# ارائه مدل‌پیش‌بینی تعداد تصادفات حمل‌ونقل کالا مشتمل بر فوتی و جرحی با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک

مسعود باقری رامیانی[۱،*] و غلامرضا شیرازیان[۲]

**اطلاعات مقاله**

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۲۵

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

**واژگان کلیدی:**

ایمنی،

پیش‌بینی تصادفات،

مدل ایمنی،

برنامه‌ریزی ژنتیک.

**چکیده**

امروزه به‌دلیل اهمیت یافتن حمل‌ونقل در کشورهای رو به توسعه، پرداختن به مباحث مرتبط با برنامه‌ریزی ایمنی حمل‌ونقل نیز اهمیت زیادی پیدا کرده است. یکی از موضوعات مهم در مبحث برنامه‌ریزی ایمنی، همگام‌سازی برنامه‌ریزی ایمنی با مراحل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است و پیش‌بینی تصادفات در مقیاس کلان از مؤلفه‌های آن به‌شمار می‌رود. هدف از انجام این پژوهش ارائه یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی تعداد تصادفات شدید حمل‌ونقل جاده‌ای کالا هم‌گام با برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و تعیین مناسب‌ترین مرحله برنامه-ریزی برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی تصادفات در سطح کلان است. در این‌مقاله با بررسی عوامل اثرگذار بر تصادفات، مدل کلان با استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک ارائه‌شده‌است. به‌این‌منظور از اطلاعات سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ به‌عنوان داده‌های پایه و از آمار سال ۱۳۹۴ برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است و بر اساس داده‌های هریک از مراحل برنامه‌ریزی، مدل‌های جداگانه‌ای ساخته شده و پس از مقایسه بین آن‌ها مدل مبتنی بر متغیرهای تولید سفر به‌عنوان مدل‌بهینه شناسایی و انتخاب شده است. نتایج نشان داده-است از بین داده‌های چهارگانه متناظر با مراحل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، متغیرهای مرحله تولید سفر مناسب‌ترین گروه داده‌ها برای ساخت مدل‌پیش‌بینی تصادفات حمل‌ونقل جاده-ای کالا در سطح کلان هستند.

## ۱-مقدمه

حمل‌ونقل یکی‌از اصلی‌ترین مؤلفه‌های زندگی مدرن امروزی است و یکی‌از مهم‌ترین خصوصیات هرشبکه حمل‌ونقل، ایمنی‌است و منظور از ایمنی در حمل‌ونقل بر اساس یک تعریف ساده، دستیابی به‌مقصد سفر در راستای هدف سفر بدون بروز آسیب‌جانی و مالی است. خسارات ناشی از تصادفات جاده‌ای دارای ابعاد گوناگون اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، زیست‌محیطی، بهداشتی و روانی است.[۱] در سرتاسر جهان روزانه نزدیک به ۳۴۰۰ نفر از انسان‌ها جان خود را در حوادث ترافیکی از دست می‌دهند و تعداد مجروحان نیز سالانه حدود ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر تخمین زده می‌شود[۲].

ازاین‌رو ایمنی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های برنامه ریزان و مهندسان حمل‌ونقل در طراحی زیرساخت‌ها و بهره‌برداری از آن‌ها به‌شمار می‌رود و درعین‌حال یکی از موارد پراهمیت و مؤثر در برنامه‌ریزی است. پیش‌بینی ایمنی سامانه‌های حمل‌ونقل نیز دارای اهمیت بوده و به دلیل‌اینکه اغلب تصمیم‌های این حوزه پیامدهای درازمدت دارند، بنابراین داشتن برآورد مناسب از شرایط ایمنی آینده یک ضرورت محسوب می‌شود و همین امر دغدغه ایست که

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: mbrpost@yahoo.com

۱. دانشجوی دوره دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شمال

۲. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شمال

باعث انجام این پژوهش شده است.

می‌توان بیان‌داشت به‌طور عمده برنامه‌های ارتقای ایمنی جاده‌ای که تاکنون ارائه‌شده‌اند بر موضوعاتی نظیر شناسایی نقاط حادثه‌خیز و اصلاح آن‌ها تمرکز داشته‌است درحالی‌که چنین برنامه‌هایی، اقدام واکنشی به‌شمار می‌رود و در عین موفقیت کماکان شدت و تعداد تصادفات به‌طور غیرقابل-پذیرشی زیاد بوده و پرداختن به‌چنین مواردی مستلزم در اختیارداشتن آمار و اطلاعات کافی از تصادفات است.

باتوجه‌به‌اینکه در سامانه‌های پیشرفته مدیریت ترافیک هدف تنها حرکت وسایل نقلیه نیست بلکه بهینه‌سازی جریان با حداقل تأخیر و حداکثر ایمنی مدنظراست[۳] بنابراین در راستای ارتقاء روش‌های سنتی و اقدام در جهت بهینه‌نمودن حمل‌ونقل ازنظر ایمنی، پژوهشگران به این-نتیجه رسیده‌اند که نیاز به روش‌های پیشگیرانه‌تری احساس می‌شود و یک‌روش پیشگیرانه آن‌است‌که به مبحث ایمنی به‌طور صریح و به‌عنوان یک معیار در ارزیابی برنامه های حمل‌ونقل پرداخته شود که در نهایت باعث‌گردد نیاز به اقدامات واکنشی کاهش یابد.

اغلب مطالعات کلان مورد بررسی با هدف شناخت عوامل مؤثر در بروز تصادفات انجام شده‌اند. انتخاب این هدف، بر انتخاب متغیرهای مورد استفاده در مدل‌ها تأثیر می‌گذارد. به‌طوری‌که این متغیرها توانایی بسیار خوبی برای تحلیل وضعیت موجود تصادفات دارند، اما قابلیت آن‌ها در پیش‌بینی تعداد تصادفات در آینده بسیار کم است. تنها در موارد بسیار کمی پیش‌بینی تصادفات در آینده به‌عنوان هدف اصلی از ساخت مدل‌ها ذکر شده است. متغیرهای مورد استفاده در این مدل‌ها عموماً از نتایج تخصیص ترافیک به‌شبکه و ویژگی‌های فیزیکی شبکه معابر به‌دست می‌آیند و این متغیرها به‌طور مستقل قابل پیش‌بینی نیستند، بلکه باید آن‌ها را بر اساس آخرین گام در فرآیند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، یعنی مرحله تخصیص ترافیک، استخراج نمود.

در اغلب پژوهش‌های فنی ذکر شده، دقت مدل‌های چهار مرحله‌ای برآورد تقاضای سفر، تحت‌تأثیر دقت برآورد مدل در گام‌های قبلی (تولید/جذب، توزیع و تفکیک سفر) است. دقت این مدل‌ها نیز به نوبه خود تحت‌تأثیر دقت برآورد متغیرهایی است که در ساخت مدل‌ها مورد استفاده قرار-گرفته است؛ بنابراین می‌توان تصور نمود در این‌گونه مدل ها یک‌لایه خطای اضافه که مقدار آن فراوان است را در فرآیند استخراج نتایج شاهد باشیم.

هدف پژوهش حاضر، ارائه ابزاری مناسب برای پیش‌بینی تعداد تصادفات حمل‌ونقل کالا در فرآیند برنامه‌ریزی ایمنی در سطح‌کلان و برای آینده است که‌درآن،کوچک‌ترین واحد مطالعاتی یک استان در نظر گرفته شده و با ارائه مدل‌ریاضی برای تخمین تصادفات ترافیکی باری، ابزاری بنیادین در اختیار برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران حوزۀ حمل‌ونقل قرارمی گیرد تا پیش از اجرای طرح‌های خود، بتوانند تعداد تصادفات حمل‌ونقل جاده‌ای کالا را تخمین بزنند و با پیش-بینی تصادفات آتی، برنامه‌ریزی مناسب‌تری را بادرنظر-گرفتن اثرات احتمالی تصمیمات بر تصادفات در سال‌های آینده داشته‌باشند. بدین ترتیب به‌جای برخورد واکنشی با تصادفات، مسئلۀ ایمنی حمل‌ونقل جاده‌ای کالا به‌صورت کنشی مورد توجه قرار خواهد گرفت و به‌ترتیبی که در فرآیند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل به‌مواردی چون توسعۀ اقتصادی، زیست‌محیطی و ملاحظات اجتماعی پرداخته می شود به موضوع ایمنی نیز به‌صورت پراهمیت‌تر پرداخته-خواهد شد.

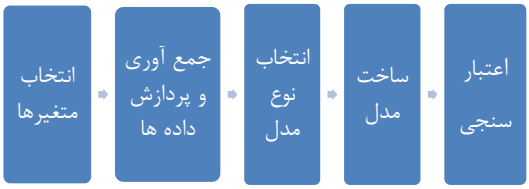
در این‌راستا لازم است از روش مناسبی برای پیش‌بینی تعداد تصادفات استفاده شود بنابراین در ادامه مروری بر انواع روش‌ها و مبانی مدل‌های پیش‌بینی تصادفات صورت گرفته است.

## ۲-مرور تحقیقات پیشین

مطابق تحقیقات پیشین، می‌توان پیش‌بینی نمود که طی سال‌های آتی میزان جابه‌جایی کالا به‌واسطۀ حمل‌ونقل جاده‌ای افزایش چشم‌گیری خواهد داشت. به‌طور نمونه می توان به‌بررسی صورت‌گرفته راجع به‌نرخ رشد ناوگان حمل‌ونقل در انتاریو اشاره نمود که نشان می‌دهد تعداد وسایل حمل‌ونقل باری ثبت شده از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۳، به میزان ۶۳ درصد افزایش داشته است؛ بنابراین آنالیز وسایل حمل‌ونقل باری که در پدیدۀ تصادفات درگیر-می‌باشند، بسیار حائز اهمیت بوده و شناسایی عوامل مؤثر برآن نیز مهم است[۴]. بر مبنای آمار منتشره سازمان حمل‌ونقل کشور در ایران نیز تعداد وسایل حمل‌ونقل عمومی باری در سال ۱۳۸۵ برابر با ۱۹۹۵۸۶ دستگاه و در سال ۱۳۹۵ برابر با ۳۵۹۷۰۱ دستگاه بوده که نشانگر رشد بیش از ۸۰٪ درصد در یک دهه است.

باوجوداینکه برای تحلیل روند تصادفات و شناسایی خطرات بالقوه، مبحث پیش‌بینی بسیار مهم‌تر ازموضوع علت‌ایجاد تصادفات است، بااین‌حال اکثر پژوهش‌های پیشین بر روی سلسله دلایل رخداد تصادف متمرکز شده‌اند و تعداد کمی از مطالعات هم به مقایسه جامع روش‌های پیش‌بینی تصادفات پرداخته‌اند[۵].

با توجه به مطالعات قبلی، می‌توان بیان‌نمود فرآیند ساخت تابع ریاضی مدل‌های هم‌فزون تصادفات بر پنج‌گام استوار-است که درشکل (۱) نشان‌داده‌شده‌است[۶]:




شکل ۱- مراحل ساخت مدل هم‌فزون پیش‌بینی تصادفات

مدل‌های پیشین تخمین تصادفات عمدتاً بر مبنای روش رگرسیون خطی چندگانه با فرض خطاهای نرمال بوده‌اند و از زمانی‌که پژوهشگران دریافتند که توابع پیش‌بینی تصادفات با مدل‌های توزیع پواسون برازش بهتری دارند، بلافاصله مدل‌های رگرسیون پواسون بر اساس یک چهار چوب خطی تعمیم‌یافته با روش‌های رگرسیون خطی چند-گانۀمتداول جایگزین‌شدند. درعین‌حال روش‌های رگرسیون پواسون نیز یک محدودیت عمده‌دارند و آن این است که بایستی میانگین با مقدار واریانس برابرباشد و در غیراین-صورت خطاهای استاندارد روی می‌دهد و نتیجه آزمون‌مدل نادرست خواهدبود. مطالعات اخیر نشان‌داده است وقتی واریانس بیشتر از میانگین باشد بدین‌معناست که آمار تصادفات پراکنده‌هستند، بنابراین نتیجۀ مدل رگرسیون پواسون می‌تواند یک تخمین اشتباه از احتمال وقوع‌تصادف باشد.

برای فائق‌آمدن بر این‌مشکل، پژوهشگران درصدد برآمدند تا از توابع مبتنی بر توزیع دوجمله‌ای منفی استفاده‌نمایند و به‌دلیل آن‌که توزیع دوجمله‌ای منفی دیگر آن محدودیت میانگین را ندارد و قادراست داده‌های بالاتر از دامنه را اصلاح‌کند، به‌طور وسیعی در مدل‌های پیش‌بینی تواتر تصادفات به‌کاربرده شده‌اند. بااین‌حال، این مدل‌های نیز محدودیت‌هایی نظیر ناتوانی در به‌کاربردن داده‌های پایین دامنه آمار تصادفات، درزمانی‌که میانگین آمار تصادفات از واریانس بیشتر باشد، از خود نشان‌می‌دهند.

یکی‌دیگر از روش‌هایی که درزمینۀپیش‌بینی تصادفات ارائه‌شده‌است، مدل‌افزایندۀتعمیم‌یافته‌است که‌متغیرهای توصیفی را پرداخت‌می‌نماید. ازآنجایی‌که این مدل‌ها شامل پارامترهای زیادتری در مقایسه بامدل‌های کلاسیک هستند، بنابراین کاربرد آن‌ها برای پیش‌بینی تصادفات خیلی محدوداست.

این واقعیت که توابع خطی برای پیش‌بینی تصادفات جواب های خوبی به‌دست نمی‌دهد، اخیراً پژوهشگران ایمنی حمل‌ونقل را بر آن واداشته‌است که‌برای پیش‌بینی تصادفات از متدهای منطق فازی و شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده-نمایند.

در سال‌های اخیر شبکه‌های عصبی کاربردهای زیادی در رشته‌های مختلف علوم در هر دو جهت نظری و عملی پیدا-کرده‌اند. شبکه‌های‌عصبی مصنوعی در مسیری گام بر می-دارند که ابزارها توانایی فراگیری و برنامه‌ریزی خود را داشته باشند؛ و ساختار آن‌ها به‌گونه‌ای است که قابلیت حل مسئله را بدون کمک فرد متخصص و برنامه‌ریزی خارجی داشته-باشند. شبکه‌های عصبی قادر به‌یافتن الگوهایی هستند که-هیچ‌کس، هیچ‌گاه از وجود آن‌ها اطلاعی نداشته‌است [۷] و درعین‌حال فقط نتایج را ارائه می‌نمایند.

با توجه به‌اینکه در پژوهش حاضر ارائه مدل پیش‌بینی مد نظر است و از آنجایی‌که جدیدترین روش‌های یادشده اخیر تحت‌عنوان روش‌های مبتنی بر شبکه‌عصبی مصنوعی، فقط نتایج پیش‌بینی را ارائه می‌دهند و از ارائه توابع ریاضی نا-توان هستند، بنابراین در انجام این تحقیق برای رفع این-نقیصه، روش برنامه‌ریزی ژنتیک به‌عنوان مبنای مدل‌سازی مدنظر قرارگرفته است.

بااین‌حال در این‌بخش از تحقیق به‌ارائه خلاصه برخی از مطالعات انجام‌شده پیشین در حوزه برون‌شهری در قالب جدول (۱) پرداخته شده است و نوع مدل‌های به‌دست‌آمده در هریک از آن‌ها به‌همراه متغیرهای به‌کاررفته درمدل نشان داده شده است.

## ۳-روش تحقیق

امروزه پیش‌بینی در سطح کلان (ماکرو)، یکی از جنبه‌های مهم پژوهشی در مقوله تصادفات حمل‌ونقل است. چنین مدل‌هایی تعداد تصادفات یا تلفات را از طریق به‌کارگیری

توابعی که برمبنای اطلاعات مربوط به عوامل مؤثر ساخته شده‌اند، تخمین می‌زند[۱۲].

جدول ۱- خلاصه بررسی برخی از مطالعات پیشین در زمینهٔ مدل‌سازی در سطح کلان [۸]، [۹]، [۱۰]، [۱۱] و [۱۲]

| ردیف | پژوهشگران | سال | حوزه مطالعه | متغیرهای مستقل | متغیر وابسته | نوع مدل | نتایج |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | مدل ترکیبی ژانگ یانگ و همکاران [۸] | ۲۰۱۴ | برون‌شهری | تعداد وسایل نقلیه جمعیت تولید ناخالص داخلی حجم جابجایی کالا طول راه‌ها | تعداد کشته‌شدگان | مدل رگرسیون خطی چندگانه | از طریق مدل‌ارائه‌شده، محاسبه تعداد تلفات به‌همراه تعیین تأثیر هریک از عوامل بر ایجاد تصادفات صورت گرفته‌است. |
| ۲ | مدل فوجی تا و همکاران [۹] | ۲۰۱۱ | برون‌شهری | روشنایی مسیر تعداد نقاط دسترسی سرعت متوسط ترافیک سالیانه تعداد موتور و خودرو سرفاصله زمانی | تعداد تصادفات | مدل رگرسیون خطی | تعداد نقاط دسترسی، روشنایی مسیر، افزایش سرعت، افزایش متوسط ترافیک سالانه، افزایش تعداد موتورسیکلت و ماشین موتوری و کاهش سرفاصلهٔ زمانی به‌عنوان عوامل مؤثر در تصادفات جاده‌های برون‌شهری می‌باشند. |
| ۳ | مدل فلاناگان و همکاران [۱۰] | ۲۰۱۸ | برون‌شهری | پیمایش وسایل نقلیه سهم پیمایش خودرو-ها هزینه ایمن‌سازی تولید ناخالص داخلی تعداد افراد غیر شاغل قیمت سوخت سرانه مصرف الکل درصد موتورسواران درآمد متوسط | تعداد تصادفات، تلفات و مجروحین | مدل رگرسیون خطی | ارتباط مناسبی بین پارامترهای منتخب به‌ویژه پارامترهای اقتصادی با تعداد تلفات در سطح استانی برقراراست. |
| ۴ | مدل هوئز و همکاران [۱۱] | ۲۰۱۸ | برون‌شهری | سرعت غیرمجاز نقص لاستیک عدم کنترل نقص در ترمز سبقت خطرناک شرایط آب و هوایی انسداد معبر رانندگی خطرناک مشکلات رؤیت علائم مشکلات مسیر | تعداد تصادفات | مدل میانگین متحرک پیوسته (ARIMA) و مدل میانگین متحرک پیوسته با متغیر توصیفی (ARIMAX) | در سطح استانی مدل (ARIMAX) نسبت به مدل (ARIMA) مناسب‌تر بوده و در پایان پیشنهادشده‌است که مدل-های پیش‌بینی مبتنی بر شبکهٔ-عصبی مصنوعی نیز موردمطالعه قرارگیرد و اعتبار پیش‌بینی آن‌ها با مدل‌های پیش‌بینی (ARIMA) و (ARIMAX) مقایسه‌شود. |
| ۵ | مدل چون یان لی [۱۲] | ۲۰۰۹ | برون‌شهری | جمعیت طول راه‌ها تعداد مسافران تعداد رانندگان تولید ناخالص ملی تعداد خودروها | تعداد کشته‌شدگان | مدل رگرسیون خطی مرحله‌ای | در این مطالعه مدل ایمنی در سطح کلان ارائه‌شده و این‌گونه نتیجه‌گیری شده‌است که برای موضوع برنامه‌ریزی مدل‌های کلان نتایج بهتری را به‌دست می‌دهند. |

به‌طورکلی فرم یک مدل ایمنی در سطح کلان، می‌تواند به‌صورت $Y=F(x)$ ارائه شود که درآن $Y$ تعداد تصادفات یا شدت آن‌ها و $X$ بردار توصیف متغیرها است که می‌تواند شامل مجموعه‌ای از عوامل رانندگی، طبیعی و یا اقتصادی در نظر گرفته شود[۱۳].

در پژوهش حاضر، تخمین تصادفات مربوط به‌حمل‌ونقل کالا در سطح کشور درمرحلهٔ برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و پس از مراحل پیش‌بینی تولید و توزیع در فرآیند برآورد تقاضای حمل‌ونقل مدنظر است و به‌نوعی می‌توان آن را گامی در راستای یک‌پارچه‌سازی برنامه‌ریزی ایمنی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل تلقی‌نمود.

### ۳-۱-معرفی برنامه‌ریزی ژنتیک

برنامه‌ریزی ژنتیک که با نماد (GP) می‌شود، از الگوریتم‌های ژنتیک برای نوشتن برنامه‌های کامپیوتری استفاده‌می‌کند و جدیدترین شیوه ازبین روش‌های الگوریتم گردشی است که‌به‌دلیل دارابودن دقت‌کافی، به عنوان یک روش‌کاربردی مطرح‌می‌شود. مبانی روش شبیه-سازی (GP) بر اساس نظریه تکاملی داروین استوار بوده و یکی‌از شاخه‌های الگوریتم ژنتیک محسوب می‌شود. فرآیند شبیه‌سازی در (GP) به‌این‌صورت است که ابتدا مجموعه هایی که می‌توانند جهت انتخاب متغیرها و عملگرها در فرآیند جستجو به‌کار روند، معرفی‌می‌شوند. سپس کروموزوم‌ها به‌وسیله انتخاب یک مجموعه جواب اولیه تصادفی از مجموعه‌های اتصال و توابع ایجاد می‌شوند. بعد-ازآن، تابع‌هدف متناظر با هر کروموزوم محاسبه‌می‌شود و مجموع تفاوت مقادیر محاسباتی و مشاهداتی کمینه می-شود. درمرحله‌بعد عملگرهای ژنتیک (ترویج و جهش) اعمال‌می‌شوند. در ادامه، فرآیند توسعه‌ای تکراری در مورد فرزندان انجام می‌شود و درنهایت پس از تعداد تکرار مشخصی که روند تغییرات تابع‌هدف در آن تقریباً ثابت-گردید، مقداربهینه یا نزدیک به‌بهینه به‌عنوان جواب مسئله استخراج می‌گردد[۱۴].

در این‌حالت متغیرها، ساختارهای برنامه‌ریزی هستند و خروجی نیز میزان توانایی برنامه دررسیدن به‌اهدافش است. تغییرات کوچکی در عملگرهای الگوریتم‌ژنتیک همانند جهش، بازتولید و ارزیابی تابع‌هزینه برای استفاده از آن‌ها در (GP) ، مورد نیاز هستند. هر کروموزوم در جمعیت اولیه (GP) ، از تعدادی تابع تصادفی و پایانه‌ها تشکیل‌یافته‌است. مثال‌هایی از این توابع تصادفی، عملیات جمع، تفریق، تقسیم، ضرب و توابع مثلثاتی هستند. پایانه ها نیز شامل متغیرها و ثابت‌های برنامه هستند. شکل زیر جمعیت کوچک توابع چندجمله‌ای را نشان می‌دهد.

در برنامه‌ریزی ژنتیک، ابتدا بلوک‌های موجود که شامل متغیرهای ورودی و هدف و نیز تابع ارتباط‌دهنده آن‌ها می‌باشند، تعریف‌گردیده و سپس ساختار مناسب الگو و ضرایب آن تعیین می‌شود. این روش شامل یک معادله ارتباط‌دهنده بین متغیرهای ورودی و خروجی بوده، بنابراین قادر به انتخاب خودکار متغیرهای مناسب الگو و حذف متغیرهای غیرمرتبط است که این امر سبب کاهش ابعاد متغیرهای ورودی خواهد شد.

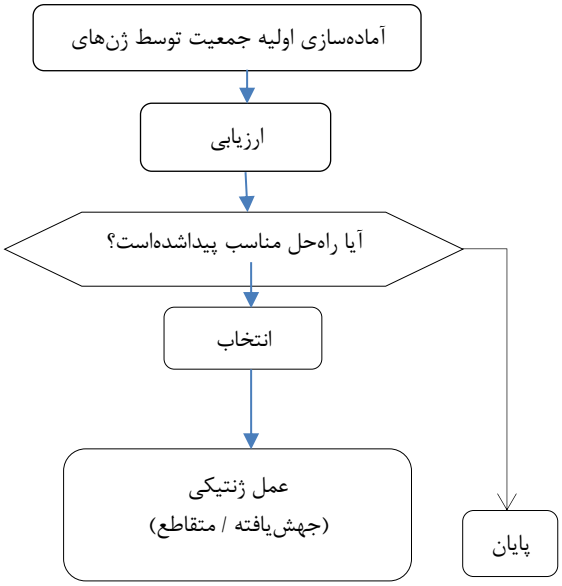
به‌طورکلی فرایند گام‌به‌گام برنامه‌ریزی ژنتیک به‌صورت مراحل زیراست:

۱) یک جمعیت اولیه از توابع مرکب نشان‌دهنده الگوهای پیش‌بینی، به‌صورت تصادفی در نظر گرفته‌می‌شود (ایجاد کروموزوم‌ها)

۲) معرفی جمعیت اولیه (کروموزوم‌ها) به رایانه و ارزیابی هریک‌از افراد (ژن) جمعیت مذکور با استفاده از توابع برازش (شناسایی مؤثرترین افراد در ماهیت پدیده)

۳) انتخاب ژن‌های مؤثر به‌منظور تکثیر، جهش، جفت گیری و تولیدمثل افراد جدید با صفات اصلاح‌شده (فرزندان)

۴) اعمال فرایند توسعه‌ای تکراری برروی فرزندان درهر تولید گام چهارم به تعداد معین و یا تا حصول بهترین پاسخ تکرار خواهد شد.




شکل ۲- مراحل ساخت تابع‌ریاضی در مدل‌های هم‌فزون پیش‌بینی تصادفات

در این پژوهش برای پیش‌بینی از روش برنامه‌ریزی ژنتیک تحت نرم‌افزار متلب استفاده شده است. برای معیار توقف در این نرم‌افزار، میزان حداکثر تعداد اجرا و میزان تولید برابر ۳۰۰ در نظر گرفته شده است. در این روش از آمار و اطلاعات سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ معادل با ۸۰ درصد داده ها برای آموزش و از آمار سال ۱۳۹۴ برای اعتبارسنجی و آزمون استفاده شده است.

### ۳-۲-انتخاب متغیرهای مناسب

شناسایی متغیرهای اولیه بایستی براساس اهداف مدل سازی و مبانی تئوریک مدل صورت‌گیرد[۱۵].
براساس مطالعات پیشین طی دودهه گذشته برای تصادفات ترافیکی سه‌گروه علل عمده می‌توان متصور شد:
۱-عوامل انسانی
۲- عوامل مربوط به‌وسیله نقلیه
۳-عوامل محیطی و جاده‌ای
علاوه‌برآن‌ها گروه دیگری وجوددارند که اگرچه خودشان دلیل پیدایش تصادفات نیستند اما با رخداد تصادف دارای همبستگی می‌باشند به‌گونه‌ای که باداشتن آن‌ها می‌توان پیش‌بینی مناسبی از میزان تصادفات در آینده انجام‌داد. بخش عمده‌ای از عوامل موسوم در قالب پارامترهای اجتماعی و اقتصادی برشمرده می‌شوند. مرور مطالعات قبلی نشان می‌دهد طی سال‌های اخیر، متغیرهای مختلفی برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی تصادفات به‌کار رفته‌است. علی‌رغم تنوع نسبی متغیرهای مورداستفاده در پیش‌بینی تصادفات باید تأکیدشود که مبنای نظری و منطق انتخاب متغیرها و تناسب آن‌ها باهدف پژوهش حائزاهمیت‌است.
ازاین‌رو در این پژوهش، ویژگی‌های زیر برای انتخاب متغیر های مستقل مدنظر قرارگرفته‌است:
۱) در مرحله برنامه‌ریزی حمل‌ونقل قابل‌دستیابی باشند.
۲) در برگیرنده شاخص در معرض بودن باشند.
۳) در برگیرنده شاخص تعداد سفرها باشد.
۴) الگوی سفرهای کالا در سطح کشور را توصیف نماید.
۵) با ماهیت حمل‌ونقل کالا بین استان‌ها سازگار باشد.
۶) با فرآیند برآورد تقاضای سفر سازگار باشد.
۷) پیش‌بینی آن برای آینده امکان‌پذیر باشد.
۸) تغییرپذیر بوده و روند تغییرات آن‌ها با رشد سفرهای حمل‌ونقل کالا سازگار باشد.
۹) متغیرها منتج به ایجاد مدلی شوند که نتایج آن با فرآیند برنامه و حمل‌ونقل قابل‌تلفیق باشد.

متغیرهای واجد ویژگی‌های فوق، در چهار گروه متغیرهای مرتبط با تولید سفر، میزان توزیع بار بین مبادی و مقاصد سطح کشور در مقیاس استان، میزان حمل‌ونقل به تفکیک نوع‌بار و میزان حمل‌ونقل به‌تفکیک نوع وسیله‌نقلیه در نظر گرفته‌شده و به‌سامانه برنامه‌ریزی ژنتیک معرفی شده است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد عوامل مؤثر بر تصادفات با توجه به‌شدت تصادفات می‌تواند متفاوت باشد[۱۶]. در این پژوهش تعداد کل تصادفات شدید موردمطالعه‌بوده که مشتمل درمجموع تصادفات فوتی و جرحی است.

### ۳-۳-جمع‌آوری و پردازش‌داده‌ها

هر سری زمانی ویژگی‌های رفتاری نهفته‌ای مانند خود همبستگی، خود شباهتی، خود نسبتی و روند در بازدهی تغییرات مقیاسی خود دارد که به‌این وسیله می‌توان بر تاریخچه فرآیند آن اشراف پیداکرده و مقدمات پیش‌بینی رفتار آن‌را در آینده فراهم‌ساخت.
به‌طورکلی، انجام پژوهش درزمینهٔ تصادفات جاده‌ای و ایمنی مستلزم در اختیارداشتن آمار و اطلاعات مرتبط با آن است به‌طوری‌که بر مبنای اطلاعات مذکور بتوان به ویژگی-های تصادفات اعم از تواتر، شدت و یا سایر مشخصات مرتبط با آن پرداخت.
جمع‌آوری پایگاه داده‌ها شامل متغیرهای احتمالی مورد استفاده در مدل‌سازی، گام دوم در فرآیند ساخت مدل‌های ایجاد تصادف است. این داده‌ها از سازمان‌های مختلف که داده‌ها را گردآوری و نگهداری می‌کنند به‌دست آمده است. برخی از این مراجع عبارت‌اند از: وزارت راه و شهرسازی، سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، سازمان ملی آمار و سازمان پزشکی قانونی.
با توجه به‌اینکه موضوع پژوهش حاضر، ارائهٔ مدل پیش‌بینی تصادفات است و برای دستیابی به مدل پیش‌بینی تصادفات در سطح مناطق در اختیارداشتن اطلاعات مربوط به تصادفات ضروری‌است، از این‌رو آمار مربوط‌به تصادفات وسایل نقلیه مرتبط با مبحث حمل‌ونقل کالا اعم از وسایل نقلیهٔ‌باری بزرگ، کامیون‌ها و وانت‌بارها طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ گردآوری گردیده و از آمار چهار سال ابتدایی برای ساخت مدل و از آمار سال آخر برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. برای انجام این تحقیق و ساخت مدل در گام نخست پایگاه اطلاعات واقعی در سطح کشور برای سال‌های موردنظر تهیه و اطلاعات موردنیاز به سه دستهٔ کلی تقسیم گردیده است:

الف- اطلاعات مربوط به تصادفات

آمار مربوط به تصادفات وسایل نقلیهٔ جاده‌ای برای سال‌های اخیر از وزارت راه و شهرسازی طبق جدول ۲ دریافت و اطلاعات مربوط به‌آمار تصادفات وسایل نقلیهٔ باری مشتمل بر وسایل نقلیهٔ بزرگ، کامیون‌ها و وانت بارها به‌تفکیک نوع تصادف اعم از فوتی یا جرحی‌بودن و موقعیت برای دورهٔ مبنا تهیه شده است.

ب- اطلاعات مربوط به‌سفر

اطلاعات مربوط به سفرهای باری از مرجع سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای برای دورهٔ مبنا و به‌تفکیک سال‌های مورد مطالعه دریافت شده است. این اطلاعات شامل مواردی چون تولید سفرباری، جذب سفرباری، تعداد وسایل نقلیهٔباری فعال و درایه‌های ماتریس تولید و جذب برای هر استان در هرسال است.

ج- اطلاعات اقتصادی- اجتماعی

سایر اطلاعات مورد نیاز با محوریت بُعد اقتصادی و اجتماعی از سالنامه‌های آماری کشور استخراج گردیده است. در این مقاله، نتایج گردآوری شده حاصل از اطلاعات مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته و آمار مربوط به متغیرهای مستقل به‌منظور ساخت مدل بررسی شده است تا درنهایت به ارائه مدل پیشنهادی جهت پیش‌بینی تعداد تصادفات حمل‌ونقل کالا منتج شود. در یک مرحله اطلاعات مربوط به سفر و حمل‌ونقل با آمار ایمنی مورد تطبیق قرار داده شده و در مرحلهٔ بعد سایر اطلاعات گردآوری شده اعم از اطلاعات اقتصادی و اجتماعی بررسی‌گردیده تا مدل مورد نظر حاصل شود.

### ۳-۴-انتخاب مدل

انتخاب روش دستیابی به‌رابطه ریاضی بین متغیرهای مستقل با تعداد تصادفات در سطح استان‌ها، زیربنای مدل سازی آماری را تشکیل می‌دهد. عواملی مانند هدف از مدل سازی، نوع داده‌های موجود، بسته نرم‌افزاری و چار چوب محاسباتی ساخت مدل، تأثیر زیادی در شکل ریاضی مدل دارد.

در پژوهش حاضر دو رویکرد کلی نسبت‌به‌موضوع اتخاذ شده است: یکی انتخاب متغیرهای واجد شرایط ذکرشده در ردیف (۲-۲) و دیگری برقراری ارتباط بین حجم حمل‌ونقل کالا میان مبادی و مقاصد استانی با تعداد تصادفات هر استان مبتنی بر داده‌های توزیع و تفکیک وسایل نقلیه و نوع کالا و مجموعاً در چهار حالت مختلف.

در هریک از گروه‌های چهارگانه به‌واسطه برنامه‌ریزی ژنتیک مؤثرترین عوامل پیش‌بینی‌کننده تصادف انتخاب و مطابق با جدول ۳ مناسب‌ترین مدل در هر گروه انتخاب شده است. اعتبارسنجی مدل‌آماری، توانایی مدل در توصیف داده‌های مشاهده شده را نشان می‌دهد. گاهی این‌گام به‌عنوان بخشی از مرحله پرداخت مدل در نظر گرفته می‌شود. خطای استاندارد ضرایب مدل، هم‌خوانی برآورد مدل از متغیر وابسته با مقادیر مشاهده‌شده، روش‌هایی برای ارزیابی اعتبار مدل‌هستند.

در پژوهش حاضر، مشاهدات و برآوردهای مربوط به یک سال جهت اعتبارسنجی مدل درنظر گرفته شده است و دو عامل همبستگی (R) و حداقل خطا (ERR) جهت انتخاب مدل‌بهینه ملاک عمل بوده است.

### ۳-۵-ارائه‌مدل و یافته‌ها

به‌منظور تخمین تعداد تصادفات مناطق ترافیکی داده‌های مورد نظر در چهارگروه مشتمل بر عوامل‌مرتبط با تولید سفر، حجم حمل‌ونقل بین مبادی برمبنای ماتریس توزیع سفر، تفکیک بر اساس نوع‌بار و تفکیک بر اساس نوع وسیله نقلیه برای سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ گردآوری شده و سپس مدل‌هایی برای برآورد تعداد تصادفات شدید شامل تصادفات فوتی و جرحی مطابق با جدول ۳ ارائه شده است و با ملاک قراردادن دو معیار همبستگی و حداقل خطا، مدل مبتنی بر تولید سفر با مقادیر R=0.942 و ERR=0.204 به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شده است.

در فرآیند ساخت مدل منتخب تعداد ۳۹ پارامتر به سامانه (GP) معرفی شده‌است که از بین آن‌ها تعداد ۱۱ پارامتر به عنوان پارامترهای مؤثر در پیش‌بینی شناسایی‌شده و در مدل‌نهایی به‌کار رفته‌است. با توجه به‌اینکه یکی‌از یافته‌ها و دستاوردهای بااهمیت این پژوهش شناسایی عوامل و متغیرهای مؤثر است، بنابراین در این‌بخش ضمن معرفی آن‌ها به‌تشریح عوامل مذکور و علت به‌کارگیری‌شان پرداخته‌می‌شود:

تولید سفر کالای درون استانی: این پارامتر با نماد x2 که میزان آن برابر با مجموع میزان حمل‌بار برحسب هزارتن از مراکز شهرستان‌های استان به سایر شهرستان‌ها است به عنوان یکی‌از عوامل در معرض‌بودن، مورد شناسایی و استفاده قرارگرفته و بیانگرآن‌است که تعداد تصادفات می‌تواند تابعی از عناصری باشد که یکی از آن‌ها تولید سفر کالا است.

جدول ۲- آمار تصادفات سطح استان‌های کشور طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳

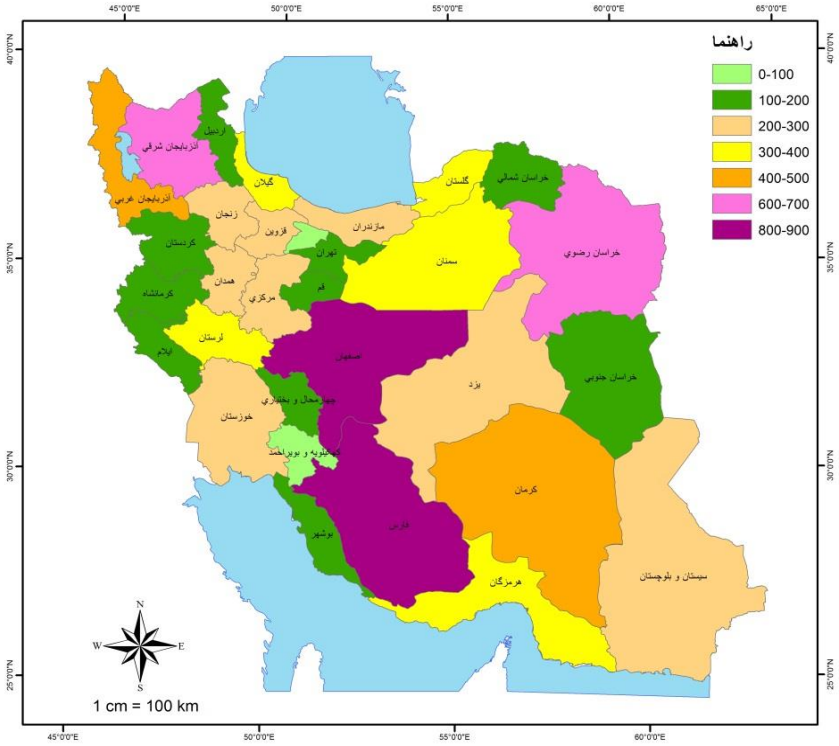
| ردیف | استان | ۱۳۹۰ | | | ۱۳۹۱ | | | ۱۳۹۲ | | | ۱۳۹۳ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جرحی | فوتی | مجموع | جرحی | فوتی | مجموع | جرحی | فوتی | مجموع | جرحی | فوتی | مجموع |
| ۱ | اردبیل | ۹۰ | ۱۶ | ۱۰۶ | ۶۴ | ۲۸ | ۹۲ | ۶۷ | ۱۰ | ۷۷ | ۹۱ | ۱۸ | ۱۰۹ |
| ۲ | اصفهان | ۳۴۵ | ۱۳۱ | ۴۷۶ | ۷۷۲ | ۱۱۲ | ۸۸۴ | ۸۵۷ | ۸۵ | ۹۴۲ | ۹۰۹ | ۱۳۰ | ۱۰۳۹ |
| ۳ | البرز | ۶۵ | ۱۶ | ۸۱ | ۵۱ | ۲۱ | ۷۲ | ۵۴ | ۱۹ | ۷۳ | ۴۲ | ۲۸ | ۷۰ |
| ۴ | ایلام | ۹۲ | ۲۰ | ۱۱۲ | ۱۰۸ | ۱۷ | ۱۲۵ | ۱۰۲ | ۱۰ | ۱۱۲ | ۱۷۶ | ۱۹ | ۱۹۵ |
| ۵ | آ.شرقی | ۵۱۳ | ۶۵ | ۵۷۸ | ۷۸۴ | ۶۷ | ۸۵۱ | ۷۵۸ | ۶۳ | ۸۲۱ | ۷۵۶ | ۷۲ | ۸۲۸ |
| ۶ | آ.غربی | ۳۷۰ | ۷۳ | ۴۴۳ | ۴۶۷ | ۶۸ | ۵۳۵ | ۴۲۸ | ۳۷ | ۴۶۵ | ۵۰۰ | ۶۸ | ۵۶۸ |
| ۷ | بوشهر | ۱۱۸ | ۳۳ | ۱۵۱ | ۱۰۴ | ۳۰ | ۱۳۴ | ۱۳۴ | ۱۱ | ۱۴۵ | ۱۳۷ | ۱۸ | ۱۵۵ |
| ۸ | تهران | ۷۰ | ۴۵ | ۱۱۵ | ۸۶ | ۴۳ | ۱۲۹ | ۱۰۰ | ۳۵ | ۱۳۵ | ۱۶۷ | ۵۳ | ۲۲۰ |
| ۹ | چهارمحال | ۱۲۹ | ۱۸ | ۱۴۷ | ۱۶۲ | ۲۵ | ۱۸۷ | ۱۳۴ | ۱۵ | ۱۴۹ | ۱۱۴ | ۱۹ | ۱۳۳ |
| ۱۰ | خراسان ج | ۱۶۳ | ۱۷ | ۱۸۰ | ۱۳۹ | ۳۲ | ۱۷۱ | ۱۹۱ | ۲۱ | ۲۱۲ | ۱۶۶ | ۱۹ | ۱۸۵ |
| ۱۱ | خراسان ش | ۱۴۷ | ۱۹ | ۱۶۶ | ۱۸۱ | ۲۵ | ۲۰۶ | ۱۸۸ | ۱۱ | ۱۹۹ | ۲۰۹ | ۲۳ | ۲۳۲ |
| ۱۲ | خراسان ر | ۴۰۶ | ۱۰۳ | ۵۰۹ | ۷۴۲ | ۱۱۶ | ۸۵۸ | ۷۴۳ | ۶۵ | ۸۰۸ | ۷۴۲ | ۸۲ | ۸۲۴ |
| ۱۳ | خوزستان | ۲۲۱ | ۱۰۱ | ۳۲۲ | ۱۶۳ | ۹۸ | ۲۶۱ | ۱۵۸ | ۶۹ | ۲۲۷ | ۱۸۷ | ۸۰ | ۲۶۷ |
| ۱۴ | زنجان | ۱۱۹ | ۴۱ | ۱۶۰ | ۱۶۹ | ۴۷ | ۲۱۶ | ۲۱۷ | ۲۲ | ۲۳۹ | ۲۱۲ | ۲۹ | ۲۴۱ |
| ۱۵ | س و ب | ۳۶۶ | ۱۴۵ | ۵۱۱ | ۳۴۵ | ۱۴۵ | ۴۹۰ | ۳۴۲ | ۴۴ | ۳۸۶ | ۲۸۰ | ۸۹ | ۳۶۹ |
| ۱۶ | سمنان | ۳۱۱ | ۶۳ | ۱۷۴ | ۳۲۴ | ۵۷ | ۳۸۱ | ۲۸۴ | ۳۱ | ۳۱۵ | ۴۲۳ | ۴۱ | ۴۶۴ |
| ۱۷ | فارس | ۳۹۰ | ۱۳۱ | ۵۲۱ | ۷۹۱ | ۱۷۰ | ۹۶۱ | ۸۶۶ | ۱۱۳ | ۹۷۹ | ۸۰۲ | ۱۳۰ | ۹۳۲ |
| ۱۸ | قزوین | ۲۸۵ | ۶۵ | ۳۵۰ | ۲۱۲ | ۶۱ | ۲۷۳ | ۲۵۳ | ۳۲ | ۲۸۵ | ۲۷۹ | ۴۵ | ۳۲۴ |
| ۱۹ | قم | ۱۴۸ | ۲۹ | ۱۷۷ | ۱۶۰ | ۴۲ | ۲۰۲ | ۱۵۱ | ۲۵ | ۱۷۶ | ۱۵۳ | ۲۱ | ۱۷۴ |
| ۲۰ | ک و ب | ۶۰ | ۱۸ | ۷۸ | ۸۲ | ۱۵ | ۹۷ | ۴۴ | ۱۱ | ۵۵ | ۵۹ | ۲۵ | ۸۴ |
| ۲۱ | کردستان | ۱۷۹ | ۶۴ | ۲۴۳ | ۲۸۰ | ۵۸ | ۳۳۸ | ۲۸۹ | ۳۸ | ۳۲۷ | ۲۵۱ | ۳۴ | ۲۸۵ |
| ۲۲ | کرمان | ۳۲۸ | ۱۰۹ | ۴۳۷ | ۳۵۰ | ۸۹ | ۴۳۹ | ۳۷۸ | ۶۸ | ۴۴۶ | ۳۹۲ | ۹۰ | ۴۸۲ |
| ۲۳ | کرمانشاه | ۱۵۰ | ۴۴ | ۱۹۴ | ۱۳۹ | ۳۷ | ۱۷۶ | ۱۵۶ | ۳۱ | ۱۸۷ | ۱۴۴ | ۴۴ | ۱۸۸ |
| ۲۴ | گلستان | ۳۷۳ | ۵۵ | ۴۲۸ | ۴۲۹ | ۴۵ | ۴۷۴ | ۴۰۲ | ۲۴ | ۴۲۶ | ۳۵۰ | ۲۹ | ۳۷۹ |
| ۲۵ | گیلان | ۴۱۰ | ۲۹ | ۴۳۹ | ۵۱۷ | ۳۴ | ۵۵۱ | ۶۱۶ | ۳۰ | ۶۴۶ | ۶۵۰ | ۲۵ | ۶۷۵ |
| ۲۶ | لرستان | ۴۰۴ | ۸۶ | ۴۹۰ | ۳۹۴ | ۸۳ | ۴۷۷ | ۳۷۱ | ۵۸ | ۴۲۹ | ۳۴۲ | ۴۱ | ۳۸۳ |
| ۲۷ | مازندران | ۱۷۴ | ۷۱ | ۲۴۵ | ۱۶۵ | ۸۴ | ۲۴۹ | ۲۰۲ | ۲۹ | ۲۳۱ | ۲۱۷ | ۵۱ | ۲۶۸ |
| ۲۸ | مرکزی | ۸۴ | ۸۱ | ۱۶۵ | ۱۰۴ | ۷۹ | ۱۸۳ | ۱۱۳ | ۵۱ | ۱۶۴ | ۱۹۵ | ۶۵ | ۲۶۰ |
| ۲۹ | هرمزگان | ۲۶۳ | ۵۱ | ۳۱۴ | ۲۶۱ | ۶۶ | ۳۲۷ | ۳۱۶ | ۴۴ | ۳۶۰ | ۲۹۳ | ۵۴ | ۳۴۷ |
| ۳۰ | همدان | ۱۸۶ | ۵۱ | ۲۳۷ | ۲۱۹ | ۵۳ | ۲۷۲ | ۲۰۵ | ۳۶ | ۲۴۱ | ۲۹۶ | ۵۵ | ۳۵۱ |
| ۳۱ | یزد | ۳۰۷ | ۳۹ | ۳۴۶ | ۲۶۷ | ۲۸ | ۲۹۵ | ۲۳۱ | ۱۷ | ۲۴۸ | ۲۱۶ | ۲۸ | ۲۴۴ |

جدول ۳- توابع ریاضی مدل‌های برآورد مجموع تصادفات

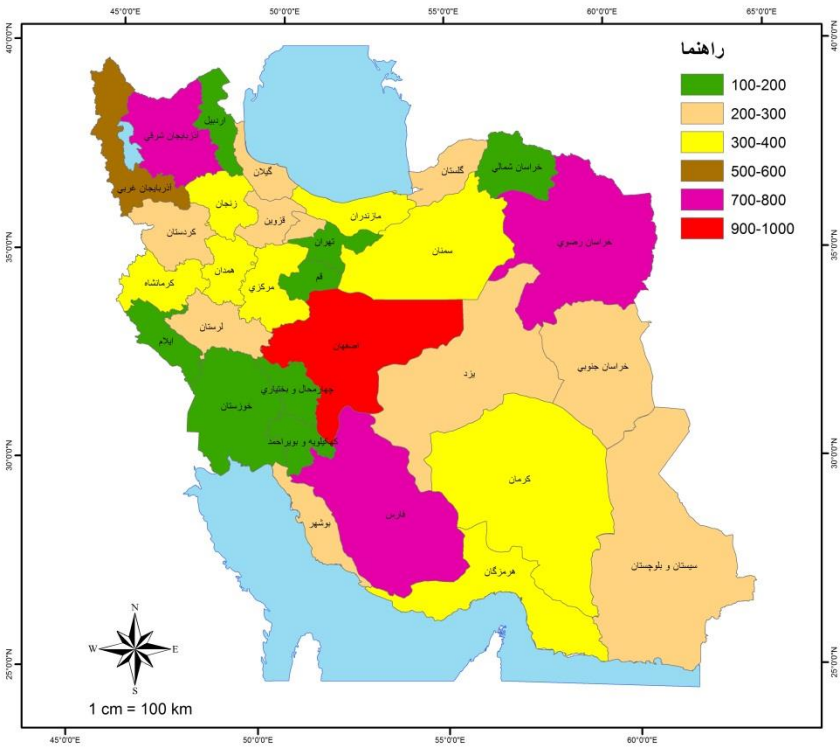
| نام مدل | ساختار مدل | معیار |
|---|---|---|
| مبتنی بر تولید سفر | $Y1 = 0.007817x_5 + 0.004895x_{20} - 0.004895x_{27} + 0.004895x_{29} - \log\left(\exp\left(-x_{47}\right)805.4\right)52.03$ $-\log\left(\frac{x_2 + 695.4}{\log\left(x_{27}\right)}\right)84.52 + \frac{8.68810^{15}x_{39}}{5.62910^{14}x_{48} - 4.53410^{17}} + 0.2616\log\left(\log\left(x_{47}\right)\right)\left(\left\|x_{17}\right| - 2.19710^{-1697}\right) +$ $x_5\exp\left(-x_{47}\right)5.492 - \frac{\left(1.23910^{15}x_{26}1.23910^{15}x_{37} + 1.23910^{15}x_{48}\right)1.42110^{-14}}{x5} - 47\exp\left(-x_{47}\right)$ $\left(x_5 + x_{17}\right)1.297 + \frac{8.81210^{14}x_{17}x_{26}}{4.50410^{15}x_5 + 4.50410^{15}x_{17}} + 653.4$ | R=0.9420 ERR=0.2040 |
| مبتنی بر انواع بار | $Y2 = \frac{2.53310^{18}}{1.40710^{14}w_7 - 9.94110^{16}} - \left(\left\|w_5 - w_4 + 705.6\right\|\right)0.249 - 0.317\left\|w_7 - 705.7\right\|$ $-\frac{3.58710^{15}w_3}{1.40710^{14}w_7 - 9.94110^{16}} - 0.4445w_8 + \frac{2.628810^{15}w_7^{\,2}}{1.80110^{16}w_7 - 1.27210^{19}} - \frac{0.02973w_3w_8}{w_8} + \frac{0.4742w_5w_8}{w_3} + 547.5$ | R=0.9083 ERR=0.3036 |
| مبتنی بر تفکیک وسیله | $Y3 = 0.2359z_1 + 1.294z_{11} + 95.87\log\left(z_7\right) - 0.006508z_1\sqrt{z_{11}} - 1.171\sqrt{z_4z_8} - 0.003011z_6\sqrt{z_{11}}$ $+0.4429\sqrt{z_8z_9} - 0.001923z_9\sqrt{z_{11}} + 8.875\sqrt{z_6} - 13.25\sqrt{z_7} - 24.23\sqrt{z_{11}} - 0.0005402z_9^{\,3/2}$ $-290.3$ | R=0.8573 ERR=0.3511 |
| مبتنی بر توزیع | $Y4 = 0.2154v_1 - 0.1212v_3 + 0.09458v_4 - 0.07456v_5 - 0.01692v_7 + 0.04812v_{11} + 0.2907v_{16} - 0.1478v_{17}$ $+0.1049v_{20} + 0.0266v_{25} + 0.1967v_{26} - 0.1054v_{28} + 0.000572v_{32} + 0.2058\left\|v_{24} + v_{25}\right| + 0.0004169v_{16}$ $\left(v_1 + v_{16}\right) - 0.0004568v_{16}\left(v_7 + v_{16}\right) - \frac{6.32110^{15}v_{29}}{9.00710^{15}v_{10} - 9.00710^{15}v_{17}} + v_{25}\left(v_{10} - v_{17}\right)0.0002365 -$ $0.00165v_7v_{20} - 0.0003222v_1\left\|v_{24} + v_{25}\right| + \left\|v_{17}\right|\left(v_5 - v_{10}\right)0.0002174 + \frac{0.1383v_{22}}{v_{25}} + 0.0001552v_7\left\|v_{17}\right|$ $-v_{16}\left(v_5 - v_2v_{10}\right)0.0003002 + 5.75610^{-5}v_{25}^{\,2} + 88.39$ | R=0.9306 ERR=0.2234 |

جدول ۴- پارامترهای مورد استفاده در هر یک از مدل‌های ارائه شده بر اساس انتخاب (GP)

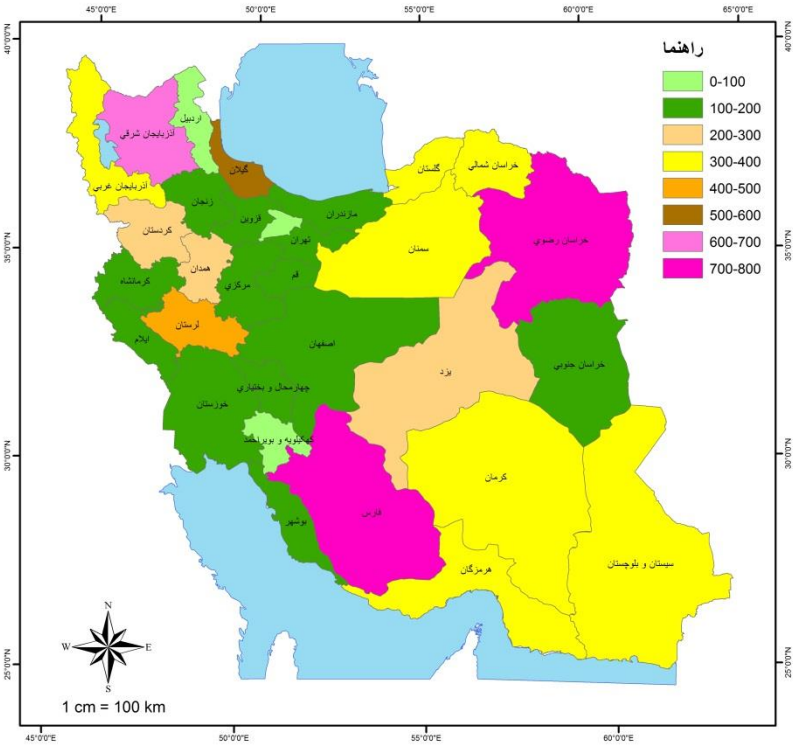
| | |
|---|---|
| تولید سفر | تولید سفر درون‌استانی کالا (x2)، جذب سفر کالا (هزارتن) (x5)، طول راه‌های شریانی (x17)، تعداد پل‌های موجود (دستگاه) (x20)، مسافرین جابه‌جاشده با وسایل حمل‌ونقل‌عمومی درون‌استانی (x26)، مسافرین جابه‌جاشده باوسایل حمل‌ونقل عمومی برون‌استانی (x27) جذب مسافر (x29)، ارتفاع از سطح‌دریا (x37)، میانگین ارتفاع بارندگی (x39)، هم‌جواری‌ها (x47)، بارعبوری (x48) |
| تفکیک انواع‌بار | معدنی و ساختمان (w3)، صنایع‌سبک (w4)، ماشین‌آلات (w5)، کاغذ و چوب (w7)، چرم و پوشاک (w8) |
| تفکیک انواع‌وسیله‌نقلیه | اتاق‌دار (z1)، یخچال‌دار (z4)، تانکر مخزن‌دار (z6)، بونکر (z7)، جامبو (z8)، کفی (z9)، بغل‌دار چادری(z11) |
| توزیع سفر | آذربایجان‌شرقی (v1)، آذربایجان‌غربی (v2)، اردبیل (v3)، اصفهان (v4)، البرز (v5)، بوشهر (v7)، خراسان‌جنوبی (v10)، خراسان‌رضوی (v11)، سیستان و بلوچستان (v16)، فارس (v17)، کردستان (v20)، کرمانشاه (v22)، گلستان (v24)، گیلان (v25)، لرستان (v26)، مرکزی (v28)، هرمزگان (v29)، بار عبوری (v32) |



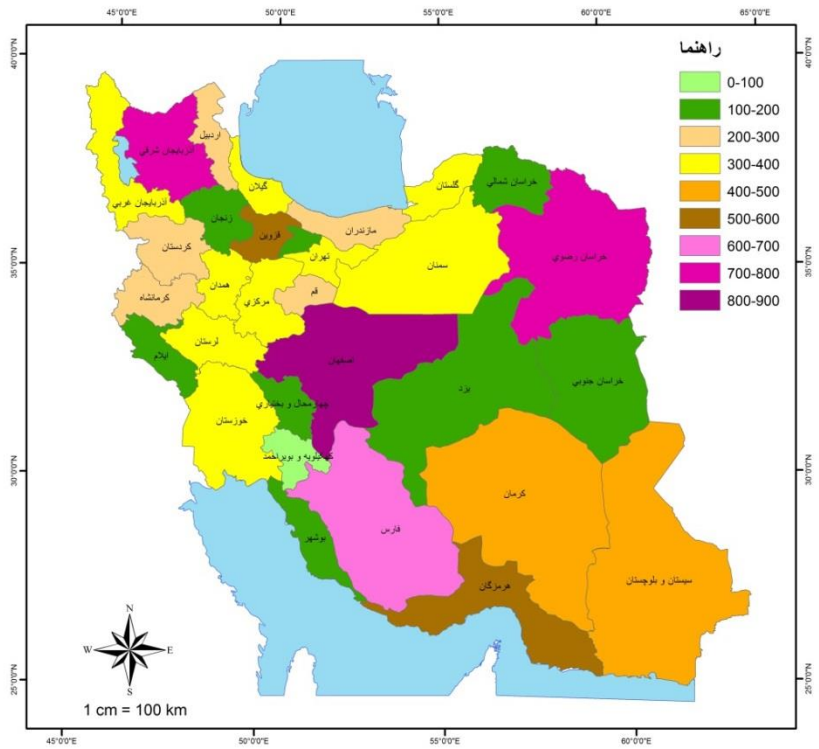

شکل ۳ - برآورد تصادفات مدل مبتنی بر عوامل تولید سفر




شکل ۴- برآورد تصادفات مدل مبتنی بر انواع بار




شکل ۵ – برآورد تصادفات مدل مبتنی بر توزیع سفر




شکل ۶ - برآورد تصادفات مدل مبتنی بر تفکیک وسیله نقلیه

جدول ۵ – آمار تصادفات شدید سال ۱۳۹۴

| ردیف | جرحی | فوتی | مجموع | برآورد GP |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۸۶ | ۱۶ | ۱۰۲ | ۱۱۳ |
| ۲ | ۸۴۵ | ۱۰۶ | ۹۵۱ | ۸۲۴ |
| ۳ | ۷۶ | ۱۵ | ۹۱ | ۹۵ |
| ۴ | ۱۶۵ | ۱۸ | ۱۸۳ | ۱۹۵ |
| ۵ | ۷۱۶ | ۷۰ | ۷۸۶ | ۶۹۵ |
| ۶ | ۴۹۹ | ۵۹ | ۵۵۸ | ۴۶۴ |
| ۷ | ۱۶۵ | ۲۶ | ۱۹۱ | ۱۷۱ |
| ۸ | ۳۳۸ | ۵۳ | ۳۹۱ | ۱۰۹ |
| ۹ | ۱۲۴ | ۱۵ | ۱۳۹ | ۱۷۵ |
| ۱۰ | ۲۵۷ | ۲۹ | ۲۸۶ | ۱۸۸ |
| ۱۱ | ۲۰۶ | ۱۳ | ۲۱۹ | ۱۴۱ |
| ۱۲ | ۷۳۹ | ۶۸ | ۸۰۷ | ۶۰۳ |
| ۱۳ | ۱۵۵ | ۵۰ | ۲۰۵ | ۲۹۶ |
| ۱۴ | ۲۱۸ | ۳۳ | ۲۵۱ | ۲۱۶ |
| ۱۵ | ۲۶۰ | ۸۳ | ۳۴۳ | ۲۵۶ |
| ۱۶ | ۳۹۹ | ۳۳ | ۴۳۲ | ۳۸۰ |
| ۱۷ | ۸۵۸ | ۱۲۵ | ۹۸۳ | ۸۳۶ |
| ۱۸ | ۲۹۴ | ۴۲ | ۳۳۶ | ۲۶۵ |
| ۱۹ | ۱۱۶ | ۳۰ | ۱۴۶ | ۱۸۸ |
| ۲۰ | ۸۹ | ۱۹ | ۱۰۸ | ۹۲ |
| ۲۱ | ۲۴۲ | ۲۵ | ۲۶۷ | ۱۹۶ |
| ۲۲ | ۳۸۰ | ۸۷ | ۴۶۷ | ۴۳۷ |
| ۲۳ | ۱۱۲ | ۳۵ | ۱۴۷ | ۱۹۳ |
| ۲۴ | ۳۸۹ | ۲۱ | ۴۱۰ | ۳۵۷ |
| ۲۵ | ۵۸۵ | ۲۶ | ۶۱۱ | ۳۶۱ |
| ۲۶ | ۲۹۰ | ۶۲ | ۳۵۲ | ۳۶۹ |
| ۲۷ | ۱۹۸ | ۵۴ | ۲۵۲ | ۲۵۱ |
| ۲۸ | ۱۲۷ | ۵۶ | ۱۸۳ | ۲۲۹ |
| ۲۹ | ۲۴۷ | ۲۸ | ۲۷۵ | ۳۱۷ |
| ۳۰ | ۲۸۵ | ۳۸ | ۳۲۳ | ۲۹۶ |
| ۳۱ | ۲۰۲ | ۲۹ | ۲۳۱ | ۲۷۰ |

جذب سفر کالا: این پارامتر نیز که میزان آن برابر با مجموع میزان حمل بار از سایر استان‌ها به مقصد هر استان است، با نماد x5 معرفی‌شده است و همانند پارامتر تولید سفر، به‌عنوان یکی از عوامل در معرض‌بودن، مورد شناسایی و استفاده قرارگرفته است و بیانگرآن‌است که در پیش‌بینی تعداد تصادفات آتی حمل‌ونقل کالا کارآیی دارد.

طول راه‌های شریانی: دیگر پارامتری که به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در پیش‌بینی تصادفات توسط (GP) مورد شناسایی قرارگرفته است مقدار مجموع طول راه‌های شریانی هر استان است؛ و با واحد کیلومتر با نماد x17 در مدل آمده‌است.

علاوه‌بر پارامتر اخیر، پارامترهای دیگری نظیر مجموع طول راه‌ها، طول آزادراه‌ها، نسبت مجموع طول آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها به‌مجموع طول راه‌ها و مساحت هراستان در سطح استان نیز به (GP) معرفی شده است که از این‌بین فقط مجموع طول راه‌های شریانی به‌عنوان پارامتر اصلی در پیش‌بینی مدنظر قرارگرفته است.

تعداد پل‌ها: با توجه به اثرگذاری شکل کلی ناهمواری‌ها و میزان آن‌ها در رخدادن تصادفات و از آنجائی‌که تعداد ابنیه فنی موجود در هر پهنه می‌تواند نشان‌دهنده میزان ناهمواری‌ها و پستی بلندی‌های آن باشد بنابراین دو پارامتر تعداد پل‌ها و تعداد تونل‌ها به‌عنوان شاخصی از میزان ناهمواری‌ها در نظر گرفته شده که پس‌از ارزیابی، پارامتر تعداد پل‌ها با نماد x20 به‌عنوان پارامتر اصلی در مدل مورد استفاده قرارگرفته است.

تعداد مسافرین: این‌پارامتر نیز در سه سطح تولید درون استانی و جذب درون استان، تولید درون استانی به مقصد سایر استان‌ها و تعداد مسافرینی که از استان‌های دیگر به هر استان جذب می‌شوند با نمادهای x29,x27,x26 با ماهیت در معرض‌بودن، مورد شناسایی و استفاده قرارگرفته است و بیانگر آن است که در پیش‌بینی تعداد تصادفات آتی حمل‌ونقل کالا کارآیی دارد.

ارتفاع از سطح دریا: این متغیر با نماد x37 به‌عنوان یکی از پارامترهای پیش‌بینی‌کننده میزان تصادفات در نظر گرفته شده‌است و می‌توان ارتباط آن با میزان تصادفات را به طبقه‌بندی استان‌ها از نظر توپوگرافی نظیر کوهستانی بودن یا دشت‌بودن متصور دانست.

میانگین ارتفاع بارندگی: برابراست با میانگین میزان بارندگی هر استان در هریک از سال‌های دوره پایه.

که می‌تواند مبین وضعیت غالب شرایط جوی مسیرهای بین شهری برای حمل‌ونقل کالاها در سطح استان‌ها باشد. این متغیر با نماد x39 در مدل آمده است.

هم‌جواری‌ها: این متغیر با نماد x47 بیانگر تعداد استان‌های هم-جوار هر استان و نشان‌دهنده تعداد دروازه‌های اصلی ورودی و خروجی به هراستان است. میزان بارعبوری: برابراست با میزان

بار عبوری از هراستان با مبدأ و مقصد سایر استان‌ها برحسب هزارتن برای هر سال و به‌عنوان یکی از عوامل در معرض‌بودن، مورد شناسایی و استفاده قرارگرفته و بیانگر آن است که در پیش‌بینی تعداد تصادفات آتی حمل‌ونقل کالا کارآیی دارد؛ و با نماد x48 در مدل معرفی شده است.

## ۴-نتیجه‌گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر، تخمین تعداد تصادفات شدید حمل‌ونقل جاده‌ای کالا درسطح استان‌ها با استفاده از مدل‌های کلان هم‌فزون است. به‌این‌منظور مجموعه‌ای از توابع ریاضی با عنوان مدل‌های پیش‌بینی تصادفات با استفاده از داده‌های هریک از مراحل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل ساخته شده است. این مدل‌ها ابزار لازم را برای تخمین تعداد تصادفات در سال‌های آتی بر مبنای ویژگی‌های هر استان فراهم می‌نماید. همچنین به‌واسطه این مدل‌ها می‌توان تأثیر گزینه‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل را بر ایمنی ارزیابی نمود. علاوه‌برآن سایر نتایج این تحقیق عبارت‌است‌از:

۱- درروش به‌کار گرفته شده در تحقیق حاضر با عنوان روش برنامه‌ریزی ژنتیک محدودیت‌های روش‌های پیشین تخمین تصادفات، مشتمل بر روش‌های مبتنی بر رگرسیون و روش‌های مبتنی‌بر منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، از میان برداشته شده است و همچنان که این-روش نتایج معتبری را به‌دست می‌دهد، درعین‌حال قادر به‌یافتن و همچنین ارائه نمودن توابعی است که بهترین نتایج پیش‌بینی را تولید نمایند و حداقل خطا را داشته باشند.

۲- شکل ریاضی آن‌دسته از مدل‌های به‌دست‌آمده ازروش برنامه‌ریزی ژنتیک که براساس داده‌های تولید سفر ساخته-شده‌اند، برای پیش‌بینی تصادفات حمل‌ونقل جاده‌ای کلان سازگاری مناسب‌تری درمقایسه با سایر داده‌ها دارد.

۳- می‌توان اظهارنمود که از بین عوامل ایجاد حمل‌ونقل که‌از آن‌ها به‌عنوان متغیرهای در معرض‌بودن یاد می‌شود، عوامل ترافیکی نظیر میزان تولید سفر کالای درون استانی، میزان جذب سفر کالا، تعداد مسافرین هر استان و میزان بار عبوری گذرنده از هر استان در مقایسه با متغیر جمعیت هر استان تأثیر بیشتری در شکل‌گیری تصادفات دارند، چراکه پس از بررسی تمامی پارامترهای معرفی‌شده به سامانه برنامه‌ریزی ژنتیک، عوامل نامبرده به‌عنوان متغیر-های اصلی شناخته شده‌اند و عامل جمعیت کنار گذاشته شده‌است.

۴- اصلی‌ترین کاربرد مدل‌های ایمنی، در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل مدل‌های پیش‌بینی تصادفات آینده است چون پیش‌بینی تصادفات یکی از مؤلفه‌های برنامه‌ریزی ایمنی به‌شمار می‌آید و به‌واسطه آن می‌توان هدف‌گذاری مناسب-تری در برنامه‌های بلندمدت مدیریت ایمنی و کاهش تصادفات صورت داد.

۵- با توجه به آنکه مباحث ایجاد سفر، توزیع سفر، تفکیک سفر و تخصیص سفر به‌عنوان چهارگام اساسی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل هستند، بنابراین چنانچه مراحل برنامه‌ریزی ایمنی نیز مشابه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در نظر گرفته شود درآن‌صورت می‌توان بیان‌کرد در این تحقیق به پیش‌بینی ایجاد تصادفات پرداخته شده است‌که متناظر با مرحله ایجاد سفر در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است ازاین‌رو پیشنهاد می‌گردد برای انجام تحقیقات آتی در زمینهٔ برنامه‌ریزی ایمنی، به موضوعات توزیع تصادفات، تفکیک تصادفات و تخصیص تصادفات پرداخته شود.

## ۴-تقدیر و تشکر

در پایان بابت نظرات ارزشمند و راهنمایی‌های راهگشای آقای دکتر علی نادران مراتب سپاس‌گزاری و قدردانی صورت می‌گیرد؛ و همچنین نظر به اینکه داده‌های این پژوهش از طریق وزارت راه و شهرسازی و سازمان حمل‌ونقل کشور به‌دست‌آمده و در اختیار نویسندگان قرار-گرفته‌است، از نهادهای نامبرده نیز تشکر می‌گردد.

## مراجع

[۱] حسام‌الدین رازی اردکانی و محمدرضا احدی،"مدل‌سازی و تحلیل شدت تصادفات اتوبوس‌های درون و برون‌شهری "، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال دوازدهم، شماره ۳۸، پاییز ۱۳۹۳، صفحه ۵۹-۷۴.

[2] M. D. Foroutaghe, A. M. Moghaddam, and V. Fakoor, "Time trends in gender-specific incidence rates of road traffic injuries in Iran", PloS one, Vol. 14, No. 5, 2019.

[۲] غلامعلی شفابخش و امیر شاه‌حسینی،"آنالیز حساسیت جریان ترافیک بزرگراه‌های برون‌شهری نسبت به‌عوامل هندسی مسیر "، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال هفتم، شماره ۱۹، زمستان ۱۳۸۸، صفحه ۲۳- ۳۶.

[4] R. Ran, "Prediction of Frequencies of Truck-involved and Non-truck-involved Crashes on Roadway Segments in Ontario", Electronic Theses and Dissertations. 5475, 2015.

[5] X. Zheng, and L. Mengting, "An overview of accident forecasting methodologies", Journal of Loss Prevention in the process Industries, Vol. 22, No. 4, 2009, pp. 484-491.

[6] M. Mohammadi, S. Gholamali, and A. Naderan, "Macro-Level Modeling of Urban Transportation Safety: Case-Study of Mashhad (Iran)", Transport and Telecommunication Journal, Vol. 18, No. 4, 2017, pp. 282-288.

[۷] غلامعلی شفابخش، فریبرز فتحی و علی زائرزاده،" اولویت‌بندی اصلاح نقاط پرحادثه راه‌ها با کمک شبکه عصبی مصنوعی "، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال هشتم، شماره ۲۰، بهار ۱۳۸۹، صفحه ۷۱- ۸۲.

[8] F. Zhong-Xiang, L. Shi-Sheng, Z. Wei-Hua, and Z. Nan-Nan, "Combined prediction model of death toll for road traffic accidents based on independent and dependent variables", Computational intelligence and neuroscience, Vol. 2014, 2014.

[9] F.Mustakim, and M. Fujita, "Development of accident predictive model for rural roadway", Journal of Civil and Environmental Engineering, Vol. 5, 2011, pp.408-413.

[10] C. Flannagan, R. Wunderlich, S. Geedipally,D. Lord,L. Wu, and D. Blower, D, "Using Crash Prediction Models with Economic Factors for State Highway Safety Planning", (No. 18-05779), 2018.

[11] C. C. Ihueze, and U. O. Onwurah, "Road traffic accidents prediction modelling: An analysis of Anambra State, Nigeria", Accident Analysis & Prevention, Vol. 112, 2018, pp.21-29.

[12] C. Li, and C. Chen, "Traffic accident macro forecast based on ARIMAX model", International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA, Meas, Technol, Vol. 3. IEEE 2009.

[13] A. Pirdavani, T. Brijs, T. Bellemans, B. Kochan, and G. Wets. "Application of Zonal Crash Prediction Models in Traffic Safety Evaluation of a Fuel-Cost Increase Scenario Using an Activity-Based Transportation Model", DVD Compendum of the Transportation Research Board, 2012.

[14] A. Garg, A. Garg, K. Tai, K.,S. Barontini and A. Stokes,"A computational intelligence-based genetic programming approach for the simulation of soil water retention curves", Transport in porous media, Vol. 103, No. 3, 2014, pp.497-513.

[15] B. N. Kiran, N. Kumaraswamy, and C. Sashidhar. "A review of road crash prediction models for developed countries", American journal of traffic and transportation engineering, Vol. 2, Issue. 2, March 2017, pp. 10-25.

[16] A. Hadayeghi, A. S. Shalaby, and B. N. Persaud, "Safety prediction models: A proactive tool for safety evaluation in urban transportation planning applications", Transportation Research Record., Vol. 2019, Issue. 1, 2007, pp. 225-236.