

ارائه مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات حمل‌ونقل کالا مشتمل بر فوتی و جرحی با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک

مسعود باقری رامیانی^{۱*} و غلامرضا شیرازیان^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۲۵ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰	
واژگان کلیدی: ایمنی، پیش‌بینی تصادفات، مدل ایمنی، برنامه‌ریزی ژنتیک.	<p>امروزه به دلیل 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 برنامه‌ریزی برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی تصادفات در سطح کلان است. در این مقاله با بررسی عوامل اثرگذار بر تصادفات، مدل کلان با استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک ارائه شده است. به این منظور 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 مدل بهینه 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 مدل پیش‌بینی تصادفات حمل‌ونقل جاده‌ای کالا در سطح کلان هستند.</p>

۱-مقدمه

و تعداد مجروحان نیز سالانه حدود ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر تخمین زده می‌شود [۲].

از این رو ایمنی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های برنامه‌ریزان و مهندسان حمل‌ونقل در طراحی زیرساخت‌ها و بهره‌برداری از آن‌ها به‌شمار می‌رود و درعین حال یکی از موارد پراهمیت و مؤثر در برنامه‌ریزی است. پیش‌بینی ایمنی سامانه‌های حمل‌ونقل نیز دارای اهمیت بوده و به دلیل اینکه 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

حمل‌ونقل یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌های زندگی مدرن امروزی است و یکی از مهم‌ترین خصوصیات هر شبکه حمل‌ونقل، ایمنی است و منظور از ایمنی در حمل‌ونقل بر اساس یک تعریف ساده، دستیابی به مقصد 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

* 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 بیان داشت به‌طور عمده برنامه‌های ارتقای ایمنی جاده‌ای که تاکنون ارائه شده‌اند بر موضوعاتی نظیر شناسایی نقاط حادثه‌خیز و اصلاح آن‌ها تمرکز داشته‌است در حالی که چنین برنامه‌هایی، اقدام واکنشی به‌شمار می‌رود و در عین موفقیت کماکان شدت و تعداد تصادفات به‌طور غیرقابل‌پذیرشی زیاد بوده و پرداختن به‌چنین مواردی مستلزم در اختیار داشتن 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 مدنظر است [۳] بنابراین در راستای ارتقاء روش‌های سنتی و اقدام در جهت بهینه‌نمودن حمل‌ونقل از نظر ایمنی، پژوهشگران به این نتیجه رسیده‌اند که نیاز به روش‌های پیشگیرانه‌تری احساس می‌شود و یک‌روش پیشگیرانه آن‌است که به‌مبحث ایمنی به‌طور صریح و به‌عنوان یک معیار در ارزیابی برنامه‌های 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، تحت تأثیر دقت برآورد مدل در گام‌های قبلی (تولید/جذب، توزیع و تفکیک سفر) است. دقت این مدل‌ها نیز به نوبه خود تحت تأثیر 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 سطح کلان و برای آینده است که در آن، کوچک‌ترین واحد مطالعاتی یک استان در نظر گرفته شده و با ارائه مدل ریاضی برای تخمین تصادفات ترافیکی باری، ابزاری بنیادین در اختیار برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران حوزه حمل‌ونقل قرار می‌گیرد تا پیش از اجرای طرح‌های خود، بتوانند تعداد تصادفات حمل‌ونقل جاده‌ای کالا را تخمین بزنند و با پیش‌بینی تصادفات آتی، برنامه‌ریزی مناسب‌تری را بادر نظر گرفتن اثرات احتمالی تصمیمات بر تصادفات در سال‌های آینده داشته‌باشند. بدین ترتیب به‌جای برخورد واکنشی با تصادفات، مسئله ایمنی حمل‌ونقل جاده‌ای کالا به‌صورت کنشی مورد توجه قرار خواهد گرفت و به‌ترتیبی که در فرآیند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل به‌مواردی چون توسعه اقتصادی، زیست‌محیطی و ملاحظات اجتماعی پرداخته می‌شود 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 به‌واسطه حمل‌ونقل جاده‌ای افزایش چشم‌گیری خواهد داشت. به‌طور نمونه می‌توان به بررسی صورت گرفته راجع به نرخ 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 پدیده تصادفات درگیر می‌باشند، بسیار حائز اهمیت بوده و شناسایی عوامل مؤثر بر آن 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.

دامنه آمار تصادفات، در زمانی که میانگین آمار تصادفات از واریانس بیشتر باشد، از خود نشان می‌دهند. یکی دیگر از روش‌هایی که در زمینه پیش‌بینی تصادفات ارائه شده است، مدل افزاینده تعمیم یافته است که متغیرهای توصیفی را پرداخت می‌نماید. از آنجایی که این مدل‌ها شامل پارامترهای زیادتری در مقایسه با مدل‌های کلاسیک هستند، بنابراین کاربرد آن‌ها برای پیش‌بینی تصادفات خیلی محدود است.

این واقعیت که توابع خطی برای پیش‌بینی تصادفات جواب‌های خوبی به دست نمی‌دهد، اخیراً پژوهشگران ایمنی حمل‌ونقل را بر آن واداشته است که برای 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. شبکه‌های عصبی مصنوعی در مسیری گام بر می‌دارند که ابزارها توانایی فراگیری و برنامه‌ریزی خود را داشته باشند؛ و ساختار آن‌ها به گونه‌ای است که قابلیت حل مسئله را بدون کمک فرد متخصص و برنامه‌ریزی خارجی داشته باشند. شبکه‌های عصبی قادر به یافتن الگوهایی هستند که هیچ‌کس، هیچ‌گاه از وجود آن‌ها اطلاعی نداشته است [۷] و در عین حال فقط نتایج را ارائه می‌نمایند.

با توجه به اینکه در پژوهش حاضر ارائه مدل پیش‌بینی مد نظر است و از آنجایی که جدیدترین روش‌های یادشده اخیر تحت عنوان 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-نقص، روش برنامه‌ریزی ژنتیک به عنوان مبنای مدل‌سازی مدنظر قرار گرفته است.

باین حال در این بخش از تحقیق به ارائه خلاصه برخی از مطالعات انجام شده پیشین در حوزه برون‌شهری در قالب جدول (۱) پرداخته شده است و نوع مدل‌های به دست آمده در هریک از آن‌ها به همراه متغیرهای به کاررفته در مدل 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 به کارگیری

با وجود اینکه برای تحلیل روند تصادفات و شناسایی خطرات بالقوه، مبحث پیش‌بینی بسیار مهم‌تر از موضوع علت‌ایجاد تصادفات است، باین حال 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 بیان نمود فرآیند ساخت تابع ریاضی مدل‌های هم‌فزون تصادفات بر پنج گام استوار است که در شکل (۱) نشان داده شده است [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 زمانی که پژوهشگران دریافته‌اند که توابع پیش‌بینی تصادفات با مدل‌های توزیع پواسون برازش بهتری دارند، بلافاصله مدل‌های رگرسیون پواسون بر اساس یک چهار چوب خطی تعمیم یافته با روش‌های رگرسیون خطی چند-گانه متداول جایگزین شدند. در عین حال روش‌های رگرسیون پواسون نیز یک محدودیت عمده دارند و آن این است که بایستی میانگین با مقدار واریانس برابر باشد و در غیر این-صورت خطاهای استاندارد روی می‌دهد و نتیجه آزمون مدل نادرست خواهد بود. مطالعات اخیر نشان داده است وقتی واریانس بیشتر از میانگین باشد بدین معناست که آمار تصادفات پراکنده هستند، بنابراین نتیجه مدل رگرسیون پواسون می‌تواند یک تخمین اشتباه از احتمال وقوع تصادف باشد.

برای فائق آمدن بر این مشکل، پژوهشگران درصدد برآمدند تا از توابع مبتنی بر توزیع دوجمله‌ای منفی استفاده نمایند و به دلیل آن که توزیع دوجمله‌ای منفی دیگر آن محدودیت میانگین را ندارد و قادر است داده‌های بالاتر از دامنه را اصلاح کند، به طور وسیعی در مدل‌های پیش‌بینی تواتر تصادفات به کاربرده شده‌اند. باین حال، این مدل‌های نیز محدودیت‌هایی نظیر ناتوانی در به کار بردن داده‌های پایین

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

جدول ۱- خلاصه بررسی برخی از مطالعات پیشین در زمینه 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 مدل ارائه‌شده، محاسبه تعداد تلفات به‌همراه تعیین تأثیر هر یک 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 سرفاصله زمانی به‌عنوان عوامل مؤثر در تصادفات جاده‌های برون‌شهری می‌باشند.
۳	مدل فلانگان 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 برقرار است.
۴	مدل هونز 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 پیشنهاد شده‌است که مدل-های پیش‌بینی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی نیز مورد مطالعه قرار گیرد و اعتبار پیش‌بینی آن‌ها با مدل‌های پیش‌بینی (ARIMA) و (ARIMAX) مقایسه شود.
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 ارائه شده و این‌گونه نتیجه‌گیری شده‌است که برای موضوع برنامه‌ریزی مدل‌های کلان نتایج بهتری را به‌دست می‌دهند.

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، تعریف گردیده 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.

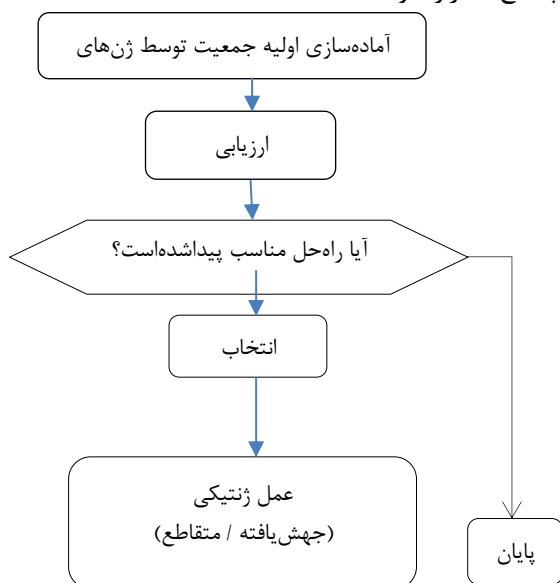
به‌طور کلی فرایند گام‌به‌گام برنامه‌ریزی ژنتیک به‌صورت مراحل زیر است:

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

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

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

(۴) اعمال فرایند توسعه‌ای تکراری بر روی فرزندان در هر تولید گام چهارم به تعداد معین و یا تا حصول بهترین پاسخ تکرار خواهد شد.



شکل ۲- مراحل ساخت تابع ریاضی در مدل‌های هم‌فزون پیش‌بینی تصادفات

به‌طور کلی فرم یک مدل ایمنی در سطح کلان، می‌تواند به‌صورت $Y=F(x)$ ارائه شود که در آن 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 به حمل‌ونقل کالا در سطح کشور در مرحله 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 یک پارچه‌سازی برنامه‌ریزی ایمنی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل تلقی نمود.

۳-۱- معرفی برنامه‌ریزی ژنتیک

برنامه‌ریزی ژنتیک که با نماد (GP) می‌شود، از الگوریتم‌های ژنتیک برای نوشتن برنامه‌های کامپیوتری استفاده می‌کند و جدیدترین شیوه از بین روش‌های الگوریتم گردشی است که به‌دلیل دارا بودن دقت کافی، به عنوان یک روش کاربردی مطرح می‌شود. مبانی روش شبیهه‌سازی (GP) بر اساس نظریه تکاملی داروین استوار بوده و یکی از شاخه‌های الگوریتم ژنتیک محسوب می‌شود. فرآیند شبیهه‌سازی در (GP) به این صورت است که ابتدا مجموعه‌هایی که می‌توانند جهت انتخاب متغیرها و عملگرها در فرآیند جستجو به‌کار روند، معرفی می‌شوند. سپس کروموزوم‌ها به‌وسیله انتخاب یک مجموعه جواب اولیه تصادفی از مجموعه‌های اتصال و توابع ایجاد می‌شوند. بعد از آن، تابع هدف متناظر با هر کروموزوم محاسبه می‌شود و مجموع تفاوت مقادیر محاسباتی و مشاهداتی کمینه می‌شود. در مرحله بعد عملگرهای ژنتیک (ترویج و جهش) اعمال می‌شوند. در ادامه، فرآیند توسعه‌ای تکراری در مورد فرزندان انجام می‌شود و در نهایت پس از تعداد تکرار مشخصی که روند تغییرات تابع هدف در آن تقریباً ثابت گردید، مقدار بهینه یا نزدیک به بهینه به‌عنوان جواب مسئله استخراج می‌گردد [۱۴].

در این حالت متغیرها، ساختارهای برنامه‌ریزی هستند و خروجی نیز میزان توانایی برنامه در رسیدن به اهدافش است. تغییرات کوچکی در عملگرهای الگوریتم ژنتیک همانند جهش، بازتولید و ارزیابی تابع هزینه برای استفاده از آن‌ها در (GP)، مورد نیاز هستند. هر کروموزوم در جمعیت اولیه (GP)، از تعدادی تابع تصادفی و پایانه‌ها تشکیل یافته است. مثال‌هایی از این توابع تصادفی، عملیات

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 نوع بار و میزان حمل‌ونقل به تفکیک نوع وسیله‌نقلیه در نظر گرفته شده و به سامانه برنامه‌ریزی ژنتیک معرفی شده است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد عوامل مؤثر بر تصادفات با توجه به شدت تصادفات می‌تواند متفاوت باشد [۱۶]. در این پژوهش تعداد کل تصادفات شدید مورد مطالعه بوده که مشتمل در مجموع تصادفات فوتی و جرحی است.

۳-۳- جمع‌آوری و پردازش داده‌ها

هر سری زمانی ویژگی‌های رفتاری نهفته‌ای مانند خود همبستگی، خود شباهتی، خود نسبتی و روند در بازدهی تغییرات مقیاسی خود دارد که به این وسیله می‌توان بر تاریخچه فرآیند آن اشراف پیدا کرده و مقدمات پیش‌بینی رفتار آن را در آینده فراهم ساخت.

به‌طور کلی، انجام پژوهش در زمینه تصادفات جاده‌ای و ایمنی مستلزم در اختیار داشتن آمار و اطلاعات مرتبط با آن است به طوری که بر مبنای اطلاعات مذکور بتوان به ویژگی‌های 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 به دست آمده است. برخی از این مراجع عبارتند از: وزارت راه و شهرسازی، سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، سازمان ملی آمار و سازمان پزشکی قانونی.

با توجه به اینکه موضوع پژوهش حاضر، ارائه مدل پیش‌بینی تصادفات است و برای دستیابی به مدل پیش‌بینی تصادفات در سطح مناطق در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به تصادفات ضروری است، از این رو آمار مربوط به تصادفات وسایل نقلیه مرتبط با مبحث حمل‌ونقل کالا اعم از وسایل نقلیه باری 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 مورد نظر تهیه و اطلاعات مورد نیاز به سه دسته کلی تقسیم گردیده است:

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 داده‌ها 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 مدل‌سازی و مبانی تئوریک مدل صورت گیرد [۱۵]. براساس مطالعات پیشین طی دوده گذشته برای تصادفات ترافیکی سه‌گروه علل عمده می‌توان متصور شد:

۱- عوامل انسانی

۲- عوامل مربوط به وسیله نقلیه

۳- عوامل محیطی و جاده‌ای

علاوه بر آن‌ها گروه دیگری وجود دارند که اگرچه خودشان دلیل پیدایش تصادفات نیستند اما با رخداد تصادف دارای همبستگی می‌باشند به گونه‌ای که با داشتن آن‌ها می‌توان پیش‌بینی مناسبی از میزان تصادفات در آینده انجام داد. بخش عمده‌ای از عوامل موسوم در قالب پارامترهای اجتماعی و اقتصادی بر شمرده می‌شوند. مرور مطالعات قبلی نشان می‌دهد طی سال‌های اخیر، متغیرهای مختلفی برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی تصادفات به کار رفته است. علی‌رغم تنوع نسبی متغیرهای مورد استفاده در پیش‌بینی تصادفات باید تأکید شود که مبنای نظری و منطق انتخاب متغیرها و تناسب آن‌ها با هدف پژوهش حائز اهمیت است. از این رو در این پژوهش، ویژگی‌های زیر برای انتخاب متغیرهای مستقل مدنظر قرار گرفته است:

- ۱) در مرحله برنامه‌ریزی حمل‌ونقل قابل دستیابی 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 قابل تلفیق باشد.

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

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

۳-۵-ارائه مدل و یافته‌ها

به‌منظور تخمین تعداد تصادفات مناطق ترافیکی داده‌های مورد نظر در چهارگروه مشتمل بر عوامل مرتبط با تولید سفر، حجم حمل‌ونقل بین مبادی برمبنای ماتریس توزیع سفر، تفکیک بر اساس نوع بار 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 شده است که از بین آن‌ها تعداد ۱۱ پارامتر به عنوان پارامترهای مؤثر در پیش‌بینی شناسایی شده و در مدل‌نهایی به کار رفته است. با توجه به اینکه یکی از یافته‌ها و دستاوردهای بااهمیت این پژوهش شناسایی عوامل و متغیرهای مؤثر است، بنابراین در این بخش ضمن معرفی آن‌ها به تشریح عوامل مذکور و علت به‌کارگیری‌شان پرداخته می‌شود:

تولید سفر کالای درون استانی: این پارامتر با نماد x_2 که میزان آن برابر با مجموع میزان حمل‌بار برحسب هزارتن از مراکز شهرستان‌های استان به سایر شهرستان‌ها است به عنوان یکی از عوامل در معرض بودن، مورد شناسایی و استفاده قرار گرفته و بیانگر آن است که تعداد تصادفات می‌تواند تابعی از عناصری باشد که یکی از آن‌ها تولید سفر کالا است.

الف- اطلاعات مربوط به تصادفات

آمار مربوط به تصادفات وسایل نقلیه جاده‌ای برای سال‌های اخیر از وزارت راه و شهرسازی طبق جدول ۲ دریافت و اطلاعات مربوط به آمار تصادفات وسایل نقلیه باری مشتمل بر وسایل نقلیه بزرگ، کامیون‌ها و وانت بارها به تفکیک نوع تصادف اعم از فوتی یا جرحی بودن و موقعیت برای دوره مبنای تهیه شده است.

ب- اطلاعات مربوط به سفر

اطلاعات مربوط به سفرهای باری از مرجع سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای برای دوره مبنای و به تفکیک سال‌های مورد مطالعه دریافت شده است. این اطلاعات شامل مواردی چون تولید سفر باری، جذب سفر باری، تعداد وسایل نقلیه باری فعال و درایه‌های ماتریس تولید و جذب برای هر استان در هر سال است.

ج- اطلاعات اقتصادی- اجتماعی

سایر اطلاعات مورد نیاز با محوریت بعد اقتصادی و اجتماعی از سالنامه‌های آماری کشور استخراج گردیده است. در این مقاله، نتایج گردآوری شده حاصل از اطلاعات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و آمار مربوط به متغیرهای مستقل به‌منظور ساخت مدل بررسی شده است تا در نهایت 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 مرحله بعد سایر اطلاعات گردآوری شده اعم از اطلاعات اقتصادی و اجتماعی بررسی گردیده تا مدل مورد نظر حاصل شود.

۳-۴-انتخاب مدل

انتخاب روش دستیابی به رابطه 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 نسبت به موضوع اتخاذ شده است: یکی انتخاب متغیرهای واجد شرایط ذکر شده 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.

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

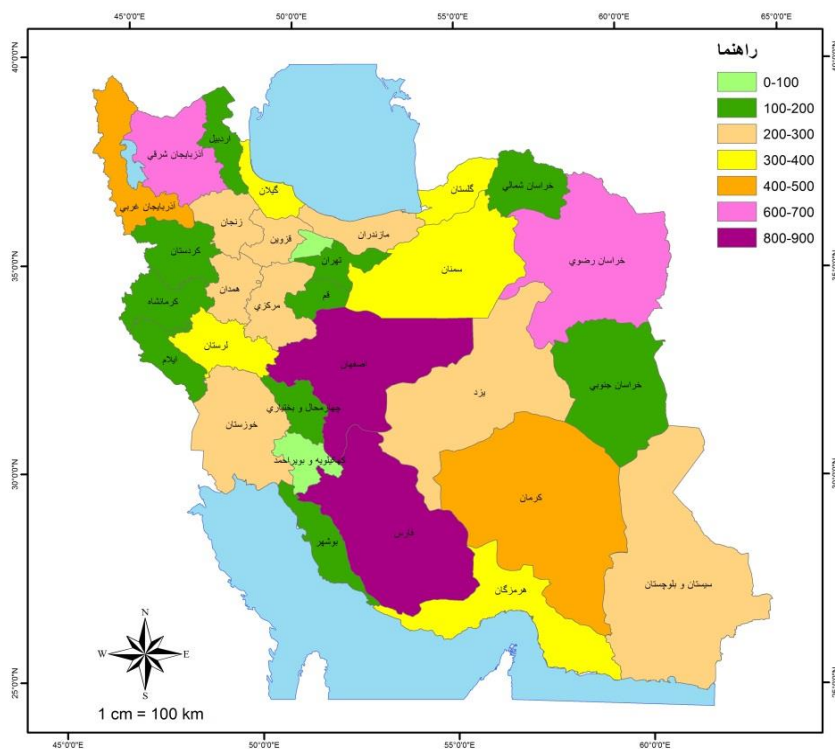
ردیف	استان	۱۳۹۰			۱۳۹۱			۱۳۹۲			۱۳۹۳		
		جرحی	فوتی	مجموع	جرحی	فوتی	مجموع	جرحی	فوتی	مجموع	جرحی	فوتی	مجموع
۱	اردبیل	۹۰	۱۶	۱۰۶	۶۴	۲۸	۹۲	۶۷	۱۰	۷۷	۹۱	۱۸	۱۰۹
۲	اصفهان	۳۴۵	۱۳۱	۴۷۶	۷۷۲	۱۱۲	۸۸۴	۸۵۷	۸۵	۹۴۲	۹۰۹	۱۳۰	۱۰۳۹
۳	البرز	۶۵	۱۶	۸۱	۵۱	۲۱	۷۲	۵۴	۱۹	۷۳	۴۲	۲۸	۷۰
۴	ایلام	۹۲	۲۰	۱۱۲	۱۰۸	۱۷	۱۲۵	۱۰۲	۱۰	۱۱۲	۱۷۶	۱۹	۱۹۵
۵	آشرفی	۵۱۳	۶۵	۵۷۸	۷۸۴	۶۷	۸۵۱	۷۵۸	۶۳	۸۲۱	۷۵۶	۷۲	۸۲۸
۶	آذربایجان 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	۳۷۴	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

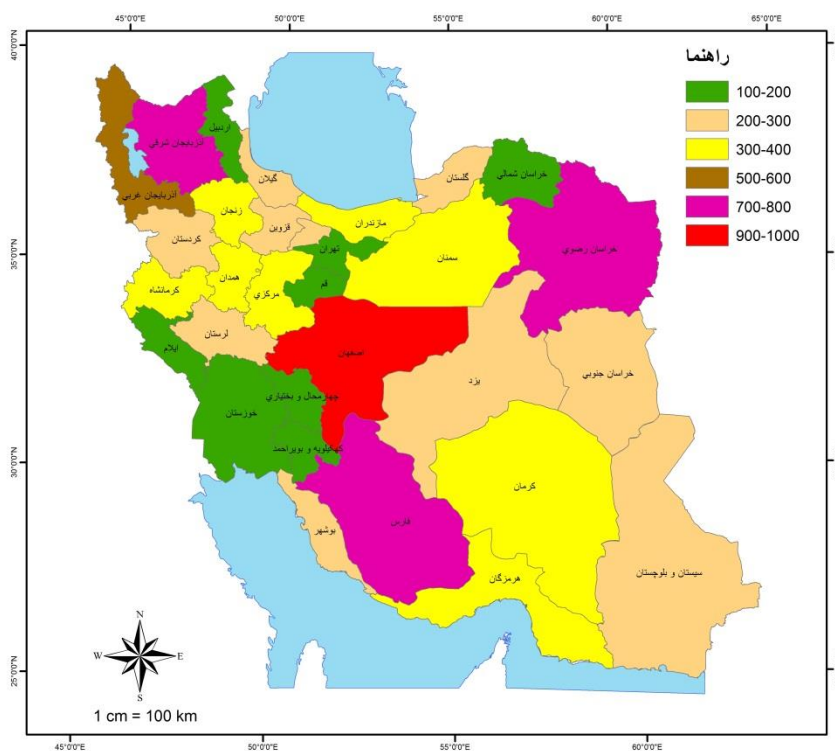
نام مدل	ساختار مدل	معیار
مبتنی بر تولید مستقیم	$Y 1 = 0.007817x_5 + 0.004895x_{20} - 0.004895x_{27} + 0.004895x_{29} - \log(\exp(-x_{47})805.4)52.03$ $- \log\left(\frac{x_2 + 695.4}{\log(x_{27})}\right)84.52 + \frac{8.68810^{15}x_{39}}{5.62910^{14}x_{48} - 4.53410^{17}} + 0.2616 \log(\log(x_{47}))(x_{17} - 2.19710^{-1697}) +$ $x_5 \exp(-x_{47})5.492 - \frac{(1.23910^{15}x_{26}1.23910^{15}x_{37} + 1.23910^{15}x_{48})1.42110^{-14}}{x_5} - 47 \exp(-x_{47})$ $(x_5 + x_{17})1.297 + \frac{8.81210^{14}x_{17}x_{26}}{4.50410^{15}x_5 + 4.50410^{15}x_{17}} + 653.4$	R=0.9420 ERR=0.2040
مبتنی بر انواع بار	$Y 2 = \frac{2.53310^{18}}{1.40710^{14}w_7 - 9.94110^{16}} - (w_5 - w_4 + 705.6)0.249 - 0.317 w_7 - 705.7 $ $- \frac{3.58710^{15}w_3}{1.40710^{14}w_7 - 9.94110^{16}} - 0.4445w_8 + \frac{2.628810^{15}w_7^2}{1.80110^{16}w_7 - 1.27210^{19}} - \frac{0.02973w_3w_8}{w_8} + \frac{0.4742w_5w_8}{w_3} + 547.5$	R=0.9083 ERR=0.3036
مبتنی بر تفکیک وسیله	$Y 3 = 0.2359z_1 + 1.294z_{11} + 95.87 \log(z_7) - 0.006508z_1\sqrt{z_{11}} - 1.171\sqrt{z_4z_8} - 0.00301z_6\sqrt{z_{11}}$ $+ 0.4429\sqrt{z_8z_9} - 0.001923z_9\sqrt{z_{11}} + 8.875\sqrt{z_6} - 13.25\sqrt{z_7} - 24.23\sqrt{z_{11}} - 0.0005402z_9^{3/2}$ $- 290.3$	R=0.8573 ERR=0.3511
مبتنی بر توزیع	$Y 4 = 0.2154v_1 - 0.1212v_3 + 0.09458v_4 - 0.07456v_5 - 0.01692v_7 + 0.04812v_{11} + 0.2907v_{16} - 0.1478v_{17}$ $+ 0.1049v_{20} + 0.0266v_{25} + 0.1967v_{26} - 0.1054v_{28} + 0.000572v_{32} + 0.2058 v_{24} + v_{25} + 0.0004169v_{16}$ $(v_1 + v_{16}) - 0.0004568v_{16}(v_7 + v_{16}) - \frac{6.32110^{15}v_{29}}{9.00710^{15}v_{10} - 9.00710^{15}v_{17}} + v_{25}(v_{10} - v_{17})0.0002365 -$ $0.00165v_{20} - 0.0003222v_1 v_{24} + v_{25} + v_{17} (v_5 - v_{10})0.0002174 + \frac{0.1383v_{22}}{v_{25}} + 0.0001552v_7 v_{17} $ $- v_{16}(v_5 - v_{10})0.0003002 + 5.75610^{-5}v_{25}^2 + 88.39$	R=0.9306 ERR=0.2234

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

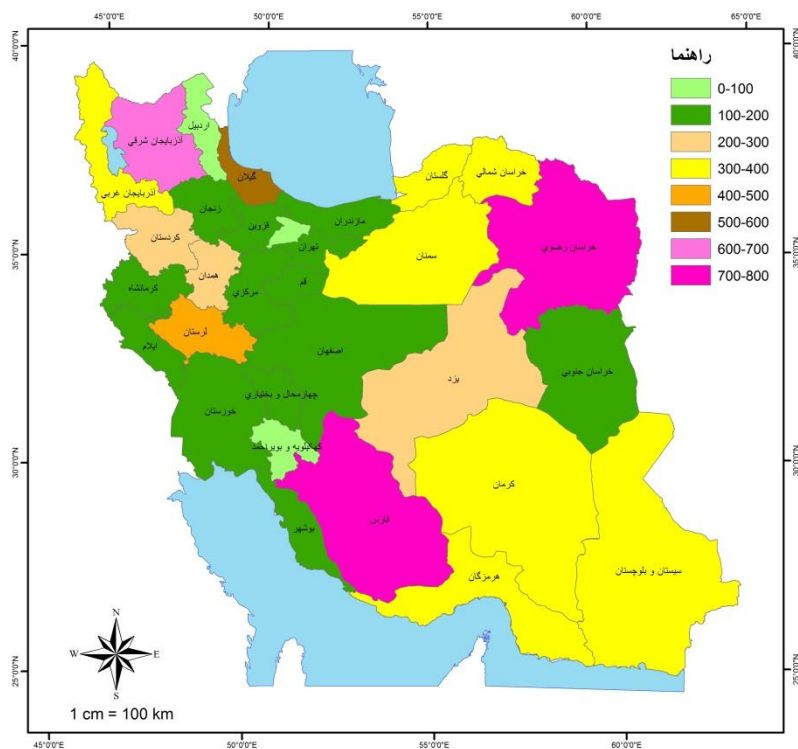
تولید سفر درون استانی کالا (x2)، جذب سفر کالا (هزار تن) (x5)، طول راه‌های شریانی (x17)، تعداد پل‌های موجود (دستگاه) (x20)، مسافرین جابه‌جاشده با وسایل حمل‌ونقل عمومی درون استانی (x26)، مسافرین جابه‌جاشده با وسایل حمل‌ونقل عمومی برون استانی (x27) جذب مسافر (x29)، ارتفاع از سطح دریا (x37)، میانگین ارتفاع بارندگی (x39)، هم‌جواری‌ها (x47)، بارعبوری (x48)	تولید سفر
معدنی و ساختمان (w3)، صنایع سبک (w4)، ماشین آلات (w5)، کاغذ و چوب (w7)، چرم و پوشاک (w8)	تفکیک انواع بار
اتاق‌دار (z1)، یخچال‌دار (z4)، تانکر مخزن‌دار (z6)، بونکر (z7)، جامبو (z8)، کفی (z9)، بغل‌دار چادری (z11)	تفکیک انواع وسیله‌نقلیه
آذربایجان شرقی (v1)، آذربایجان غربی (v2)، اردبیل (v3)، اصفهان (v4)، البرز (v5)، بوشهر (v7)، خراسان جنوبی (v10)، خراسان رضوی (v11)، سیستان و بلوچستان (v16)، فارس (v17)، کردستان (v20)، کرمانشاه (v22)، گلستان (v24)، گیلان (v25)، لرستان (v26)، مرکزی (v28)، هرمزگان (v29)، بار عبوری (v32)	توزیع سفر



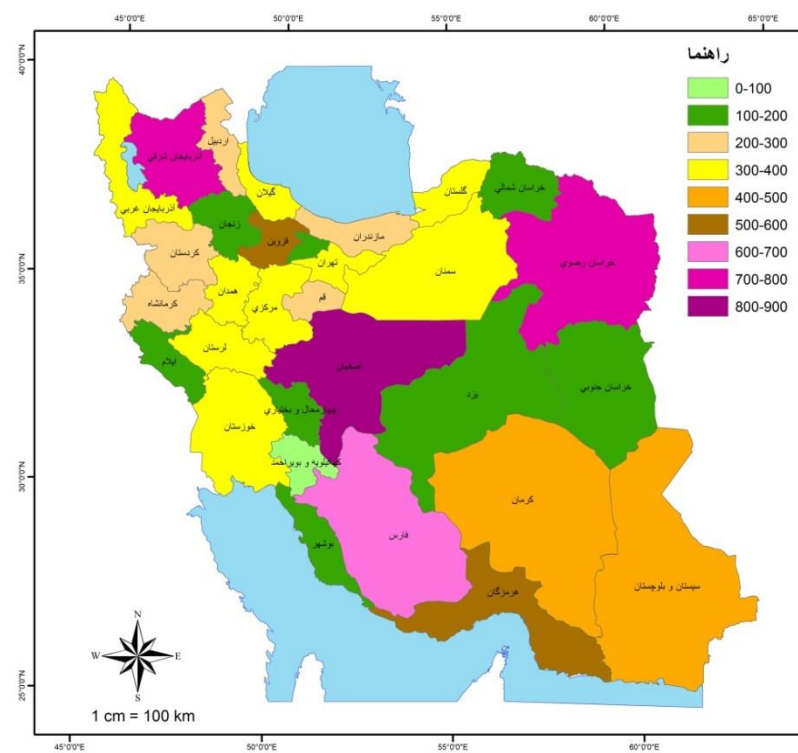
شکل ۳ - برآورد تصادفات مدل مبتنی بر عوامل تولید سفر



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	۸۲۶
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

طول راه‌های شریانی: دیگر پارامتری که به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در پیش‌بینی تصادفات توسط (GP) مورد شناسایی قرار گرفته 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 به مجموع 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 قرار گرفته است.

تعداد پل‌ها: با توجه به اثرگذاری شکل کلی ناهمواری‌ها و میزان آن‌ها در رخ‌دادن تصادفات و از آنجائی‌که تعداد این‌په 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 قرار گرفته است.

تعداد مسافرین: این پارامتر 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 x26, x27, x29 با ماهیت در معرض‌بودن، مورد شناسایی و استفاده قرار گرفته 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: برابر است 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: برابر است با میزان

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 معرفی شده است و همانند پارامتر تولید سفر، به‌عنوان یکی از عوامل در معرض‌بودن، مورد شناسایی و استفاده قرار گرفته است و بیانگر آن است که در پیش‌بینی تعداد تصادفات آتی حمل‌ونقل کالا کارآیی دارد.

میزان جذب سفر کالا، تعداد مسافری 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 در آن صورت می‌توان بیان کرد در این تحقیق به پیش‌بینی ایجاد تصادفات پرداخته شده است که متناظر با مرحله ایجاد سفر در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است از این رو پیشنهاد می‌گردد برای انجام تحقیقات آتی در زمینه 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 به‌دست آمده و در اختیار نویسندگان قرار-گرفته‌است، از نهادهای نامبرده نیز تشکر می‌گردد.

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 قرار گرفته و بیانگر آن است که در پیش‌بینی تعداد تصادفات آتی حمل‌ونقل کالا کارآیی دارد؛ و با نماد x_{48} در مدل معرفی شده است.

۴- نتیجه‌گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر، تخمین تعداد تصادفات شدید حمل‌ونقل جاده‌ای کالا در سطح 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. علاوه‌بر آن سایر نتایج این تحقیق عبارت‌است از:

۱- در روش به‌کار گرفته شده در تحقیق حاضر با عنوان روش برنامه‌ریزی ژنتیک محدودیت‌های روش‌های پیشین تخمین تصادفات، مشتمل بر روش‌های مبتنی بر رگرسیون و روش‌های مبتنی بر 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 از روش برنامه‌ریزی ژنتیک که براساس داده‌های تولید سفر ساخته-شده‌اند، برای پیش‌بینی تصادفات حمل‌ونقل جاده‌ای کلان سازگاری مناسب‌تری در مقایسه با سایر داده‌ها دارد.

۳- می‌توان اظهار نمود که از بین عوامل ایجاد حمل‌ونقل که از آن‌ها به‌عنوان متغیرهای در معرض‌بودن یاد می‌شود، عوامل ترافیکی نظیر میزان تولید سفر کالای درون استانی،

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 فتیحی 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.