

مدل توزیع ریسک تصادفات شدید در بین هر جفت مبدا- مقصد از نواحی

ترافیکی - مطالعه موردی شهر قم

سامان دباغ فیضی، دانشجوی دکتری حمل و نقل، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

علی نادران (مسئول مکاتبات)، استادیار دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

E-mail: naderan@srbiau.ac.ir

علی توکلی کاشانی، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱

چکیده

مدل‌های پیش‌بینی تصادفات ابزار مفیدی در مطالعات برنامه‌ریزی حمل و نقل هستند که امکان بررسی ایمنی و تغییرات آن به‌لحاظ تصمیمات اتخاذ شده برای آینده را میسر می‌سازند. هدف اصلی این مطالعه، توسعه مدل پیش‌بینی تصادفات براساس گام توزیع سفر از مدل‌های مرسوم چهارمرحله‌ای تقاضای سفر است که در این مطالعه به اسم مدل توزیع ریسک تصادفات عنوان شده است. به این‌منظور مدل دوجمله‌ای منفی با توزیع لگاریتمی به کار گرفته شده است. فراوانی تصادفات شدید شهر قم شامل مجموع تصادفات فوتی و جرحی در بین هر جفت مبدا- مقصد از نواحی ترافیکی به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای توصیفی شامل داده‌های ترافیکی و نتایج توزیع سفر برای کالیبراسیون مدل، مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های ترافیکی شامل وسیله- کیلومتر طی شده، زمان سفر تجربه شده با وسیله نقلیه و متوسط سرعت وسیله سفر در بین هر جفت مبدا- مقصد از نواحی ترافیکی استفاده شده است. نتایج توزیع سفر شامل توزیع سفر به تفکیک اهداف شغلی، تحصیلی، خرید و شخصی استفاده شده است. نتایج حاصل از کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل نشان‌دهنده وجود رابطه معنادار بین متغیرهای مذکور با فراوانی تصادفات شدید است. از این‌رو، مدل توسعه داده شده امکان پیش‌بینی تعداد تصادفات شدید در سال‌های آینده براساس افزایش تعداد سفرهای توزیع شده در بین نواحی ترافیکی را فراهم می‌کند. بنابراین، به کمک این مدل، امکان شناسایی و اولویت‌بندی سفرهای با مبدا- مقصد پرخطر به‌لحاظ ایمنی فراهم شده و می‌توان تاثیر سناریوهای مختلف مدیریت تقاضای سفر را بر ایمنی ارزیابی کرد.

واژه‌های کلیدی: توزیع ریسک تصادفات، مدل پیش‌بینی تصادفات، مدل دوجمله‌ای منفی، مدل سطح کلان، مدل هم‌فزون

۱. مقدمه

یکی از مهمترین ویژگی‌های عملکردی سیستم حمل و نقل، ایمنی است که مطالعات آن با توجه به مقیاس مطالعه و زمان تاثیرگذاری در سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود. هنگامی که بخشی از یک جاده یا یک تقاطع مدنظر باشد مطالعات در سطح خرد [Alarifi et al., 2018; Zhu et al., 2022] انجام می‌شود که در شناسایی و حل مشکلات ایمنی در یک مکان خاص موثر است [Wang et al., 2016]. چنان‌که سطح وسیع‌تری از منطقه مورد مطالعه مدنظر باشد (مانند نواحی ترافیکی) مطالعات در سطح کلان [Amoh-Gyimah et al., 2016; Tang et al., 2020; Zeng et al., 2022; Zhai et al., 2018] انجام می‌شود که در کمک به ایجاد سیاست برنامه‌ریزی بلندمدت برای بهبود ایمنی مفیدتر است [Wang et al., 2016]. و چنان‌که ترکیبی از چند تقاطع و یا بخش‌هایی از معابر مدنظر باشد، مطالعات در سطح میانی [Li & Wang, 2022; Wang et al., 2017] انجام می‌شود که به لحاظ مقیاس و زمان تاثیرگذاری در بین مطالعات کلان و خرد قرار می‌گیرد [Pljakić et al., 2019; Wang et al., 2016]. بنابراین با اتخاذ رویکرد مطالعات در سطح کلان می‌توان موضوع ایمنی را از همان ابتدا متناسب با برنامه‌ریزی‌های کلان حمل و نقل (مانند مطالعات جامع حمل و نقل) پیش برد و تاثیر تصمیم‌گیری‌های بلندمدت را بر ایمنی ارزیابی کرد.

ارزیابی بلندمدت ایمنی در حمل و نقل مستلزم تامین ابزارهایی است تا بتوان به کمک آن تعداد و تغییرات تصادفات را در آینده پیش‌بینی کرد. یکی از مهمترین این ابزارها مدل‌های پیش‌بینی تصادفات است. از مدل‌هایی که استفاده از آنها عمومیت بیشتری در مطالعات پیشین داشته می‌توان به مدل رگرسیون پواسون [Chatterjee et al., 2003; Miaou & Lum, 1993] مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی [Ladron de Guevara et al., 2022; Mathew et al., 2004; al., 2010]، مدل رگرسیون پواسون با توزیع لگاریتمی چندمتغیره [El-

[Basyouny & Sayed, 2009; Wang et al., 2017]

مدل‌های رگرسیون پرفسور پواسون و دوجمله‌ای منفی [Lukusa & Phoa, 2020; Sun et al., 2021] مدل کانوی- ماکسول- پواسون [Abdella et al., 2019; Mammadova & Özkale, 2020]، مدل شبکه عصبی مصنوعی [Zeng & Huang, 2014; Zeng et al., 2016] و مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی [Almasi & Behnood, 2022; Mathew et al., 2022] اشاره کرد.

درواقع یک مدل پیش‌بینی تصادف، رابطه بین وقوع تصادف به‌عنوان متغیر وابسته را با سایر داده‌ها به‌عنوان متغیر توصیفی ارایه می‌کند [Alarifi et al., 2018]. ذکر این نکته لازم است که انتخاب متغیرها (هر دو متغیر وابسته و توصیفی) در هر مطالعه وابسته به موارد زیادی از جمله موضوع مطالعه و یا داده‌های در دسترس است. علاوه بر این، متغیرهای وابسته که استفاده از آنها عمومیت بیشتری در مطالعات پیشین داشته شامل فراوانی تصادفات کل [Huang et al., 2016; Zhai et al., 2018]، فراوانی تصادفات به تفکیک شدت [Ladron de Guevara et al., 2021; Sun et al., 2004; et al., 2021]، فراوانی تصادفات عابرین پیاده [Amoh-Gyimah et al., 2016; Kim et al., 2022] و فراوانی تصادفات دوچرخه [Chen, 2015; Ding & Sze, 2022] است. همچنین متغیرهای توصیفی که استفاده از آنها عمومیت بیشتری در مطالعات پیشین داشته شامل ویژگی‌های شبکه معابر و کاربری زمین [Tang et al., 2020; Huang et al., 2022]، ویژگی‌های جمعیت‌شناسی [Zeng et al., 2016; Mathew et al., 2022; Pljakić et al., 2019]، ویژگی‌های ترافیکی [Pljakić et al., 2019] و ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی [Huang et al., 2016; Kim et al., 2022; Tang et al., 2020] است.

مرور مطالعات پیشین نشان‌دهنده این است که اغلب تصادفات به‌صورت موردی بررسی شده است. به این مفهوم که در اکثر آنها یافتن رابطه بین تصادفات با سایر متغیرهای توصیفی مدنظر

مدل توزیع ریسک تصادفات شدید در بین هر جفت مبدا- مقصد از نواحی ترافیکی- مطالعه موردی شهر قم

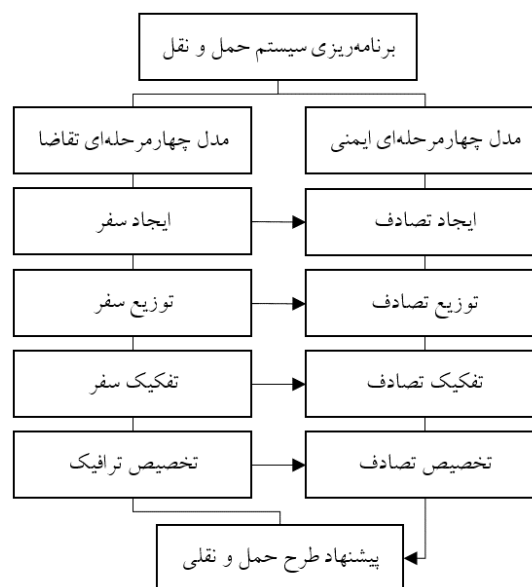
با بررسی دو مطالعه ذکر شده [Mohammadi et al., 2010; Naderan & Shahi, 2018] ملاحظه می‌شود که توسعه مدل‌های پیش‌بینی تصادفات براساس مدل‌های مرسوم چهارمرحله‌ای تقاضای سفر اثبات شده است. از این رو در این مطالعه، مدل پیش‌بینی تصادفات برای اولین بار، براساس گام توزیع سفر از مدل‌های مرسوم چهارمرحله‌ای تقاضای سفر با عنوان "مدل توزیع ریسک تصادفات" توسعه داده شده است. همانطور که در بررسی مطالعات پیشین مشاهده می‌شود، تعیین رابطه بین فراوانی تصادفات در یک مکان مشخص با ویژگی متغیرهای توصیفی در همان مکان مدنظر بوده است. از این رو در این مطالعه، با توسعه مدل‌های پیش‌بینی تصادفات براساس گام توزیع سفر، امکان تعیین رابطه بین ریسک (احتمال وقوع) تصادفات در یک مسیر مشخص، براساس ویژگی متغیرهای توصیفی وابسته به مبدا- مقصد سفرها فراهم می‌شود. بنابراین استفاده از این مدل علاوه بر تعیین فراوانی تصادفات، امکان شناسایی و اولویت‌بندی سفرهای با ریسک تصادف بالا براساس ویژگی‌های هر جفت مبدا- مقصد از نواحی ترافیکی را فراهم می‌کند.

ساختار باقی این مقاله در ادامه ارائه شده است. بخش ۲، شامل توصیف مطالعه موردی و انتخاب متغیرها است. سپس، ساختار مدل استفاده شده شامل مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی و اعتبارسنجی آن در بخش ۳ ارائه شده است. بخش ۴، شامل ارائه نتایج کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل دوجمله‌ای منفی است. بخش ۵، شامل بحث در خصوص ضرایب متغیرهای مدل و مقایسه با پژوهش‌های پیشین است. بخش ۶، شامل جمع‌بندی مختصری از این مقاله، نتایج حاصل شده و پیشنهاداتی برای مطالعات آینده است.

۲. جمع‌آوری و پردازش داده‌ها

۲-۱ مطالعه موردی

بوده که از طریق روش‌های مختلف بررسی شده است. در صورتی که ایمنی یک موضوع مهم در مطالعات حمل و نقل است که بررسی توأم آن با برنامه‌ریزی‌های کلان حمل و نقل امکان ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف مدیریت تقاضای سفر بر ایمنی را فراهم می‌کند. از این رو برای اولین بار ایده توسعه مدل‌های پیش‌بینی تصادفات براساس مدل‌های مرسوم چهارمرحله‌ای تقاضای سفر طبق شکل ۱ توسط نادران و شاهی در سال ۲۰۱۰ [Naderan & Shahi, 2010] ارائه شد. در این راستا در مطالعه آن‌ها مدل پیش‌بینی تصادفات براساس گام ایجاد سفر با عنوان "مدل ایجاد تصادفات" توسعه داده شد و پس از آن مدل پیش‌بینی تصادفات براساس گام تفکیک سفر با عنوان "مدل تفکیک تصادفات" توسط محمدی و همکارانش در سال ۲۰۱۸ [Mohammadi et al., 2018] توسعه داده شد. در هر دو مطالعات ذکر شده [Mohammadi et al., 2018; Naderan & Shahi, 2010] مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی با توزیع لگاریتمی به کار گرفته شد و نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها نشان‌دهنده وجود رابطه معنادار بین فراوانی تصادفات با متغیرهای توصیفی استفاده شده بود.



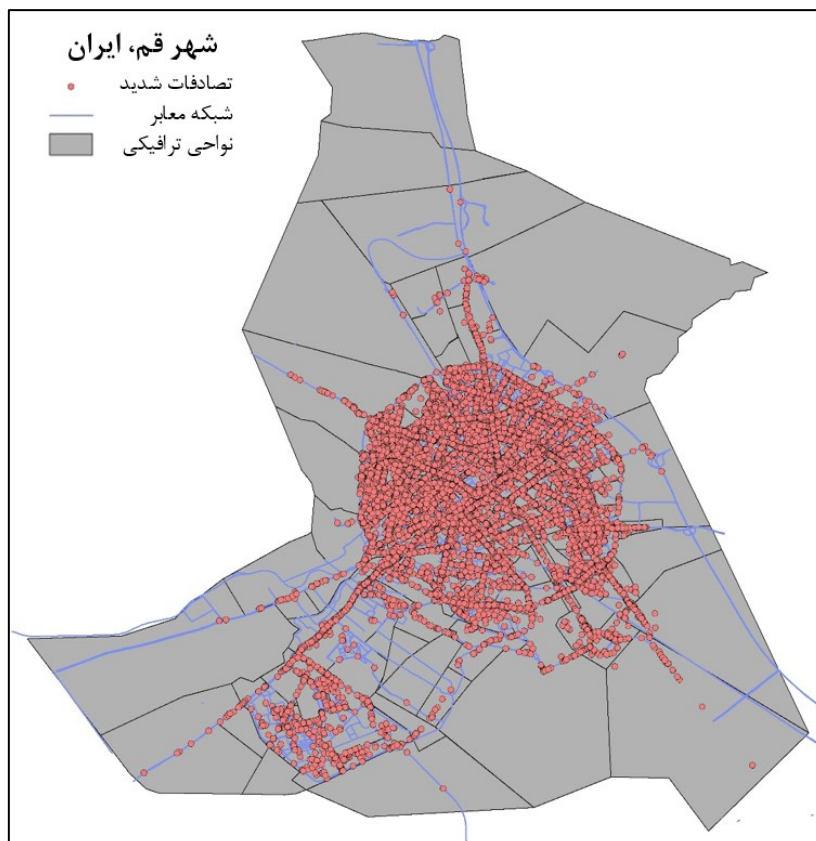
شکل ۱. مدل ایمنی چهارمرحله‌ای [Naderan & Shahi, 2010]

قانونی به‌عنوان ۱۳۰۴۰ تصادف شدید استفاده شد. لازم به ذکر است که ۱۳۰۴۰ تصادف شدید عنوان شده، مربوط به کل تصادفات شدید موجود در سال ۱۳۹۷ بوده که شامل همه شیوه‌های سفر (اعم از خودروی شخصی، موتورسیکلت، عابرین پیاده، وسایل نقلیه همگانی و تاکسی) در همه مکان‌ها (اعم از معابر، میدان‌ها و تقاطعات) گردآوری و در فرآیند مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. پس از جمع‌آوری داده‌های تصادفات شدید، هر تصادف با توجه به موقعیت مکانی، در قالب لایه نقطه وارد نرم افزار ArcMap شد و تعداد تصادفات در مسیر سفر تخصیص داده شده برای هر جفت مبدأ-مقصد از نواحی ترافیکی شمارش شد. در ادامه موقعیت تصادفات شدید نسبت به نواحی ترافیکی و شبکه معابر در شهر قم در شکل ۲ ارائه شده است.

در این مطالعه، تصادفات شهر قم به مساحت ۴۴۵ کیلومتر مربع و دارای ۱,۲ میلیون نفر جمعیت (در سال ۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین براساس مطالعات جامع حمل و نقل انجام شده در سال ۱۳۹۷، این شهر به ۳۱۴ ناحیه ترافیکی تقسیم شده است. از این‌رو از داده‌های تصادفات متناظر با مطالعات جامع حمل و نقل برای سال ۱۳۹۷ استفاده شده است.

۲-۲ انتخاب متغیر وابسته

تصادفات معمولاً به نسبت شدت به سه دسته تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به اینکه داده‌های تصادفات خسارتی این شهر در زمان انجام این مطالعه در دسترس نبود، بنابراین از مجموع ۱۲۹۴۸ تصادف جرحی ثبت شده در مرکز اورژانس و ۹۲ تصادف فوتی ثبت شده در پزشکی



شکل ۲. موقعیت تصادفات شدید نسبت به نواحی ترافیکی و شبکه معابر

۲-۳ انتخاب متغیر توصیفی

متغیرهای توصیفی استفاده شده برای کالیبراسیون مدل پیش‌بینی تصادفات در این مطالعه به دو دسته تقسیم می‌شود. اول، متغیرهای ترافیکی، با توجه به مرور مطالعات پیشین که در بخش اول این مطالعه ارائه شده است، استفاده از متغیرهای ترافیکی در مدل‌های پیش‌بینی تصادفات به اثبات رسیده و توسط پژوهشگران زیادی عمومیت داشته است. دوم، متغیرهای توزیع سفر به تفکیک هدف، با توجه به اینکه مدل‌های مختلف توزیع سفر معمولاً برای اهداف سفر و/ یا انواع افراد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند [de Dios Ortúzar & Willumsen, 2011]. در این مطالعه متغیرهای توصیفی از نوع ترافیکی که برای کالیبراسیون مدل پیش‌بینی تصادفات مورد استفاده قرار گرفته است شامل وسیله- کیلومتر طی شده (VKT^۱)، زمان سفر تجربه شده با وسیله نقلیه (Tcar^۲) و متوسط سرعت وسیله سفر (Vcar^۳) است که براساس ویژگی هر متغیر در مسیر سفر (بین هر مبدا- مقصد از نواحی ترافیکی تعیین شده است. همچنین متغیرهای توصیفی از نوع توزیع سفر به تفکیک هدف که برای کالیبراسیون مدل پیش‌بینی تصادفات مورد استفاده قرار گرفته است شامل توزیع سفر به تفکیک اهداف شغلی (Work)، تحصیلی (Education)، خرید (Shop)، شخصی (Personal)، تفریحی (Recreation) و توزیع سفرهای غیر خانه‌مبنا (NHB^۴) است که براساس ویژگی هر متغیر در مبدا- مقصد نواحی ترافیکی تعیین شده است. به بیان ساده‌تر، ویژگی متغیرهای توصیفی از نوع ترافیکی از جنس معبر و ویژگی متغیرهای توصیفی از نوع توزیع سفر از جنس ناحیه ترافیکی است. همچنین لازم به ذکر است که متغیرهای توصیفی استفاده شده در این مطالعه، مربوط به داده‌های یک روز عادی از سال ۱۳۹۷ است که بدون اعمال ضریب تعمیم (ضریب تعمیم حجم نمونه به حجم کل ساکنین) در نتایج آمارگیری مبدا- مقصد ساکنین در نظر گرفته شده است. در نهایت، مشخصات کلی متغیرهای استفاده شده برای مدل‌های پیش‌بینی تصادفات، در

جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، تعداد داده‌ها برای همه متغیرها برابر با ۹۸۵۹۶ است. این تعداد بر حسب ۳۱۴ ناحیه ترافیکی برآورد شده است که هر یک از طریق یک مسیر تخصیص داده شده با نواحی ترافیکی دیگر در تعامل است (یعنی ۳۱۴×۳۱۴).

جدول ۱. ویژگی‌های متغیرهای جمع‌آوری شده در شهر قم برای ساخت مدل

گروه	نام متغیر	واحد	شرح	تعداد	کمینه	بیشینه	متوسط	انحراف معیار
کلی	Path	-	کوتاه‌ترین مسیر بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد	۹۸۵۹۶	۱	۹۸۵۹۶	-	-
تصادفات	Crashes	فقره	تعداد تصادفات شدید	۹۸۵۹۶	۰	۱۶۰۶/۰۰	۲۷۰/۸۴	۱۸۴/۶۴
	VKT/1000	وسیله- کیلومتر	وسیله- کیلومتر طی شده بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد	۹۸۵۹۶	۰	۷۷۴/۱۸	۱۲۲/۴۵	۱۱۷/۷۲
ترافیکی	TCar	دقیقه	زمان سفر تجربه شده با وسیله نقلیه بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد	۹۸۵۹۶	۰	۱۳۴/۲۸	۱۳/۵۲	۱۱/۲۳
	VCar	کیلومتر بر ساعت	متوسط سرعت وسیله سفر بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد	۹۸۵۹۶	۰	۷۹/۳۴	۳۲/۳۶	۱۴/۸۸
	Work	نفر- سفر	تعداد سفر با هدف شغلی بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد	۹۸۵۹۶	۰	۳۷۱/۲۹	۴/۱۲	۱۰/۰۰
	Education/10	نفر- سفر	تعداد سفر با هدف تحصیلی بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد	۹۸۵۹۶	۰	۱۹۵/۰۸	۰/۵۱	۲/۴۸
توزیع سفر	Shop	نفر- سفر	تعداد سفر با هدف خرید بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد	۹۸۵۹۶	۰	۸۳۴/۳۶	۲/۹۲	۱۲/۵۱
	Personal	نفر- سفر	تعداد سفر با هدف شخصی بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد	۹۸۵۹۶	۰	۴۳۵/۰۲	۱/۱۶	۴/۰۷
	Recreation	نفر- سفر	تعداد سفر با هدف تفریحی بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد	۹۸۵۹۶	۰	۸۳۵/۰۲	۲/۵۱	۸/۹۲
	NHB	نفر- سفر	تعداد سفر غیر خانه‌مبنا بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد	۹۸۵۹۶	۰	۱۰۹۳۵/۹۳	۳/۲۹	۳۶/۴۸

۳. روش ساخت مدل

دوجمله‌ای منفی بهتر مدل می‌شوند [Washington et al., 2003].

در مدل دوجمله‌ای منفی، تفاوت واریانس و میانگین

توسط رابطه (۱) برآورد می‌شود [Washington et al., 2003]:

$$V[u] = u + \alpha u^2 \quad (1)$$

که در آن $V[u]$ واریانس تصادفات؛ u میانگین تصادفات؛ α

ضریب پراکندگی. در صورتی که α صفر باشد، مدل دوجمله‌ای

منفی به مدل پواسون تبدیل خواهد شد، به این معنی که انتخاب

بین این دو مدل به مقدار α بستگی دارد [Washington et al., 2003].

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال چهاردهم / شماره سوم (۵۶) / بهار ۱۴۰۲

۳-۱ انتخاب شکل ریاضی مدل

باتوجه به مرور ادبیات ارایه شده در بخش اول این مطالعه، برای

ساخت مدل‌های پیش‌بینی تصادفات، باتوجه به توزیع داده‌ها،

معمولاً یکی از مدل‌های رگرسیون دوجمله‌ای منفی یا پواسون

مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از الزامات مدل پواسون این

است که میانگین و واریانس داده‌ها با هم برابر باشند. هنگامی که

واریانس از میانگین بزرگتر باشد، داده‌ها پراکنده بوده و با توزیع

مدل می‌شود و شرط باقی ماندن آن‌ها در مدل، بهبود کیفیت و نکویی برازش مدل است.

۳-۲ اعتبارسنجی مدل

در این بخش از مطالعه، روش‌های اعتبارسنجی مدل کالیبره شده شرح داده شده است. اعتبارسنجی مدل علاوه بر تعیین رابطه معناداری بین متغیرهای وابسته با هر کدام از متغیرهای توصیفی، برازش کلی مدل نسبت به ساختار استفاده شده را مشخص می‌کند. در ادامه روش‌های اعتبارسنجی مدل کالیبره شده در این مطالعات براساس معیارهای تعیین شده توسط [Cameron & Trivedi, 2013; Washington et al., 2003] ارائه شده است. (۱) آزمون t در سطح ۵ درصد معنادار است؛ (۲) نسبت انحراف یا کای دو پیرسن به درجه آزادی در محدوده ۰٫۸-۱٫۲ مجاز است؛ (۳) ضریب پراکندگی بیش از حد (α) ؛ (۴) معیار اطلاعاتی آکایک AIC^* برای انتخاب بهترین مدل به کار می‌رود و هرچه عدد این معیار کمتر باشد، مدل برآورد شده بهتر خواهد بود. نحوه برآورد AIC در رابطه (۴) ارائه شده است.

$$AIC = \frac{[-2Ln(\beta) + 2b]}{N} \quad (4)$$

که در آن $Ln(\beta)$ = مقدار احتمال لگاریتمی مدل؛ b = تعداد متغیرهای مستقل مدل و N = تعداد مشاهدات (در اینجا تعداد توزیع بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد) است. (۵) علامت و بزرگی ضرایب مدل باید با مبانی نظری تاثیر متغیر بر فرآیند تصادفات سازگار باشد. همچنین تحلیل همبستگی بین متغیرهای مستقل با استفاده از آزمون ضریب همبستگی پیرسن طبق روش ارائه شده در [Ratner, 2009] برآورد شده و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

[al., 2003]. شکل کلی توزیع دوجمله‌ای منفی در رابطه (۲) ارائه شده است که در آن $\Gamma(\cdot)$ تابع گاما است [Washington et al., 2003].

$$P(y_i) = \frac{\Gamma((1/\alpha) + y_i)}{\Gamma(1/\alpha)y_i!} \left[\frac{1/\alpha}{(1/\alpha) + \lambda_i} \right]^{1/\alpha} \left[\frac{\lambda_i}{(1/\alpha) + \lambda_i} \right]^{y_i} \quad (2)$$

در عین حال، در این مطالعه، برای تعیین نوع توزیع داده‌های تصادفات شدید از نرم‌افزار EasyFit استفاده شد و انواع توزیع‌های گسسته مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. آماره‌های مورد بررسی عبارتند از اندرسون-دارلینگ و کولموگروف-اسمیرنوف. هرچه مقدار این آماره‌ها کمتر باشد، توزیع داده‌ها از تابع مورد نظر بهتر پیروی می‌کند. مشاهده می‌شود که توزیع دوجمله‌ای منفی براساس هر دو آزمون از پواسون بهتر است و در رتبه بالاتری قرار گرفته است.

جدول ۲. آزمون تعیین نوع توزیع داده‌های تصادفات شدید

تابع توزیع	Anderson-Darling		Kolmogorov-Smirnov	
	رتبه	آماره	رتبه	آماره
دوجمله‌ای منفی	۱	۱۳۰۲۴	۱	۰/۱۲۵۱۴
پواسون	۲	۳۷۲۹۹۰	۲	۰/۴۲۹۸۸

نهایتاً، در این مطالعه، مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی با تبدیل لگاریتمی استفاده شده است که شکل کلی آن در رابطه (۳) ارائه شده است.

$$y = \exp \sum_{i=1}^n b_i X_i \quad (3)$$

که در آن y = فراوانی تصادفات پیش‌بینی شده؛ X_i = متغیرهای توصیفی و b_i پارامترهای مدل است. در این مطالعه، ضرایب مدل از روش بیشینه احتمال و به کمک نرم‌افزار SPSS محاسبه خواهد شد. به این منظور، ابتدا یک مدل پایه و صرفاً با عدد ثابت برآورد می‌شود، سپس متغیرهای مستقل یکی پس از دیگری وارد

جدول ۳. نتایج آزمون ضریب همبستگی پیرسن

NHB	Personal	Recreation	Shop	Education/ 10	Work	VCar	TCar	VKT/ 1000	متغیر مستقل
-۰/۰۳	-۰/۱۱۵	-۰/۱۲۵	-۰/۱۳۵	-۰/۱۱۲	-۰/۰۵۵	۰/۶۵۶	۰/۵۸۵	۱	VKT/1000
-۰/۰۱۵	-۰/۰۸	-۰/۰۸۵	-۰/۱۱۲	-۰/۰۹۷	-۰/۰۱۳	۰/۳۶۴	۱	۰/۵۸۵	TCar
-۰/۰۰۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	-۰/۰۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۶۳	۱	۰/۳۶۴	۰/۶۵۶	VCar
۰/۰۸۳	۰/۳۹۱	۰/۳۸۸	۰/۳۳۷	۰/۳۲	۱	۰/۰۶۳	-۰/۰۱۳	-۰/۰۵۵	Work
۰/۰۹۶	۰/۵۶۶	۰/۶۷۱	۰/۶۵۵	۱	۰/۳۲	۰/۰۰۴	-۰/۰۹۷	-۰/۱۱۲	Education/10
۰/۰۸۷	۰/۶۸۲	۰/۷۷۳	۱	۰/۶۵۵	۰/۳۳۷	-۰/۰۱۷	-۰/۱۱۲	-۰/۱۳۵	Shop
۰/۰۸	۰/۷۶۷	۱	۰/۷۷۳	۰/۶۷۱	۰/۳۸۸	۰/۰۱۴	-۰/۰۸۵	-۰/۱۲۵	Recreation
۰/۰۸	۱	۰/۷۶۷	۰/۶۸۲	۰/۵۶۶	۰/۳۹۱	۰/۰۱۷	-۰/۰۸	-۰/۱۱۵	Personal
۱	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸۷	۰/۰۹۶	۰/۰۸۳	-۰/۰۰۲	-۰/۰۱۵	-۰/۰۳	NHB

شده و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. از این رو، سه مدل، با استفاده از متغیرهای ترافیکی، توزیع سفر و ترکیبی از هر دو متغیر (ترافیکی و توزیع سفر) ساخته شده است. این مدل‌ها تاثیر داده‌های ترافیکی و تعداد سفرهای توزیع شده را بر تعداد تصادفات شدید در بین هر جفت مبدا-مقصد از نواحی ترافیکی برآورد می‌کند و در صورت تغییر هر کدام از این مقادیر تعداد تصادفات در آینده نیز قابل پیش‌بینی خواهد بود. این مدل‌ها، مدل توزیع ریسک تصادفات نام‌گذاری شده است.

بر اساس دستورالعمل تفسیر ضریب همبستگی که در [Ratner, 2009] ارائه شده است، ضریب همبستگی در بازه -۱ تا +۱ قرار دارد؛ مقدار ۰ نشان‌دهنده عدم وجود رابطه خطی است؛ مقدار +۱ نشان‌دهنده یک رابطه خطی مثبت کامل است؛ مقدار -۱ نشان‌دهنده یک رابطه خطی منفی کامل است؛ مقادیر بین ۰ و ۰/۳ (۰ و -۰/۳) نشان‌دهنده یک رابطه خطی مثبت (منفی) ضعیف است؛ مقادیر بین ۰/۳ و ۰/۷ (۰/۳ و -۰/۷) نشان‌دهنده یک رابطه خطی مثبت (منفی) متوسط است؛ مقادیر بین ۰/۷ و ۱/۰ (۰/۷ و -۱/۰) نشان‌دهنده یک رابطه خطی مثبت (منفی) قوی است. بر این اساس برای ساخت مدل، متغیرهایی مورد استفاده قرار گرفته که ضریب همبستگی آن با سایر متغیرها، طبق نتایج ارائه شده در جدول ۳، در بازه ۰/۷- تا ۰/۷+ قرار گرفته است. از این رو با توجه به همبستگی قوی بین متغیر توزیع سفر با هدف تفریحی و متغیرهای توزیع سفر با اهداف خرید و شخصی، در فرآیند مدل‌سازی از این متغیر استفاده نشده است. بنابراین می‌شود اظهار داشت، همبستگی متوسط بین سایر متغیرها اشکالی در فرآیند پیش‌بینی ایجاد نمی‌کند.

۴. نتایج کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل

به منظور توسعه مدل پیش‌بینی تصادفات بر اساس مدل‌های چهار مرحله‌ای تقاضای سفر، مدل پیش‌بینی تصادفات شدید برای یک سال با استفاده از مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی کالیبره

مدل توزیع ریسک تصادفات شدید در بین هر جفت مبدا- مقصد از نواحی ترافیکی - مطالعه موردی شهر قم

جدول ۴: نتایج مدل‌های توزیع تصادفات شدید

ساخت مدل با متغیرهای ترافیکی					ساخت مدل با متغیرهای توزیع سفر					ساخت مدل با ترکیب متغیرهای ترافیکی و توزیع سفر				
Sig.	t-stat	انحراف استاندارد	ضریب	متغیر	Sig.	t-stat	انحراف استاندارد	ضریب	متغیر	Sig.	t-stat	انحراف استاندارد	ضریب	متغیر
۰/۰۰۰	۱۱۳/۰۳	۰/۰۱۳۶	۱/۵۴۱۷	Cons.	۰/۰۰۰	۱۲۸۳/۹۴	۰/۰۰۴۴	۵/۶۲۰۸	Cons.	۰/۰۰۰	۵۸/۷۲	۰/۰۱۵۲	۰/۸۸۹۶	Cons.
۰/۰۰۰	-۱۶۵/۸۱	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۹۸	Vkt/1000	۰/۰۰۰	-۱۳/۱۰	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۱۷	Education/10	۰/۰۰۰	-۱۶۷/۶۴	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۱۰۰	Vkt/1000
۰/۰۰۰	۱۹۳/۶۲	۰/۰۰۰۹	۰/۱۷۸۰	tcar	۰/۰۰۰	-۱۲/۷۵	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۴۷	shop	۰/۰۰۰	۲۱۶/۱۲	۰/۰۰۰۹	۰/۲۰۲۵	tcar
۰/۰۰۰	۱۷۸/۲۹	۰/۰۰۰۴	۰/۰۷۷۷	vcar	۰/۰۱۱	-۲/۵۶	۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۳۰	personal	۰/۰۰۰	۱۷۳/۳۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۷۷۹	vcar
					۰/۰۰۱	-۳/۳۰	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۲	nhb	۰/۰۰۰	-۱۴/۲۵	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۶۳	work
										۰/۰۰۰	۶۵/۳۰	۰/۰۱۱۵	۰/۷۴۹۶	$Log\left(\left(\frac{Education}{10}\right) + 1\right)$
										۰/۰۰۰	۵/۱۹	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲۰	shop
										۰/۰۴۰	۲/۰۵	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۷	personal
نکویی برازش														
۹۸۵۹۶	تعداد مشاهدات				۹۸۵۹۶	تعداد مشاهدات				۹۸۵۹۶	تعداد مشاهدات			
۹۸۵۹۱	درجه آزادی				۹۸۵۹۰	درجه آزادی				۹۸۵۸۷	درجه آزادی			
۱/۲۳۱۴	نسبت دویانس به درجه آزادی				۱/۲۲۹۰	نسبت دویانس به درجه آزادی				۱/۱۹۳۴	نسبت دویانس به درجه آزادی			
۱/۰۵۴۲	نسبت پیرسن به درجه آزادی				۰/۳۴۵۶	نسبت پیرسن به درجه آزادی				۰/۸۳۴۳	نسبت پیرسن به درجه آزادی			
۰/۸۴	α				۱/۴۸	α				۰/۸۰	α			
-۶۱۷۷۴۵/۵	Log-likelihood				-۶۴۶۰۴۶/۶	Log-likelihood				-۶۱۳۳۶۱/۸	Log-likelihood			
-۵۰۱۶۴۵/۸	Adjusted Log-Likelihood				-۵۲۵۶۵۲/۲	Adjusted Log-Likelihood				-۵۱۳۹۷۸/۹	Adjusted Log-Likelihood			
۱۲۳۵۵۰۱/۰۹	AIC				۱۲۹۲۱۰۵/۳۹	AIC				۱۲۲۶۷۴۱/۵۳	AIC			

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال چهاردهم / شماره سوم (۵۶) / بهار ۱۴۰۲

براساس نتایج آرایه شده در جدول ۴ ملاحظه می‌شود که کلیه متغیرهای هرکدام از مدل‌ها، در سطح ۵ درصد معنادار هستند. ضریب پراکندگی غیر صفر برآورد شده که نشانگر درستی انتخاب مدل دو جمله‌ای منفی و برتری آن نسبت به مدل پواسون است. اما با مقایسه مقدار نسبت کای دو پیرسن و دویانس به درجه آزادی مدل‌ها مشاهده می‌شود، که مدل ساخته شده با ترکیب متغیرهای ترافیکی و توزیع سفر در محدوده ۰.۸ تا ۱.۲ قرار دارد که نشان می‌دهد این مدل نسبت به مدل‌های دیگر نتایج بهتری دارد. همچنین با مقایسه مقادیر لگاریتم احتمال و AIC مشاهده می‌شود که مدل ساخته شده با ترکیب متغیرهای ترافیکی و توزیع سفر نسبت به سایر مدل‌ها از نکویی برازش بهتری برخوردار است. از این‌رو مدل ساخته شده با ترکیب متغیرهای ترافیکی و توزیع سفر به‌عنوان مدل توسعه داده شده برای پیش‌بینی توزیع ریسک تصادفات شدید شهر قم انتخاب شده و رابطه

$$\begin{aligned}
 C_{severe} &= \exp(0.89 - 0.01 \frac{VKT}{1000} + 0.202TCar \\
 &+ 0.078VCar - 0.006Work \\
 &+ 0.75 \log\left(\left(\frac{Education}{10}\right) + 1\right) \\
 &+ 0.002Shop + 0.003Personal)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

، شکل مدل نهایی را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned}
 C_{severe} = \exp(0.89 - 0.01 \frac{VKT}{1000} + 0.202TCar + 0.078VCar - 0.006Work \\
 + 0.75 \log\left(\left(\frac{Education}{10}\right) + 1\right) + 0.002Shop + 0.003Personal)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

۵. بحث

تصادفات شدید دارد. این متغیر از ترکیب دو متغیر حجم وسایل نقلیه و مسافت سفر ساخته شده است و افزایش همزمان این دو متغیر معمولاً در معاری مانند بزرگراه‌ها اتفاق می‌افتد که در این نوع معابر تردد عابرین پیاده محدود شده و فقط وسایل نقلیه مجاز به تردد هستند. از طرفی در این پژوهش، تصادفات شدید شهر قم با در نظر گیری تمام شیوه‌های سفر از جمله عابران پیاده بررسی شده است که شاخص در معرض قرارگیری آن‌ها در تصادفات شدید بیش از افراد سواره است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با افزایش میزان متغیر وسیله- کیلومتر طی شده (معابر با تردد کم عابران پیاده) میزان تصادفات شدید کاهش می‌یابد و بالعکس.

۳) زمان سفر تجربه شده با وسیله نقلیه (Tcar): مقدار متوسط این متغیر ۱۴ دقیقه و انحراف استاندارد آن ۱۱ است. علامت این متغیر در مدل مثبت است. به این مفهوم که تاثیر افزایش بر تعداد تصادفات شدید دارد. زمان سفر معمولاً تحت تاثیر دو عامل شامل افزایش تراکم ترافیک و افزایش مسافت سفر اتفاق می‌افتد. افزایش تراکم ترافیک به تنهایی موجب افزایش احتمال برخورد و افزایش مسافت به تنهایی موجب افزایش احتمال خطای انسانی در نتیجه خستگی رانندگان و بروز تصادفات می‌شود. بنابراین می‌توان اظهار داشت که با افزایش زمان سفر وسایل نقلیه، تعداد تصادفات شدید نیز افزایش می‌یابد.

در ادامه در خصوص همخوانی علامت متغیرهای مدل با مفهوم و مکانیزم وقوع تصادفات بحث شده است. این کار امکان تحلیل تاثیر هر متغیر بر وقوع تصادفات را فراهم می‌کند. لازم به ذکر است که هرچند هدف اولیه از ساخت این مدل، پیش‌بینی تعداد تصادفات در آینده است، اما در هر حال، وجود یک رابطه منطقی (علت و معلولی) بین متغیرهای مستقل و وابسته ضروری است. ۱) عدد ثابت: وجود عدد ثابت برای در نظر گرفتن آن‌دسته از متغیرهایی که وارد مدل نشده‌اند ضروری است. علامت مثبت این عدد هم بیانگر آن است که سایر سفرها، اثر افزایش‌دهی بر تعداد تصادفات شدید دارند. به بیان بهتر، هرچه تعداد سفرها بیشتر باشد، احتمال قرارگیری در معرض تصادف شدید نیز بیشتر شده و در نتیجه انتظار می‌رود تعداد تصادفات شدید افزایش یابد. همچنین علامت مثبت برآورد شده با مطالعه مشابه پیشین [Mohammadi et al., 2018] که در آن پیش‌بینی تعداد تصادفات بر مبنای متغیرهایی نظیر وسیله- کیلومتر طی شده و تعداد سفرهای تولید و جذب شده (به تفکیک اهداف) انجام شده همخوانی دارد.

۲) وسیله- کیلومتر طی شده بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد (VKT): مقدار متوسط این متغیر ۱۲۲۴۵۱ وسیله- کیلومتر و انحراف معیار استاندارد آن ۱۱۷۷۲۴ است. علامت این متغیر در مدل منفی است، به این مفهوم که تاثیر کاهشی بر تعداد

متغیر تولید و جذب سفر با هدف شغلی انجام شده، علامت مثبت در مدل تولید سفر و منفی در مدل جذب سفر برای آن برآورد شده است.

۶) تعداد سفر در بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد با هدف تحصیلی (Education): مقدار متوسط این متغیر ۵ سفر و انحراف استاندارد آن ۲۵ است. علامت این متغیر در مدل مثبت است. به این مفهوم که تاثیر افزایش بر تعداد تصادفات شدید دارد. علت این تاثیر مثبت را می‌توان از سه جنبه مورد بررسی قرار داد. اول ویژگی وسیله سفر دانش آموزان است که معمولا از شیوه سفر پیاده یا حمل و نقل همگانی مانند اتوبوس یا تاکسی که مکمل شیوه سفر پیاده است، استفاده می‌کنند. بنابراین شاخص میزان در معرض بودن آن‌ها در تصادفات شدید نسبت به افرادی که از وسیله نقلیه شخصی استفاده می‌کنند بیشتر است (دانش آموزان به‌عنوان عابر پیاده آسیب پذیرتر از افراد سواره هستند). دوم ویژگی جسمانی و روانی دانش آموزان است، زیرا دانش آموزان باتوجه به سن کمی که دارند به لحاظ جسمانی ضعیف بوده و آسیب پذیرتر از افراد بزرگسال هستند. همچنین به لحاظ روانی نیز در مواقع بروز خطر کمتر قادر به تصمیم‌گیری‌های درست و لحظه‌ای هستند. سوم ویژگی مبدا- مقصد سفرها است، زیرا مدارس به‌عنوان مکان‌های مولد سفر دارای حجم بالای تردد و سفر هستند که در نتیجه آن احتمال برخورد افزایش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان اظهار داشت که با افزایش تعداد سفرها با هدف تحصیلی، تعداد تصادفات شدید نیز افزایش می‌یابد. همچنین لازم به ذکر است، در مطالعه پیشین مشابه [Naderan & Shahi, 2010] که در آن پیش‌بینی تعداد تصادفات کل با استفاده از متغیر تولید و جذب سفر با هدف تحصیلی انجام شده، علامت منفی در مدل تولید سفر و مثبت در مدل جذب سفر برای آن برآورد شده است.

۷) تعداد سفر در بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد با هدف خرید (Shop): مقدار متوسط این متغیر ۳ سفر و انحراف

۴) سرعت متوسط وسایل نقلیه (Vcar): مقدار متوسط این متغیر ۳۲ کیلومتر بر ساعت و انحراف استاندارد آن ۱۵ است. علامت این متغیر در مدل مثبت است. به این مفهوم که تاثیر افزایش بر تعداد تصادفات شدید دارد. باتوجه به اینکه در این پژوهش تصادفات شدید مورد بررسی قرار گرفته است بنابر این بدیهی است که با افزایش سرعت متوسط وسایل نقلیه، تعداد تصادفات شدید نیز افزایش یافته است.

۵) تعداد سفر در بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد با هدف شغلی (Work): مقدار متوسط این متغیر ۴ سفر و انحراف استاندارد آن ۱۰ است. علامت این متغیر در مدل منفی است. به این مفهوم که تاثیر کاهشی بر تعداد تصادفات شدید دارد. علت این تاثیر منفی را می‌توان از دو جنبه مورد بررسی قرار داد. اول ویژگی وسیله سفر، زیرا در سفرهای با هدف شغلی، سهم استفاده از خودروی شخصی نسبت به سایر شیوه‌های سفر بیشتر است و همانطور که در تفسیر ضریب متغیر VKT بیان شد، در این پژوهش بررسی تصادفات شدید شهر قم با در نظر گیری تمام شیوه‌های سفر از جمله عابران پیاده مدنظر بوده که بیشتر از افراد سواره در معرض تصادفات شدید قرار دارند. بنابراین می‌توان اظهار داشت افزایش سفرها با هدف شغلی در واقع به معنی افزایش سفرها با خودروی شخصی است که در نتیجه آن تعداد تصادفات شدید کاهش می‌یابد. دوم ویژگی مسیر سفرها است، زیرا همانطور که بیان شد، سهم استفاده از خودروی شخصی در سفرهای با هدف شغلی بیشتر است. از طرفی باتوجه به اینکه سفرهای با هدف شغلی جزو سفرهای تکرار شونده و روزانه است، براساس تجربه افراد، معمولا سعی می‌شود مسیری انتخاب شود که دارای کمترین میزان تداخل با ترافیک و عابران پیاده باشد که در نتیجه آن امکان برخورد کاهش پیدا کرده و می‌توان انتظار داشت که تعداد تصادفات شدید نیز کاهش پیدا می‌کند. همچنین لازم به ذکر است، در مطالعه پیشین مشابه [Naderan & Shahi, 2010] که در آن پیش‌بینی تعداد تصادفات کل با استفاده از

مدل توزیع ریسک تصادفات شدید در بین هر جفت مبدا- مقصد از نواحی ترافیکی- مطالعه موردی شهر قم

می‌شوند و احتمال برخورد در آن‌ها افزایش پیدا می‌کند. دوم ویژگی وسیله‌سفر، زیرا سفرهای با هدف مراجعه به ادارات و یا پزشک باتوجه به محل قرارگیری مبدا- مقصد که در مواجهه با تراکم ترافیک و کاهش فضای پارک هستند باعث عدم استفاده از خودروی شخصی می‌شوند و همانطور که پیش از این نیز بیان شد، شاخص میزان در معرض بودن عابرین پیاده در تصادفات شدید نسبت به افراد سواره بیشتر است.

۶. نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف تخمین تعداد و توزیع ریسک تصادفات شدید در بین هر جفت مبدا- مقصد از نواحی ترافیکی آرایه شد. به این منظور، برای اولین بار، مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی براساس متغیرهای حاصل از توزیع سفر با نام "مدل توزیع ریسک تصادفات" به کار گرفته شد. در مجموع ۷ متغیر شامل متغیرهای ترافیکی و توزیع سفر به تفکیک اهداف مختلف برای کالیبراسیون مدل مذکور انتخاب شدند.

نتایج حاصل از این مطالعه عبارت‌اند از:

۱) براساس نتایج اعتبارسنجی مدل توسعه داده شده، تمام متغیرهای توصیفی استفاده شده در فرآیند کالیبراسیون مدل در این مطالعه، با تصادفات شدید دارای رابطه معنادار هستند.

۲) استفاده از مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی با توزیع لگاریتمی در توزیع ریسک تصادفات شدید مناسب است.

۳) باتوجه به اینکه مدل آرایه شده در این مطالعه براساس تعداد سفرها توسعه داده شده است، بنابراین می‌توان انتظار داشت با جایگذاری تعداد سفرهای پیش‌بینی شده برای آینده، فراوانی و توزیع تصادفات شدید نیز برای آینده قابل پیش‌بینی باشد. این موضوع در مطالعات پیشین مشابه [Mohammadi et al., 2018; Naderan & Shahi, 2010] به اثبات رسیده است.

مدل آرایه شده در این مطالعه، علاوه بر پیش‌بینی فراوانی تصادفات، امکان شناسایی و اولویت‌بندی سفرهای با مبدا- مقصد پرخطر به لحاظ ایمنی را فراهم می‌کند. به این ترتیب به

استاندارد آن ۱۳ است. علامت این متغیر در مدل مثبت است. به این مفهوم که تاثیر افزایش بر تعداد تصادفات شدید دارد. علت این تاثیر مثبت را می‌توان از سه جنبه مورد بررسی قرار داد. اول، ویژگی مبدا- مقصد سفرها، زیرا مراکز خرید باتوجه به نوع کاربری که دارند جزو مکان‌های شلوغ و پرتردد هستند. از این رو، در مواجهه با تراکم زیاد ترافیک بوده که به موجب آن احتمال برخورد در آن‌ها افزایش پیدا می‌کند. دوم، ویژگی وسیله‌سفر، زیرا سفرهای با هدف خرید باتوجه به محل قرارگیری مبدا- مقصد که اغلب در هسته مرکزی شهر بوده و مشکلاتی از قبیل افزایش تراکم ترافیک و کاهش فضای پارک موجب عدم استفاده از خودروی شخصی می‌شود و همانطور که پیش از این نیز بیان شد، شاخص میزان در معرض بودن عابرین پیاده در تصادفات شدید بیشتر است. سوم، ویژگی هدف سفر، زیرا باتوجه به محیطی که در آن قرار دارند بیشتر تمرکز افراد روی خرید بوده و نسبت به مسائل ترافیکی بیشتر دچار حواس‌پرتی می‌شوند. از این رو می‌توان انتظار داشت که با افزایش تعداد سفرهای با هدف خرید، تعداد تصادفات شدید نیز افزایش پیدا می‌کند. همچنین علامت مثبت برآورد شده با مطالعه مشابه پیشین [Naderan & Shahi, 2010] که در آن پیش‌بینی تعداد تصادفات کل بر مبنای متغیرهای تولید و جذب سفر با هدف خرید انجام شده همخوانی دارد. ۸) تعداد سفر در بین هر جفت ناحیه مبدا- مقصد با هدف شخصی (Personal): مقدار متوسط این متغیر ۱ سفر و انحراف استاندارد آن ۴ است. علامت این متغیر در مدل مثبت است. به این مفهوم که تاثیر افزایشی بر تعداد تصادفات شدید دارد. سفرهای با هدف شخصی معمولاً شامل سفرهای مراجعه به ادارات یا پزشک انجام می‌شود. علت این تاثیر مثبت را می‌توان از دو جنبه مورد بررسی قرار داد. اول ویژگی مبدا- مقصد سفرها، زیرا مناطقی که ادارات یا پزشکان در آن قرار دارند باتوجه به نیازهای عموم مردم جزو مکان‌های پرتردد هستند که از این رو در ساعات کاری با تراکم ترافیک زیاد مواجه

type at intersections and segments along corridors”, Vol. 119, PP. 263-273.

- Almasi, S. A., & Behnood, H. R. (2022) “Exposure based geographic analysis mode for estimating the expected pedestrian crash frequency in urban traffic zones; case study of Tehran”, Vol. 168, PP. 106576.

- Amoh-Gyimah, R., Saberi, M., & Sarvi, M. (2016) “Macroscopic modeling of pedestrian and bicycle crashes: A cross-comparison of estimation methods”, Vol. 93, PP. 147-159.

- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2013) “Regression analysis of count data”, Cambridge university press.

- Chatterjee, A., Everett, J., Reiff, B., Schwetz, T., Seaver, W., & Wegmann, F. (2003) “Tools for assessing safety impact of long-range transportation plans in urban areas”.

- Chen, P. (2015) “Built environment factors in explaining the automobile-involved bicycle crash frequencies: A spatial statistic approach”, Vol. 79, PP. 336-343.

- de Dios Ortúzar, J., & Willumsen, L. G. (2011) “Modelling transport”, John wiley & sons.

- Ding, H., & Sze, N. (2022) “Effects of road network characteristics on bicycle safety: A multivariate Poisson-lognormal model”, Vol. 1, PP. 100020.

- El-Basyouny, K., & Sayed, T. (2009) “Collision prediction models using multivariate Poisson-lognormal regression”, Vol. 41, PP. 820-828.

- Huang, H., Song, B., Xu, P., Zeng, Q., Lee, J., & Abdel-Aty, M. (2016) “Macro and micro models for zonal crash prediction with application in hot zones identification”, Vol. 54, PP. 248-256.

کمک این مدل می‌توان تاثیر سناریوهای مختلف مدیریت تقاضای سفر را بر ایمنی ارزیابی کرد و برنامه‌های بلندمدت مدیریت ایمنی و کاهش تصادفات ترافیکی را واقعی‌تر، علمی‌تر و عملی‌تر، هدف‌گذاری کرد.

برای مطالعات آینده، می‌توان تاثیر سایر متغیرها را در مدل پیش‌بینی تصادفات بررسی کرد. همچنین می‌توان توزیع ریسک تصادفات را در بازه‌های مختلف روزانه مورد بررسی قرار داد که در این صورت امکان سنجش دقیق حساسیت اهداف مختلف سفر نسبت به تصادفات فراهم می‌شود. نهایتاً باتوجه به توسعه مدل‌های پیش‌بینی تصادفات براساس گام‌های ایجاد تصادفات [Naderan & Shahi, 2010]. توزیع تصادفات (مطالعه حاضر) و تفکیک تصادفات [Mohammadi et al., 2018]. توسعه مدل‌های پیش‌بینی تصادفات براساس گام تخصیص ترافیک از مدل‌های مرسوم چهارمرحله‌ای تقاضای سفر ضروری به نظر می‌رسد.

۷. پی‌نوشت‌ها

1. Vehicle Kilometer Traveled
2. Time of Car
3. Velocity of Car
4. None-Home Based
5. Akaike's Information Criteria

۸. مراجع

- نادران، ع. (۲۰۱۰) “تخمین تعداد تصادفات ترافیکی در مناطق شهری به کمک مدل‌های هم‌فزون”، سال دوم، ص. ۱۵۵-۱۶۹.

- Abdella, G. M., Kim, J., Al-Khalifa, K. N., & Hamouda, A. M. (2019) “Penalized Conway-Maxwell-Poisson regression for modelling dispersed discrete data: The case study of motor vehicle crash frequency”, Vol. 120, PP. 157-163.

- Alarifi, S. A., Abdel-Aty, M., & Lee, J. (2018) “A Bayesian multivariate hierarchical spatial joint model for predicting crash counts by crash

- Pljakić, M., Jovanović, D., Matović, B., & Mičić, S. (2019) "Macro-level accident modeling in Novi Sad: A spatial regression approach", Vol. 132, PP. 105259.
- Ratner, B. (2009) "The correlation coefficient: Its values range between+ 1/- 1, or do they?", Vol. 17, PP. 139-142.
- Sun, M., Sun, X., Rahman, M. A., Akter, M., & Das, S. (2021) "Modeling two-way stop-controlled intersection crashes with zero-inflated models on Louisiana rural two-lane highways".
- Tang, J., Gao, F., Liu, F., Han, C., & Lee, J. (2020) "Spatial heterogeneity analysis of macro-level crashes using geographically weighted Poisson quantile regression", Vol. 148, PP. 105833.
- Wang, K., Ivan, J. N., Ravishanker, N., & Jackson, E. (2017) "Multivariate poisson lognormal modeling of crashes by type and severity on rural two lane highways", Vol. 99, PP. 6-19.
- Wang, X., Yang, J., Lee, C., Ji, Z., & You, S. (2016) "Macro-level safety analysis of pedestrian crashes in Shanghai, China", Vol. 96, PP. 12-21.
- Washington, S., Karlafatis, M., & Mannering, F. (2003) "Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis. requirements: Multinomial logit, ordered probit and mixed logit models", Vol. 1, PP. 72-85.
- Zeng, Q., & Huang, H. (2014) "A stable and optimized neural network model for crash injury severity prediction", Vol. 73, PP. 351-358.
- Zeng, Q., Huang, H., Pei, X., Wong, S., & Gao, M. (2016) "Rule extraction from an
- Kim, H., Jang, J., & Choi, Y. (2022) "Spatial analysis of collision risk of child pedestrians—A case of urban elementary school districts in Busan, Korea", Vol. 29, PP. 165-175.
- Ladron de Guevara, F., Washington, S. P., & Oh, J. (2004) "Forecasting crashes at the planning level: simultaneous negative binomial crash model applied in Tucson, Arizona", Vol. 1897, PP. 191-199.
- Li, J., & Wang, X. (2022) "Hotspot identification on urban arterials at the meso level", Vol. 169, PP. 106632.
- Lukusa, M. T., & Phoa, F. K. H. (2020) "A Horvitz-type estimation on incomplete traffic accident data analyzed via a zero-inflated Poisson model", Vol. 134, PP. 105235.
- Mammadova, U., & Özkale, M. R. (2020) "Profile monitoring for count data using Poisson and Conway–Maxwell–Poisson regression-based control charts under multicollinearity problem", Vol. 388, PP. 113275.
- Mathew, S., Pulugurtha, S. S., & Duvvuri, S. (2022) "Exploring the effect of road network, demographic, and land use characteristics on teen crash frequency using geographically weighted negative binomial regression", Vol. 168, PP. 106615.
- Miaou, S.-P., & Lum, H. (1993) "Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships", Vol. 25, PP. 689-709.
- Mohammadi, M., Shafabakhsh, G., & Naderan, A. (2018) "Effects of modal shares on crash frequencies at aggregate level", Vol. 120, PP. 295-303.
- Naderan, A., & Shahi, J. (2010) "Aggregate crash prediction models: Introducing crash generation concept", Vol. 42, PP. 339-346.

optimized neural network for traffic crash frequency modeling”, Vol. 97, PP. 87-95.

- Zeng, Q., Wang, F., Wang, Q., Pei, X., & Yuan, Q. (2022) “Bayesian multivariate spatial modeling for crash frequencies by injury severity at daytime and nighttime in traffic analysis zones”, PP. 1-8.

- Zhai, X., Huang, H., Gao, M., Dong, N., & Sze, N. (2018) “Boundary crash data assignment in zonal safety analysis: an iterative approach based on data augmentation and Bayesian spatial model”, Vol. 121, PP. 231-237.

- Zhu, M., Li, H., Sze, N., & Ren, G. (2022) “Exploring the impacts of street layout on the frequency of pedestrian crashes: A micro-level study”, Vol. 81, PP. 91-100.

سامان دباغ فیضی، علی نادران، علی توکلی کاشانی

آقای سامان دباغ فیضی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران- عمران را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- حمل و نقل را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب اخذ نموده اند. هم اکنون دانشجوی درجه دکتری در رشته مهندسی حمل و نقل از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات هستند. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان، ایمنی در حمل و نقل، تصادفات ترافیکی و مدلسازی و برنامه ریزی حمل و نقل است.



دکتر علی نادران، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷۹ از دانشگاه تهران و درجه های کارشناسی اشد و دکتری در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری را به ترتیب در سال های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۹ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نموده اند. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان، ایمنی ترافیک و برنامه ریزی حمل و نقل است. در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات هستند.



دکتر علی توکلی کاشانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۰ از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه های کارشناسی ارشد و دکتری در رشته مهندسی عمران- حمل و نقل را به ترتیب در سال های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نموده اند. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان، ایمنی ترافیک و برنامه ریزی حمل و نقل است. در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه علم و صنعت ایران هستند.

