررسی تأثیر تغییرات ساختاری در شبکه حمل‌ونقل به صورت مجازی می‌پردازد [۱۵]. در سطوح میان‌نگر و کلان‌نگر برای شبیه‌سازی شبکه‌های بزرگ ترافیکی و در سطح خردنگر برای مقاطع کوچکتر (میدان، چهارراه و تقاطع) استفاده می‌گردد [۱۶].
در مطالعات شفابخش و همکاران در سال ۱۳۹۲، پارامترهای ترافیکی نظیر حجم ترافیک، سرعت جریان ترافیک، تاخیر و جریان عبوری را به منظور بهبود وضع موجود برای تقاطع نماز در شهر شیراز انجام داده‌اند [۱۷].
در مطالعه دیگری میدان فردوسی در شهر تهران با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز مورد بررسی قرار گرفت [۱۸]. در مطالعه عبدی و مهدوی در سال ۱۳۹۷ با استفاده نرم‌افزار شبیه‌ساز ایمسان نشان داد که با افزایش تعداد خطوط میدان، سرعت متوسط وسایل نقلیه به میزان ۱۰ درصد افزایش یافته و زمان تاخیر نیز به میزان ۱۲ درصد کاهش خواهد یافت [۱۹]. همچنین، مرفانی و همکاران در سال ۲۰۱۸ میلادی نشان دادند که استفاده از چراغ راهنمایی در میدان و احداث زیرگذر می‌تواند عملکرد میدان را بهبود دهد [۲۰].
کفاش‌زاده و همکاران با استفاده از مدل‌سازی تقاطع چراغدار در شهر بیرجند، راه‌کارهای موثر به منظور بهبود

شرایط ترافیکی ارائه داده‌اند [۲۱]. شن در سال ۲۰۱۸ میلادی توانست با بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ تقاطع، تولید آلاینده‌های زیست محیطی در شرایط یکسان ترافیکی به میزان ۱۰ درصد کاهش دهد [۲۲]. همچنین، در مطالعات مویدفر و فیضی در شهر سنندج، پارامترهای ترافیکی نظیر جریان، چگالی، سرعت و زمان تاخیر مورد ارزیابی قرار گرفته و سناریوی بهینه برای تقاطع چراغدار ارائه کرده‌اند [۲۳].

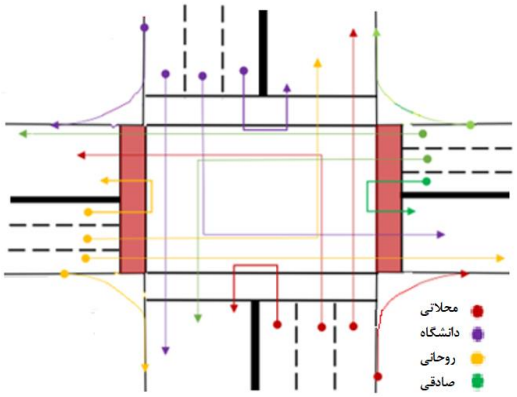
۲-۱-محدوده مورد مطالعه

شکل ۱- بلوار پانزده خرداد

محدوده مورد مطالعه مطابق شکل (۱)، بلوار شهدای پانزده خرداد به طول حدود ۴ کیلومتر که در حد فاصل بین پل رضوی تا میدان شهید محلاتی بوده است که از بخش شمالی توسط بلوار امام موسی صدر و در بخش جنوبی توسط بلوار شهید محلاتی قطع می‌شود. کاربری مختلف اداراتی، مراکز آموزشی، مراکز مذهبی، مراکز تفریحی، مراکز درمانی، کاربری‌های تجاری، خدماتی و تقاطعات مهم نظیر میدان جهاد (تقاطع با خیابان ۱۹ دی)، تقاطع سه سطحه عماریاسر و میدان شهید محلاتی و تقاطع چراغدار شهید روحانی می‌باشد. همچنین، از ورودی‌ها و خروجی‌های این بلوار می‌توان به بلوار شهید روحانی، بلوار محتشم کاشانی و خیابان شهید لواسانی اشاره نمود.

۲-۲ -برداشت اطلاعات

حجم تردد بلوار پانزده خرداد و اطلاعات گردش دسترسی‌های مهم در ساعت اوج ترافیک صبح از ساعت ۸:۰۰ تا ۹:۰۰ صبح، برای روزهای کاری به جز روزهای پنج‌شنبه و ایام تعطیل رسمی در وضعیت آب‌وهوای غیر بارانی برداشت شده است. تنها تقاطع چراغدار مطابق شکل (۲) با چهار فاز حرکتی که خیابان روحانی و خیابان صادقی را به بلوار جنوبی (میدان محلاتی) و شمالی (دانشگاه) پانزده خرداد متصل می‌کند.



شکل ۲- تقاطع چراغدار بلوار پانزده خرداد

زمان‌بندی چراغ راهنمایی برای ساعت ۶ تا ۱۱ صبح مطابق جدول ۱ برای چراغ سبز برای فاز اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب برابر ۴۵، ۴۲، ۲۰ و ۱۵ ثانیه، چراغ قرمز برای فاز اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب برابر ۹۰، ۹۳، ۱۱۵ و ۱۲۰ ثانیه و چراغ زرد برای تمام فازها برابر ۳ ثانیه در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- زمان‌بندی چراغ راهنمایی بلوار پانزده خرداد

شماره فاز حرکتی	جهت حرکت وسایل نقلیه	مدت زمان چراغ سبز	مدت زمان چراغ قرمز	مدت زمان چراغ زرد
۱	محلاتی	۴۵ ثانیه	۹۰ ثانیه	۳ ثانیه
۲	دانشگاه	۴۲ ثانیه	۹۳ ثانیه	
۳	خیابان روحانی	۲۰ ثانیه	۱۱۵ ثانیه	
۴	خیابان صادقی	۱۵ ثانیه	۱۲۰ ثانیه	

براساس گزارش سازمان پزشکی قانونی و پلیس راه استان قم، ۴۷۴ تصادف برای بلوار پانزده خرداد در سال ۱۳۹۸ ثبت شده است که مطابق جدول ۲ تعداد تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی به ترتیب برابر ۵۶، ۴۱۵ و ۳ نفر بوده است.

جدول ۲- اطلاعات تصادفات بلوار پانزده خرداد

تعداد تصادفات خسارتی	۵۶
تعداد تصادفات جرحی	۴۱۵
تصادفات فوتی	۳
مجموع تعداد تصادفات	۴۷۴

۲-۳-کالیبراسیون

اگرچه تولیدکنندگان نرم‌افزار مقادیر پیش‌فرضی برای پارامترهای مدل پیشنهاد داده‌اند؛ اما به منظور صحیح بودن عملکرد ترافیکی محدوده مورد مطالعه با کشورهای ارائه‌کننده نرم‌افزارها، مرحله کالیبراسیون برای مدل شبیه‌سازی شده انجام می‌گردد [۲۵,۲۴]. اختلاف بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده در کالیبراسیون باید از مقادیر حداقل کمتر باشد [۲۶]. برخی معیارهای قابل قبول مورد استفاده در این پژوهش مطابق جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- معیارهای قابل قبول برای فرآیند کالیبراسیون [۲۷]

پارامترهای کالیبراسیون	حد قابل قبول
جریان خط برش	۵ درصد
جریان کمان‌ها	۱۵ درصد
زمان سفر	۵ درصد
الگوی صف	مطابقت با خروجی‌های گرافیکی

به منظور ارزیابی حجم تردد، ضریب مجاز حجم تردد GEH با استفاده از معادله (۱) محاسبه شده است که مقدار M حجم ترافیکی ساعتی شبیه‌سازی شده و C مقدار حجم ترافیکی ساعتی اندازه‌گیری شده در واقعیت است [۲۸]:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \qquad (۱)$$

مقدار ضریب GEH برای شش نقطه شمارش شده، کمتر از ۵ درصد بدست آمده است که در سطح قابل قبولی قرار دارد [۲۸,۲۷].

۲-۴- سناریوهای پیشنهادی

۲-۴-۱- سناریوی اول، وضع موجود

سناریوی اول براساس وضع موجود در سال ۱۴۰۱، با وجود پارک حاشیه‌ای مدل شده است. نوع تسهیلات کاهش سرعت شامل پنج سرعت‌کاه قوسی، یک سرعت‌کاه تخت و یک سرعت‌گیر پلاستیکی بوده است و عرض سواره‌رو به علت درنظر گرفتن پارک حاشیه‌ای، یک خط عبوری کاهش یافته است.

۲-۴-۲- سناریوی دوم، وضع موجود بدون پارک حاشیه‌ای

سناریوی دوم براساس شرایط ترافیکی سناریوی اول، بدون در نظر گرفتن پارک حاشیه‌ای و به منظور بررسی تاثیر عرض سواره‌رو در پارامترهای ترافیکی، زیست محیطی و هزینه‌های اقتصادی مدل شده است. نوع و موقعیت قرارگیری تسهیلات کاهش سرعت مطابق سناریو اول در نظر گرفته شده است.

۲-۴-۳- سناریوی سوم، حذف سرعت‌کاه قوسی

سناریوی سوم مشابه شرایط ترافیکی در سناریوی اول، با وجود پارک حاشیه‌ای و به منظور بررسی تاثیر حذف تسهیلات کاهش سرعت در پارامترهای ترافیکی، زیست محیطی و هزینه‌های اقتصادی مدل شده است. بنابراین در این سناریو یکی از سرعت‌کاه قوسی حذف شده است.

۲-۴-۴- سناریوی چهارم، احداث تقاطع جدید

سناریوی چهارم مشابه شرایط ترافیکی در سناریوی اول با وجود پارک حاشیه‌ای و به منظور بررسی تاثیر احداث تقاطع جدید در پارامترهای ترافیکی، زیست محیطی و هزینه‌های اقتصادی مدل شده است. در این سناریو تقاطع چراغدار جدید با چهار فاز حرکتی که خیابان محتشم کاشانی و خیابان دروازه‌ری را به بلوار جنوبی (میدان محلاتی) و شمالی (میدان جهاد) پانزده خرداد متصل شده و در آن دو تسهیلات کاهش سرعت که در نزدیکی تقاطع جدید وجود داشته‌اند، حذف شده است.

زمان‌بندی چراغ راهنمایی برای ساعت ۶ تا ۱۱ صبح مطابق جدول ۴ با استفاده نرم‌افزار سینکرو[1] بهینه سازی شده که مدت زمان چراغ‌های سبز برای فاز اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب برابر ۳۰، ۴۰، ۱۵ و ۱۰ ثانیه، چراغ قرمز برای فاز اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب برابر ۷۷، ۶۷، ۹۲ و ۹۷

[1] Synchro

ثانیه و چراغ زرد برای تمام فازها برابر ۳ ثانیه در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- زمان‌بندی چراغ تقاطع جدید

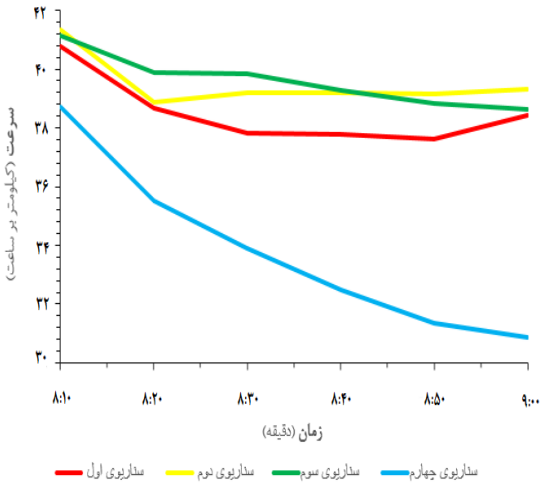
شماره فاز حرکتی	جهت حرکت وسایل نقلیه	مدت زمان چراغ سبز	مدت زمان چراغ قرمز	مدت زمان چراغ زرد
۱	میدان محلاتی	۳۰ ثانیه	۷۷ ثانیه	۳ ثانیه
۲	میدان جهاد	۴۰ ثانیه	۶۷ ثانیه	
۳	خیابان محتشم کاشانی	۱۵ ثانیه	۹۲ ثانیه	
۴	خیابان دروازه‌ری	۱۰ ثانیه	۹۷ ثانیه	

۳- یافته‌های تحقیق

۳-۱- سرعت

نتایج سرعت متوسط وسایل نقلیه در مدت یک ساعت برای سناریوی‌های پیشنهادی مطابق شکل (۳) نشان داد که افزایش عرض سواره‌رو در سناریوی دوم و حذف تسهیلات کاهش سرعت در سناریوی سوم منجربه افزایش سرعت متوسط شده است که مطابق جدول ۵ میزان سرعت متوسط کل برای سناریوی دوم و سوم به ترتیب برابر ۳۵/۵ و ۳۶/۲ کیلومتر بر ساعت کیلومتر بر ساعت بوده که این عدد در سناریوی اول برابر ۳۴/۴ کیلومتر بر ساعت بدست آمده است.

احداث تقاطع جدید در سناریوی چهارم موجب کاهش سرعت متوسط شده است که مطابق جدول (۵) میزان سرعت متوسط کل برای سناریوی چهارم برابر۲۹/۷ کیلومتر بر ساعت کیلومتر بر ساعت بوده که نسبت به سناریوی اول، ۱۳/۶ درصد کاهش یافته است.



شکل ۳- تغییرات سرعت سناریوها

جدول ۵- سرعت متوسط سناریوها

شماره سناریو	زمان تاخیر (ثانیه)
۱	۱۵۳۰/۱
۲	۱۳۸۷/۶
۳	۱۲۲۵/۹
۴	۲۸۰۷/۶

۳-۲- تصادفات

مدل‌سازی تصادفات را می‌توان در سه دسته کلی، مدل‌های بیان‌کننده تعداد، شدت و احتمال خطر تقسیم‌بندی نمود [۲۹]. در مدل‌های بیان‌کننده تعداد تصادفات، تابع پیش‌بینی تعداد تصادفات برابر $E(Y_i) = \mu_i x$ ارائه شده است که در آن پارامترهای پیش‌بینی خصوصیات هندسی، شرایط جوی و دیگر عوامل مربوط به آن $\left(x_{i_1}.x_{i_2} \dots .x_{i_q}\right)$ با ضرایب μ_i برای n مسیر یا n تقاطع برآورد شده است [۳۰]. از مدل‌های معروف در این زمینه می‌توان به روندگرای پواسون[1]، روندگرای خطی چند متغیره[2] و روندگرای دوجمله‌ای منفی[3] اشاره نمود [۳۱-۳۳].

در مدل‌های بیان‌کننده شدت تصادفات به بررسی محل وقوع تصادفات، رابطه بین عوامل موثر در بروز تصادفات و میزان شدت تصادفات به کار گرفته شده است [۳۴] و اقدامات موثر در پیشگیری از تصادفات در این مدل‌ها در اولویت بیشتری قرار دارد [۲۹]. از مدل‌های معروف در این زمینه می‌توان به رگرسیون پروبیت[4]، انواع شبکه‌های عصبی[5] و رگرسیون لجستیک[6] اشاره نمود [۳۵-۳۷].

در مدل‌های بیان‌کننده احتمال خطر تصادفات به بررسی احتمال وقوع تصادفات در مقطع به کار گرفته شده است [۳۸] و شناسایی و اقدامات لازم جهت جلوگیری از تصادفات در آن مورد بررسی قرار گرفته است [۳۹]. در این

[1] Poisson regression
[2] Multivariate linear regression
[3] Negative binomial regression
[4] Probit regression
[5] Neural networks
[6] Logistic regression

تحقیق پیش‌بینی تصادفات از مدل نیلسون برای سه مقیاس تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی مطابق روابط (۲) تا (۴) به ترتیب استفاده شده است [۴۰].

$$\frac{\text{تعداد تصادفات فوتی بعد اجرای}}{\text{تعداد تصادفات فوتی قبل اجرای}} = \left(\frac{\text{سرعت متوسط بعد اجرای}}{\text{سرعت متوسط قبل اجرای}}\right)^{۴} \quad (۲)$$

$$\frac{\text{تعداد تصادفات جرحی بعد اجرای}}{\text{تعداد تصادفات جرحی قبل اجرای}} = \left(\frac{\text{سرعت متوسط بعد اجرای}}{\text{سرعت متوسط قبل اجرای}}\right)^{۳} \quad (۳)$$

$$\frac{\text{تعداد تصادفات خسارتی بعد اجرای}}{\text{تعداد تصادفات خسارتی قبل اجرای}} = \left(\frac{\text{سرعت متوسط بعد اجرای}}{\text{سرعت متوسط قبل اجرای}}\right)^{۲} \quad (۴)$$

براساس مطالعات آیتی می‌توان هزینه تصادفات درون‌شهری در سال ۱۳۸۳ را برای تصادفات خسارتی برابر ۵۲۰,۰۰۰ تومان و برای تصادفات جرحی و فوتی به ترتیب برابر ۱۳,۰۰۰,۰۰۰ و ۴۹۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان درنظر گرفت [۴۱]. پس از بروزرسانی هزینه تصادفات درون‌شهری درسال ۱۳۹۸ براساس شاخص‌های اقتصادی بانک مرکزی، برای تصادفات خسارتی، جرحی و فوت به ترتیب برابر ۸,۶۲۱,۶۰۰، ۲۱۵,۵۴۰,۰۰۰ و ۸,۱۲۴,۲۰۰,۰۰۰ تومان بدست آمده است. در ادامه مطابق جدول ۶ پیش‌بینی فراوانی تصادفات و میزان منفعت حاصل از کاهش تعداد تصادفات برای تمام سناریوها نشان داده شده است.

جدول ۶- پیش‌بینی و هزینه تصادفات سناریوها

شماره سناریو	تصادفات فوتی	تصادفات جرحی	تصادفات خسارتی	مجموع تصادفات	هزینه تصادفات (تومان)
۱	۳	۴۱۵	۵۶	۴۷۴	۱۱۴,۳۰۴,۵۰۹,۶۰۰
۲	۲	۳۰۵	۴۶	۳۵۳	۸۲,۲۸۳,۶۵۵,۷۵۶
۳	۲	۳۲۳	۴۷	۳۷۳	۸۷,۵۷۷,۵۸۷,۹۲۲
۴	۱	۱۸۳	۳۳	۲۱۷	۴۸,۰۳۸,۳۹۲,۱۹۱

۳-۳- زمان تاخیر

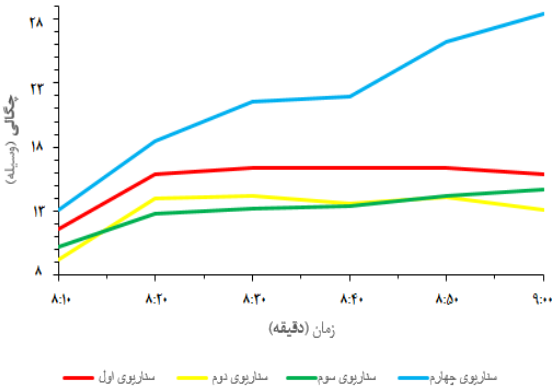
براساس گزارش مصوبه شورای فرهنگ عمومی و با صرف نظر از تعطیلات ناشی از شیوع ویروس کرونا؛ میزان تعطیلات در سال ۱۳۹۸ را برابر ۲۸۸ روز و ۸ ساعت کاری درنظر گرفته شده است. همچنین، در مطالعات آیتی، متوسط درآمد سرانه هر ایرانی در سال ۱۳۸۳ برابر ۲۲۳ تومان در هر ساعت محاسبه شده است [۴۱]. پس از بروزرسانی هزینه متوسط درآمد در سال ۱۳۹۸ براساس گزارش شاخص‌های اقتصادی بانک مرکزی ایران، زمان تاخیر کل مسیر و هزینه ناشی از آن برای سناریوهای پیشنهادی مطابق جدول ۷ محاسبه شده است.

۳-۴- چگالی

میزان چگالی کل برای سناریوی سوم برابر ۶۶/۲ وسیله بوده که این عدد در سناریوی اول برابر ۶۷/۱ وسیله در کل مسیر بدست آمده است و نتایج چگالی وسایل نقلیه در مدت یک ساعت مطابق شکل (۴) نشان داد که حذف تسهیلات کاهش سرعت در سناریوی سوم موجب کاهش چگالی شده است، چراکه کاهش سرعت وسایل نقلیه در هنگام عبور از تسهیلات کاهش سرعت منجر به افزایش تراکم در شبکه خواهد شد. میزان چگالی کل در سناریوی چهارم برابر ۸۹/۲ وسیله برای مسیر بوده که این عدد در سناریوی اول برابر ۶۷/۱ وسیله بدست آمده است و نتایج چگالی وسایل نقلیه در مدت یک ساعت مطابق شکل (۴) نشان داد که احداث تقاطع چراغدار جدید موجب افزایش چگالی شده است، چراکه وجود تقاطع چراغدار منجر به توقف وسایل نقلیه در پشت چراغ و افزایش تراکم در شبکه خواهد شد. همچنین، حذف پارک حاشیه‌ای در سناریوی دوم موجب کاهش چگالی شده است که مطابق جدول (۸) میزان چگالی برای سناریوی دوم برابر ۶۶/۵ وسیله بوده که نسبت به سناریوی اول ۰/۸ درصد کاهش یافته است.

جدول (۷) هزینه‌های زمان تاخیر سناریوها

شماره سناریو	زمان تاخیر (ثانیه)	هزینه کل‌تاخیر وسایل نقلیه (تومان)
۱	۱۵۳۰/۱	۱,۹۸۲,۴۰۲,۵۷۶
۲	۱۳۸۷/۶	۱,۷۹۹,۷۳۴,۳۰۵
۳	۱۲۲۵/۹	۱,۶۷۸,۹۷۷,۸۹۱
۴	۲۸۰۷/۶	۳,۳۱۳,۷۷۱,۸۴۰



شکل (۴) میزان چگالی سناریوها

جدول (۸) میزان چگالی سناریوها

شماره سناریو	چگالی (وسیله)
۱	۶۷/۱
۲	۶۶/۵
۳	۶۶/۲
۴	۸۹/۲

۳-۵- مصرف سوخت

میزان و هزینه مصرف سوخت ناشی از زمان تاخیر در جدول (۹) برای کل مسیر نشان داده شده است. هزینه کل سوخت از ضرب میزان مصرف سوخت بنزین و نفت‌گاز (گازوئیل) در قیمت مصوب آن که ترتیب برابر ۳۰۰۰ و ۳۰۰ تومان بوده، محاسبه شده است.

۳-۶- آلودگی هوا

سهم آلاینده‌های زیست محیطی مانند کربن مونوکسید[1]، هیدروکربن‌ها[2] و اکسیدهای نیتروژن[3] ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی برای سناریوهای مختلف مطابق جدول (۱۰) آورده شده است. براساس تحقیقات کوکلمن و همکاران در سال ۲۰۱۰، بیشترین هزینه ناشی از آلاینده‌های مونوکسید، هیدروکربن‌ها و اکسیدهای نیتروژن به ترتیب برابر ۰/۱۴، ۵/۸ و ۷/۶ دلار بوده است [۴۲]. در نتیجه باتوجه به متوسط نرخ دلار آزاد که در سال ۱۳۹۸ که برابر ۱۴,۷۰۰ تومان در نظر گرفته شده است [۴۳]. هزینه آلاینده‌های زیست محیطی مطابق جدول (۸) محاسبه شده است.

جدول ۹- میزان و هزینه مصرف سوخت در سناریوها

شماره سناریو	۱	۲	۳	۴
مصرف بنزین (لیتر)	۷۴۶۵	۷۷۳۴	۶۴۳۶	۱۵۵۳۶
مصرف نفت‌گاز (لیتر)	۳۸۷۹	۳۴۶۳	۳۰۲۰	۲۷۳۸
جمع کل سوخت (لیتر)	۱۱۳۴۵	۱۱۱۹۶	۹۴۵۵	۱۸۲۷۴
هزینه بنزین (تومان)	۲۲,۳۹۷,۷۰۰	۲۳,۲۰۱,۰۷۰	۱۹,۳۰۶,۸۶۰	۴۶,۶۰۸,۰۰۰
هزینه نفت‌گاز (تومان)	۱,۱۶۳,۶۱۰	۱,۰۳۸,۹۶۰	۹۰۶,۰۹۶	۸۲۱,۲۵۰
هزینه کل سوخت (تومان)	۲۳۱,۵۶۱,۶۱۰	۲۴,۲۴۰,۰۳۰	۲۰,۲۱۲,۹۵۶	۴۷,۴۲۹,۲۵۰

جدول ۱۰- میزان و هزینه آلاینده‌های زیست محیطی

شماره سناریو	۱	۲	۳	۴
میزان آلاینده CO (کیلوگرم)	۱۶۷۹/۹	۱۵۲۹/۹	۱۳۳۴/۶	۲۹۶۵/۶
میزان آلاینده HC (کیلوگرم)	۱۶۰/۸	۱۴۶/۵	۱۲۷/۸	۲۸۳/۹
میزان آلاینده NOx (کیلوگرم)	۲۸/۶	۲۶	۲۲/۷	۵۰/۵
هزینه آلاینده CO (تومان)	۳,۴۵۷,۲۳۴	۳,۱۴۸,۵۳۴	۲,۷۴۶,۶۰۷	۶,۱۰۳,۲۰۵
هزینه آلاینده HC (تومان)	۱۳,۷۰۹,۸۰۸	۱۲,۴۹۰,۵۹۰	۱۰,۸۹۶,۲۲۸	۲۴,۲۰۵,۳۱۴
هزینه آلاینده NOx (تومان)	۳,۱۹۵,۱۹۲	۲,۹۰۴,۷۲۰	۲,۵۳۶,۰۴۴	۵,۶۴۱,۸۶۰
هزینه کل (تومان)	۲۰,۳۶۲,۲۳۴	۱۸,۵۴۳,۸۴۴	۱۶,۱۷۸,۸۷۹	۳۵,۹۵۰,۳۷۹

[1] CO, Carbon monoxide
[2] HC, Hydrocarbons
[3] $NO_X = NO + NO_2$, Nitrogen oxides

۴- نتیجه‌گیری

به منظور انتخاب سناریوی بهینه که با آرام‌سازی جریان ترافیک موجب کاهش تصادفات و افزایش ایمنی در بلوار پانزده خرداد گردد، چهار سناریو در نرم‌افزار ایمسان شبیه‌سازی شده است. در سناریوی اول براساس وضع موجود در سال ۱۴۰۱؛ با وجود پارک حاشیه‌ای شبیه سازی شده و در سناریوی دوم براساس شرایط ترافیکی سناریوی اول؛ بدون در نظر گرفتن پارک حاشیه مدل شده است. در ادامه، سناریو سوم مشابه شرایط ترافیکی در سناریوی اول؛ یکی تسهیلات کاهش سرعت حذف شده است و در سناریو چهارم مشابه شرایط ترافیکی در سناریوی اول با وجود پارک حاشیه‌ای و به منظور بررسی تاثیر احداث تقاطع جدید در پارامترهای ترافیکی، زیست محیطی و هزینه‌های اقتصادی مدل شده است.

در ارزیابی ترافیکی و زیست محیطی به بررسی پارامترهای زمان تاخیر، سرعت، سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی (کربن‌مونوکسید، هیدروکربن و اکسیدهای نیتروژن) بوده است و در ارزیابی اقتصادی به بررسی هزینه‌های ناشی از فراوانی تصادفات، زمان تاخیر، مصرف سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی پرداخته شده است. بهترین سناریو از نظر اقتصادی و آرام‌سازی سناریوی دهم شناخته شده است که با احداث تقاطع چراغدار نه‌تنها سرعت وسایل نقلیه به میزان ۱۲/۹ درصد کاهش یافته؛ بلکه مجموع هزینه‌های ناشی از کاهش تعداد تصادفات، زمان تاخیر، مصرف سوخت و تولید آلاینده‌های زیست محیطی به میزان ۵۴/۳ درصد نسبت به وضع موجود کاهش داشته است.

بهترین سناریو از نظر ترافیکی، سناریوی سوم بوده که در آن یک سرعت‌کاه قوسی حذف شده است و در نتیجه موجب کاهش زمان سفر و چگالی به ترتیب به میزان ۱۹/۹ و ۱/۳ درصد نسبت وضع موجود در سناریوی اول و همچنین، بهترین سناریوی زیست محیطی بوده است که موجب کاهش مصرف سوخت به میزان ۱۶/۷ درصد نسبت به وضع موجود شده و تولید آلاینده زیست محیطی به میزان ۲۰/۵ درصد کاهش یافته است.

مراجع

[۱] وهاب‌زاده، ابراهیم. " تأثیر عوامل انسانی بر وقوع تصادفات رانندگی رایگان در جاده کرج - قزوین در سال ۱۳۸۳ و راههای کنترل و کاهش آن" . فصلنامه راهور۴، ۴ (۱۳۸۷): ۱۱۳-۱۴۲

[۲] پژوهشکده آمار ایران. "گزارش تحلیلی آمار تصادفات و تلفات جاده‌ای". (۱۳۹۸): EC-۴-۲-۹۸-۰۶-۴

[۳] امیر پور، چاوشی. "روش‌های نوین آرام سازی ترافیک". فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک ۹، ۳، (۱۳۸۷): ۱۰۹-۱۲۳

[۴] باقری رامیانی، مسعود و غلامرضا شیرازیان. " ارائه مدل پیش بینی تعداد تصادفات حمل و نقل کالا مشتمل بر فوتی و جرحی با استفاده از برنامه ریزی ژنتیک". مدل‌سازی در مهندسی ۱۸، ۶۱، (۱۳۹۹): ۶۲-۴۹

[۵] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری." طراحی هندسی بزرگراه". آئین‌نامه ۴۱۵، (۱۳۹۱)

[۶] معاونت حمل و نقل وزارت راه و شهرسازی جمهوری اسلامی ایران. " آیین‌نامه طراحی معابر شهری" (۱۳۹۹) بخش ۶ ، آرام‌سازی ترافیک

[۷] خاوندی، علیرضا و سید امید رضاییان. "بررسی اثر تراکم راه‌های دسترسی بر تصادفات در راه‌های دو خطه برون‌شهری (مطالعه موردی محور اهر-تبریز)". فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل ۹، ۴، (۱۳۹۷): ۶۱۹ - ۶۳۰

[۸] حقیقی، فرشید، حامد یوسفی، رضا جعفری و علی اکبری. "بررسی تأثیر اقدامات ادراکی آرام‌کننده ترافیک در کاهش سرعت ورود به شهرها در دنیای واقعی و محیط شبیه‌ساز رانندگی". فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل ۶، ۳، (۱۳۹۳): ۴۲۹-۴۴۴

[9] Godley, Stuart Thomas. "A driving simulator investigation of perceptual countermeasures to speeding".

[10] Katz, Bryan, and Hesham Ahmed Rakha. "Determination of Effective Design of Peripheral Transverse Bars to Reduce Speeds on a Controlled Roadway". no. 08-1253. (2008)

[۱۱] تن‌زاده، جواد و پژوهان توسطی خیری."اصلاح مشخصات فنی و اجرایی سرعت‌کاه‌ها و روش‌های آرام‌سازی معابر به منظور عبور وسایل نقلیه حامل مواد خطرناک". فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک ۱۰، ۳، (۱۳۸۷): ۲۵-۳۲

[۱۲] رضا حقیقی، فرشید، حامد یوسفی و فاطمه یوسفی." بررسی میزان تاثیرگذاری خط‌کشی عرضی روسازی بر آرام‌سازی ترافیک با استفاده از آزمونT (مطالعه موردی: ورودی شهر ایزدشهر)". مهندسی زیرساخت‌های حمل‌ونقل ۱، ۴، (۱۳۹۴): ۹۱-۷۹

[13] Fang, Fang Clara, and Lily Elefteriadou. "Some guidelines for selecting microsimulation models for interchange traffic operational analysis." Journal of Transportation Engineering 131.7 (2005): 535-543.

[14] Rakha, Hesham A., and Michel W. Van Aerde. "Comparison of simulation modules of TRANSYT and INTEGRATION models." Transportation Research Record 1566.1 (1996): 1-7. [15]Respati, S.W" Traffic Modeling and Simulation on the Norra Promenaden-Packhusgatan Intersection, Sweden "Jurnal Teknologi Terpadu, 2015, 3(1).

[16] Anya, Abseen R., et al. "Application of AIMSUN microsimulation model to estimate emissions on signalized arterial corridors." Transportation Research Record 2428.1 (2014): 75-86.

[۱۷] شفابخش، غلامعلی ، علی مصلی نژاد و سید محمد حسین ریاستیان. " اصلاح طراحی هندسی تقاطع نمازی شیراز با نرم افزار شبیه سازی Aimsun ". مجله راهور۱۰، ۲۲، (۱۳۹۲): ۹۵-۱۱۱

[۱۸] ابراهیمیان، سید محمد و ایمان عنایتی نوآبادی." کاربرد نرم افزار AIMSUN در مدیریت ترافیک مطالعه موردی محدوده میدان فردوسی تهران". همایش ملی مهندسی عمران کاربردی و دستاوردهای نوین، (۱۳۹۲)

[۱۹] عبدی، علی و علی مهدوی کوچک‌سرای." تحلیل تاثیر طراحی هندسی مربع در ویژگی های عملکردی آن با استفاده از نرم افزار شبیه ساز ترافیک ایسمان". مجله راهور، (۱۳۹۲)

[20] Marfani, Sharukh, Shihora, Kanthariya, Kansara. "Traffic Improvement for Urban Road Intersection, Surat." Traffic 5.03 (2018): 2966-2970.

[۲۱] افشازاده، سجاد. " ارائه مدل برآورد چراغ راهنمایی با استفاده از گزارش آماری حجم ترافیک (مطالعه موردی: تقاطع غفاری- ناصری بیرجند)". فصلنامه علمی تخصصی ایده های نوین در علم، آموزش و فناوری ۱، ۲، (۱۳۹۶): ۲۳- ۲۱

[22] Shen, Yajun. "An optimization model of signal timing plan and traffic emission at intersection based on Synchro." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. vol. 189. no. 6. IOP Publishing, (2018).

[۲۳] مویدفر، رضا، صالح فیضی. "طراحی و توسعه مدلی برای بهبود شبکه های دسترسی در شهرهای متوسط با استفاده از روش شبیه سازی (مطالعه موردی شهر سنندج)". مجله تحقیقات حمل‌ونقل۴،۲ (۱۳۹۸): ۴۰۰-۴۱۴

[۲۴] نایبی، مهدی، سجاد فرهادی کیا و سعید فرخی زاده " بهبود عملکرد تقاطع‌های همسطح با رویکرد افزایش سطح خدمات با الگوریتم‌های شبیه‌سازی (مطالعه موردی: تقاطع‌ها با چراغ‌های راهنمایی در استان تهران)". ششمین نمایشگاه تخصصی انبوه سازان مسکن و ساختمان استان تهران. (۱۳۹۹)

[۲۵]سید محمد حسین دهناد و علیرضا نوری " بکارگیری شبیه‌سازی یکپارچه وسایل نقلیه و عابرین پیاده در ارزیابی سیاست‌گذاری‌های قطار شهری (مطالعه موردی قطعه‌ای از خط یک متروی تهرا)" مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۹، شماره۶۶، مهر ۱۴۰۰، صفحه ۱۲۹-۱۲۱

[۲۶] واحد تدوین سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، "ارائه دستورالعمل در مورد نحوه شبیه سازی، کالیبراسیون و اعتبار سنجی نرم افزار ایمسان" حمید یزدان پناه، زینب عبادی‌شیویاری، محمد علی آرمان، افشین شریعت‌محیمانی، مهدی عابدینی، مرتضی خشایی پور. جلد ۱.

[27] Caliendo, Ciro, and Maurizio Guida. "Microsimulation approach for predicting crashes at unsignalized intersections using traffic conflicts." Journal of transportation engineering 138.12 (2012): 1453-1467.

[28]Luk, Tay ".The use and application of microsimulation traffic models". (2006) AP-R286/06

[۲۹] حسینیان، سید محسن، محمود عامری و ندا کامبوزیا. "تحلیل و مدلسازی حوادث شهری تحت تأثیر عوامل جوی و ارائه راهکارهای ایمنی" نشریه جاده ۱۰۶،۱۹، (۱۴۰۰): ۱۱۵-۱۲۸

[30] Lord, Dominique, and Fred Mannering. "The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives." Transportation research part A: policy and practice 44.5 (2010): 291-305.

[31] Ning, Bo, Seonghyun Jeong, and Subhashis Ghosal. "Bayesian linear regression for multivariate responses under group sparsity." (2020): 2353-2382.

[32] Pagliara, Francesca, and Filomena Mauriello. "Modelling the impact of high speed rail on tourists with geographically weighted poisson regression." Transportation Research Part A: Policy and Practice 132 (2020): 780-790.

[33] Zapf, Antonia, Thomas, Christoph, Tobias, Tim. "Blinded sample size reestimation for negative binomial regression with baseline adjustment." Statistics in Medicine 39.14 (2020): 1980-1998.

[34] Benlagha, Noureddine, and Lanouar Charfeddine. "Risk factors of road accident severity and the development of a new system for prevention: New insights from China." Accident Analysis & Prevention 136 (2020): 105411.

[35] Kuha, Jouni, and Colin Mills. "On group comparisons with logistic regression models." Sociological Methods & Research 49.2 (2020): 498-525.

[36] Go, Matthew and Joseph Hefner. "Morphoscopic ancestry estimates in Filipino crania using multivariate probit regression models." American Journal of Physical Anthropology 172.3 (2020): 386-401.

[37] Pradhan, Biswajeet, Ibrahim Sameen. "Modeling traffic accident severity using neural networks and support vector machines." Laser Scanning Systems in Highway and Safety Assessment: Analysis of Highway Geometry and Safety Using LiDAR (2020): 111-117.

[38] Cho, Wan Il, and Seung Ju Lee. "Fault tree analysis as a quantitative hazard analysis with a novel method for estimating the fault probability of microbial contamination: A model food case study." Food Control 110 (2020): 107019.

[39] Jung, Sejin, Junbeom Yoo, and Young-Jun Lee. "A software fault tree analysis technique for formal requirement specifications of nuclear reactor protection systems." Reliability Engineering & System Safety 203 (2020): 107064.

[۴۰] بهروز، حجت اله، فرشید باباخانی و علیرضا سرکار "سیستم های مدیریت سرعت در سیستم حمل و نقل و ترافیک".انتشارات شرکت کنترل ترافیک تهران، جلد ۱(۱۳۸۸)

[۴۱] آیتی، اسماعیل "هزینه تصادفات (نظریه، کاربردی)" وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل و نقل، (۱۳۸۸): ۷۵۰

[42] Alireza, Ahmed, Mehdi, P "Investigating the effect of using video surveillance cameras in recording traffic violations on drivers' traffic behavior (case study of Gorgan city)". Golestan Police Science Quarterly 27 no: 7 (2016): 9-36

[۴۳] جوادیان رضا و عین الله جهانی. "اثربخشی دوربین در ثبت طرح های زوج و فرد بر قانون رانندگان شهر تهران". مجله جاده۵۰، ۹۶ (۱۳۹۷): ۱۷۱-۱۶۱