مدل پویای عوامل انسانی و وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت در شهر تهران

مقاله علمی – پژوهشی

محسن شفیعی نیکابادی*، استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
امیرحکاکی، دانش آموخته دکتری، مدرسه بازرگانی هنلی، دانشگاه ردینگ، ردینگ، انگلستان
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: shafiei@semnan.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۹– پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱
صفحه ۳۶۰-۳۴۱

چکیده

ایران در رتبه‌های بسیار نامناسب در میزان مرگ و میر تصادفات ترافیکی در سطح جهان قرار دارد و عوامل انسانی با سهم تجمعی ۹۰٪ به عنوان یکی از مهمترین دلایل تصادفات در کنار عوامل وسیله نقلیه محسوب می‌شود. پژوهش حاضر با هدف ارائه مدلی پویا از عوامل انسانی و عوامل وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت انجام شده است. داده‌های لازم برای مطالعه عوامل انسانی و وسیله نقلیه با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مطالعات میدانی به صورت مصاحبه باز با ۱۵ نفر از خبرگان با روش نمونه گیری قضاوتی و هدفمند جمع آوری شده است. پس از مشخص شدن روابط علّی در میان عوامل انسانی و عوامل وسیله نقلیه شناسایی شده با تصادفات ترافیکی مدل پویا بر اساس رویکرد پویایی‌های سیستم در نرم‌افزار ونسیم طراحی گردیده است. به منظور اعتبار سنجی مدل با استفاده از تولید مجدد رفتار سیستم از داده‌های اداره پلیس راهنمایی و رانندگی تهران بزرگ استفاده شده و ضریب تعیین داده‌های واقعی با داده‌های حاصل از شبیه سازی ۰/۹۹۸ تعیین گردیده است. برای تحلیل سیاست‌های فعلی و تدوین سیاست‌های آینده مدل در بازه زمانی ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۴ اجرا شده و مشخص گردید با حفظ سیاست‌های فعلی بیشترین رشد در تعداد تصادفات در میان عوامل انسانی مربوط به نقص عضو مؤثر و در میان عوامل وسیله نقلیه مربوط به نقص سیستم روشنایی می‌باشد. همچنین، بیشترین میزان کاهش تصادفات مربوط به عوامل انسانی مربوط به عجله و شتاب بی مورد می‌باشند. در میان عوامل وسیله نقلیه سه عامل فقدان زنجیر چرخ، فقدان برف پاک‌کن و نقص سیستم فرمان به دلیل سیاست‌هایی همچون سختگیری قوانین و مقررات و فرهنگ‌سازی با کاهش چشمگیری همراه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: پویایی‌های سیستم، تصادفات ترافیکی، عوامل انسانی، عوامل وسیله نقلیه، ونسیم

۱- مقدمه

واژه ترافیک در قوانین به مجموعه عبور و مرور وسائل نقلیه، اشخاص و حیوانات اطلاق می‌شود و سانحه را هر واقعه خاص مانند تصادفات ترافیکی و خرابی خودروها می‌گویند. سوانح معمولاً منجر به کاهش ظرفیت ترافیکی و یا افزایش غیرطبیعی آن می‌شود (باقری و همکاران، ۱۳۹۳). تصادفات ترافیکی هزینه‌های بسیاری را به جوامع و دولت‌ها تحمیل می‌کنند (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۹). این هزینه‌ها در ایران نیز برای اولین بار در سال ۲۰۰۱ مورد بررسی قرار گرفت که رقم آن معادل ۶۱۷۰/۶ میلیارد ریال می‌باشد

(آیتی و همکاران، ۱۳۸۷). حوادث ترافیکی به عنوان یکی از عوامل اصلی مرگ و میر در تمامی کشورها شناخته می‌شود (فریدمن و ولف، ۱۹۸۲). روزانه ۱۶۰۰۰ انسان بر اثر جراحت‌های ناشی از تصادفات جان خود را از دست می‌دهند (خیرآبادی و بوالهری، ۱۳۹۱). تصادفات جاده‌ای سالانه باعث مرگ نزدیک به ۱/۲ میلیون نفر و آسیب جدی بیش از ۵۰ میلیون نفر در سراسر دنیا می‌شود (توکلی و خانجانی، ۱۳۹۵؛ باقری و همکاران، ۱۳۹۳؛ خادمی، ۱۳۹۲؛ ایزدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ زاهد و رضائی ارجرودی، ۱۳۸۵؛ کومار و اومادوی، ۲۰۱۱). تحقیقات نشان می‌دهد چنانچه اقدام مؤثری به منظورکاهش تصادفات ترافیکی صورت نپذیرد این آمار تا سال ۲۰۲۰ به ۱/۹میلیون نفر افزایش می‌یابد (توکلی و خانجانی، ۱۳۹۵). اگر چه آمار متوفیان تصادفات ترافیکی در ایران بین سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹٤ روندی کاهشی داشته است (سازمان پزشکی قانونی کشور، ۱۳۹۵) اما بر اساس گزارش مؤسسه تحقیقات ترافیک دانشگاه میشیگان ایران با ۳۸ مورد مرگ به ازای هر صد هزار نفر پس از نامیبیا و تایلند در رتبه سوم بیشترین میزان مرگ و میر تصادفات ترافیکی در سطح جهان قرار دارد (توکلی و خانجانی، ۱۳۹۵). حوادث ترافیکی را می‌توان پیامد وضعیتی دانست که سه عامل راننده، وسیله نقلیه و محیط در آن سهیم می‌باشند (مرکز تحقیقات ولوو، ۲۰۱۳) که در این میان عوامل انسانی با سهم تجمعی ۹۰٪ نسبت به سایر عوامل بیشترین علل تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت را به خود اختصاص می‌دهند (خیرآبادی و بوالهری، ۱۳۹۱؛مرکز تحقیقات ولوو، ۲۰۱۳). در ایران تصادفات ترافیکی با سهم ۱٤٪ از کل مرگ و میرها پس از بیماری‌های قلبی و عروقی در جایگاه دوم مهمترین دلایل مرگ و میر شناخته می‌شود (توکلی و خانجانی، ۱۳۹۵). به طور کلی عوامل انسانی و عوامل مربوط به وسیله نقلیه همچون چرخ‌ها، سیستم ترمز و غیره به عنوان مهمترین عوامل تصادفات ترافیکی شناخته می‌شوند و ضرورت کاهش خسارات ناشی از این تصادفات از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد، اگرچه در ایران بیشتر مطالعات در زمینه عوامل محیطی مورد انجام شده‌است (لسبویی و همکاران، ۱۳۸۸). به طور مثال، نوخندان (۱۳۸٤). همچنین، در میان مطالعات انجام شده در حوزه تصادفات ترافیکی طراحی و ارائه مدلی پویا که به موجب آن بتوان فعل و انفعالات پویا و غیر خطی در سیستم‌های دنیای واقعی را درک و تجزیه و تحلیل کرد و سیاست‌های جدیدی را به منظور بهبود رفتار سیستم تدوین نمود (کومار و اومادوی، ۲۰۱۱) اهمیت بالایی دارد. به همین منظور این پژوهش با هدف پاسخ به این سوال که **"مدل پویای عوامل انسانی و عوامل وسیله نقیله مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم چگونه است؟"** انجام شده‌است،

۲-پیشینه تحقیق

۲-۱-عوامل‌انسانی و وسیله‌نقلیه مؤثر بر تصادفات‌ترافیکی

امروزه با توجه به اینکه تعداد کاربران وسائل نقلیه و سوانح در کشور روندی صعودی دارد، تصادفات ترافیکی به عنوان یکی از بزرگترین مشکلات سلامت عمومی در جهان مطرح می‌باشد (پاک‌گوهر و همکاران، ۱۳۸۸). به طور کلی وضعیت ترافیکی اهمیت فراوانی در تعداد تصادفات دارد، در مدلی که محمودآبادی و همکاران (۱۳۸۷) برای برآورد تعداد روزانه تصادفات جاده‌ای در ایران ارائه کردند به این نتیجه رسیدند که تعداد تصادفات با وضعیت ترکیب ترافیکی رابطه عکس دارد، به این معنا که هر چقدر سهم وسائل نقلیه بیشتر شود، تمامی تصادفات از نوع جرحی، فوتیو خسارتی افزایش می‌یابد. عوامل فرهنگی از جمله عواملی است که در وضعیت ترافیکی مؤثر می‌باشند. در مطالعات باقری و همکاران (۱۳۹۳) که به منظور بررسی عوامل مؤثر در ترافیک شهری با استفاده از ابزار پرسشنامه با جامعه آماری ۳۱۰۷ نفر در شهر ساری انجام شده‌است، عوامل فرهنگی در کنار عوامل انسانی، عوامل فنی خودرو به عنوان تأثیرگذارترین عوامل در تصادفات ترافیکی بازشناسایی شده است. بعلاوه، امینی (۱۳۹۰) با بیان عواملی همچون خطای انسانی، خودروی شخصی، طراحی و ایمنی جاده‌ها، اضطراب سفر، سرعت غیرمجاز، سن راننده و خستگی به عنوان عوامل مهم وقوع تصادفات جاده‌ای در ایران راهکارهایی مانند، ایجاد فرهنگ ترافیک توأم با آموزش رانندگان، استاندارد نمودن جاده‌ها، رفع نقاط حادثه خیز، نصب تجهیزات ایمنی درون خودرویی مانند کیسه هوا و ترمز ضد قفل و استفاده از کمربند ایمنی را معرفی می‌نماید که منجر به کاهش تصادفات جاده‌ای کشور و در نتیجه کاهش هزینه مستقیم تلفات ناشی از حوادث جاده‌ای می‌شود. بسیاری از حوادثی که منجر به تصادفات می‌شود ناشی از عدم رعایت قوانین و مقررات راهنمایی و

رانندگی می‌باشد، در حقیقت عوامل انسانی یکی از مهمترین دلایل تصادفات می‌باشد که بیشتر از ۹۰٪ از دلایل تصادفات را به خود اختصاص می‌دهند (خادمی، ۱۳۹۲؛ خیرآبادی و بوالهری، ۱۳۹۱؛ رمضان زاده لسبویی و همکاران، ۱۳۸۸؛ پاک‌گوهر و همکاران، ۱۳۸۸؛ سلمانی و همکاران،۱۳۸۷). مرکز تحقیقات ولوو در گزارش مربوط به تحقیقات تصادف و ایمنی اروپا (۲۰۱۳) با تقسیم‌بندی عواملی مؤثر برتصادفات جاده‌ای در سه گروه عوامل انسانی همچون عدم توجه و تمرکز، سرعت و رانندگی خطرناک، عوامل مربوط به وسائل نقلیه همچون نقص‌های فنی، نقاط کور و ترکیدن تایرها و عوامل محیطی مانند دیدکم، طراحی جادها و شرایط جوی مشخص می‌کند در این بین عوامل انسانی از دلایل اصلی در ۹۰٪ تصادفات می‌باشد. در ایران سلمانی و همکاران (۱۳۸٦) با هدف بررسی عوامل مؤثر بر تصادفات جاده‌ای مشخص نمودند که در بروز تصادفات ترافیکی عوامل گوناگونی مانند عوامل انسانی (عدم رعایت مقررات، عدم استفاده از کمربند ایمنی، عدم آموزش کافی، تجربه، ضعف دید، مصرف الکل و مخدر، خستگی، استرس، سبقت غیر مجاز و سرعت زیاد)، عوامل جاده‌ای (کیفیت راه، عرض کم جاده‌ها و علائم راهنمایی و رانندگی، پیچ‌های خطرناک)، عوامل محیطی (شرایط جوی همچون باران، برف، مه و یخبندان) و عوامل مربوط به وسیله نقلیه (چرخ‌ها، نقص فنی خودرو و فرسوده بودن خودرو) دخالت دارند، که از این میان عوامل انسانی با ٥٤ درصد بیشترین نقش را در تصادفات دارند. در مطالعه‌ای مروری مربوط به مقالات سال‌های ۱۹۹۰ – ۲۰۰۹ خیرآبادی و بوالهری (۱۳۹۱) از طریق بانک دادهای Medline و Cochrane library و برخی از مقالات فارسی با کلید واژه‌های آسیب جاده‌ای، رفتار رانندگی و عوامل مؤثر، فاکتورهای انسانی مؤثر بر تصادفات را به دو گروه کلی عواملی که وابسته به عملکرد نوروبیولوژیک انسان بوده و خارج از حیطه کنترل و مدیریت شخص در حال رانندگی است و عواملی که وابسته به زمینه‌های شخصیتی افراد بوده مانند تجربه و مهارت، مصرف الکل و مخدر و داروها، استرس، سن و خستگی تقسیم می‌کنند و بیان می‌دارند که در مدیریت ترافیک رویکرد به این مقوله نیازمند برخوردی جامع و برنامه‌های چند مرحله‌ای است که شامل آموزش‌های عمومی، آموزش‌های مبتنی بر گروه‌های هدف خاص و در مواردی محدودیت‌های قانونی برای رانندگان خاص می‌باشد. این بدان معنی است که اگر بتوان میزان تأثیر عامل انسانی را با آموزش کاهش داد و احتمال وقوع تصادفات ترافیکی نیز کاهش خواهد یافت، به طور مثال در بسیاری از کشورهای اروپایی از جمله آلمان متقاضیان دریافت گواهینامه باید ۱۲۰ ساعت تحت آموزش اجباری رانندگی قرار بگیرند در حالیکه این میزان ساعت آموزش به هیچ وجه قابل مقایسه با ۲۰ ساعت آموزش اجباری رانندگی در آموزشگاه‌های ایران نمی‌باشد (امینی، ۱۳۹۰). با این حال نمی‌توان نقش مسیر و طراحی هندسی آن و داشتن علائم هشدار دهنده و کنترل ترافیک را به عنوان دیگر عوامل مهم در وقوع تصادفات رانندگی نادیده گرفت (انجمن جهانی جاده، ۲۰۰۳). باقری خلیلی و شیخ الاسلامی (۱۳۹۰) طی پژوهشی به منظور تجزیه و تحلیل تحقیقات انجام شده در زمینه عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات، این عوامل را به چهار دسته عوامل جاده‌ای (ویژگی هندسی راه و خصوصیات جریان ترافیک)، وسایل نقلیه (توانایی وسیله نقلیه و نقص فنی قطعات)، عوامل انسانی (خصوصیات راننده، رفتاررانندە و توانایی فیزیولوژیکی و روحی راننده) و عوامل محیطی (شرایط جوی) تقسیم می‌نمایند. همچنین، به منظور بررسی تصادفات ترافیکی در نیجریه آگبنکیز و همکاران (۲۰۱۳) عوامل مؤثر بر این تصادفات را در چهار گروه رانندگان (سرعت، مصرف مشروبات الکلی و مواد مخدر، رانندگی مخاطره آمیز و عدم تجربه و صلاحیت کافی)، وسائل نقلیه (طراحی خودروها، سیستم ترمز، چرخ‌ها، سیستم نور خودرو)، شرایط جاده‌ها و عوامل محیطی همچون باران و مه طبقه‌بندی نموده‌اند. در پژوهشی با استفاده از شبیه‌سازی پویایی‌های سیستم کومار و اومادوی (۲۰۱۱) عوامل انسانی، جاده‌ای و محیطی را به عنوان سه عامل اساسی مؤثر بر تصادفات ترافیکی معرفی می‌نمایند که در این بین عوامل انسانی شاخص‌هایی همچون مهارت، سن، مخدرها و مصرف الکل، استرس، آموزش، سرعت، سبقت و کمربند ایمنی و عوامل مربوط به وسائل نقلیه شاخص‌هایی همچون سیستم نور، سیستم ترمز، چرخ‌ها، بدنه خودرو و نگهداری و تعمیر را به خود اختصاص می‌دهد. . همچنین، مینامی و مدنیک (۲۰۱۰) با استفاده از تجزیه و تحلیل سیستم‌ها به منظور بهبود ایمنی ترافیک برای درک بهتر و پیش بینی حوادث مربوط به وسائل نقلیه جنگی ارتش آمریکا در عراق به طور کلی این حوادث را به دو دسته‌ی عوامل انسانی

همچون استرس، آموزش و تجربه، و عوامل مربوط به ایمنی خودروها مانند پدال گاز، ترمزها، چرخ‌ها و بوق تقسیم کرده و کنترل سرعت، عدم دور زدن و تغییر مسیر (خط) ناگهانی را به عنوان عوامل اصلاحی که منجر به کاهش تصادفات می‌شود معرفی می‌نمایند. به طور کلی بازشناسی عوامل مؤثر بر تصادفات ترافیکی اهمیت بسیاری دارد، چراکه آگاهی از این عوامل می‌تواند کمک ارزنده‌ای به سیستم حمل و نقل کرده و مهم‌تر اینکه خسارت‌های جانی و مالی ناشی از آن را کاهش دهد (خادمی، ۱۳۹۲). در سال‌های اخیرا مطالعات بسیاری همچون مطالعات خادمی (۱۳۹۲)، رمضان زاده لسبویی و همکاران (۱۳۸۸) و پاک‌گوهر و همکاران (۱۳۸۸) به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر تصادفات ترافیکی انجام شده است. با توجه به مطالعات مذکور عوامل مؤثر بر تصادفات ترافیکی اصولا به چهار دسته عوامل انسانی، عوامل جاده‌ای، عوامل مربوط به وسیله نقلیه (خادمی، ۱۳۹۲؛ رمضان زاده لسبویی و همکاران، ۱۳۸۸؛ پاک‌گوهر و همکاران، ۱۳۸۸) و عوامل محیطی (خادمی، ۱۳۹۲؛ رمضان زاده لسبویی و همکاران، ۱۳۸۸) تقسیم می‌شود. در این میان خادمی (۱۳۹۲) از استرس، خستگی، مصرف الکل و مخدرها، سرعت غیر مجاز، سبقت غیر مجاز، ضعف بینایی و عدم صلاحیت و تجربه کافی به عنوان مهمترین شاخص‌های عوامل انسانی و سرعت بالای موتور وسائل نقلیّه و سیستم خودرو از مهمترین عوامل مربوط به وسائل نقلیه معرفی می‌نماید. بعلاوه، رمضان زاده لسبویی و همکاران (۱۳۸۸) مهمترین شاخص‌های مربوط به عوامل انسانی را نبود تمرکز ذهنی، تشخیص نادرست فاصله، نقص دید، عدم تشخیص خطر، تجربه ناکافی، ضعف تشخیص، واکنش تصمیم‌گیری نادرست، بی پروایی، سبقت غیر مجاز، سرعت زیاد، رفتار تهاجمی، بی توجهی، عدم احساس مسئولیت، پریشانی و هیجان، مسائل روانی، مصرف دارو، خستگی و مصرف نوشیدنی‌های الکلی و مهمترین شاخص‌های مربوط به وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی را فرسوده بودن لاستیک‌های خودرو، فرسوده بودن و نقص فنی خودروها ذکر می‌کند. پاک‌گوهر و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی LR، CRT و GLM شاخص‌هایی همچون سن، خستگی، عدم رعایت قوانین و مقررات، سرعت زیاد، سبقت و مصرف مشروبات الکلی، مواد مخدر، عدم تشخیص علائم راهنمایی و رانندگی به عنوان مهمترین عوامل انسانی و شاخص‌هایی مانند سیستم فرمان، نقص سیستم روشنایی و چرخ‌ها به عنوان مهمترین عوامل انسانی مؤثر بر تصادفات ترافیکی شناسایی می‌نمایند.

۲-۲-مدلسازی پویایی‌های سیستم

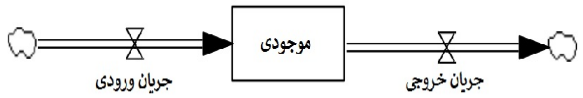
مدلسازی پویایی‌های سیستم یا سیستم داینامیک توسط استاد دانشگاه MIT پروفسور جی فارستر در دهه ۱۹۵۰ توسعه یافت (شفیعی و حکاکی، ۲۰۱۷؛ گائو و همکاران، ۲۰۱۶؛ دینگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ شفرد، ۲۰۱۴؛ مینامی و مدنیک، ۲۰۱۰) تا به عنوان روشی برای بررسی رفتار پویای سیستم‌ها با تاکید بر روابط میان عناصر تشکیل دهنده سیستم مورد استفاده قرار گیرد (یانگ و وانگ، ۲۰۱۴). مدلسازی پویایی‌های سیستم بر پایه قواعد ریاضی تئوری کنترل و دینامیک غیرخطی بنا شده و به عنوان ابزاری به منظور کمک به سیاست گذاران برای مقابله با مشکلات پیش بینی نشده در سیستم توسعه یافته است (مینامی و مدنیک، ۲۰۱۰). برای درک بهتر ساختار سیستم‌ها وجود یک زبان مدلسازی ضروری است، در پویایی‌های سیستم به این زبان نمودارهای بازخورد یا علت و معلولی می‌گویند (شفیعی و حکاکی، ۲۰۱۷). نمودارهای علی و معلولی یکی از مهم‌ترین ابزارها در ترسیم ساختار بازخوردی سیستم می‌باشد. این نمودارها شامل متغیرهایی است که توسط فلش‌هایی نحوه تاثیر هریک بر دیگری نشان داده می‌شود. علامت "+" فلش نشان‌دهنده قطبیت مثبت و یا همراستایی میان متغیرها بوده و علامت "-" فلش نشان‌دهنده قطبیت منفی میان متغیرها می‌باشد (شفیعی و حکاکی، ۱۳۹۶؛ سامارا و همکاران، ۲۰۱۰). در شروع مدلسازی با استفاده از نمودارهای علّی و معلولی می‌توان مدل ذهنی خود را ترسیم نمود اما این نمودارها دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. از آنجایی که مدلسازی پویایی‌های سیستم از جنس دانش عددی و مهندسی می‌باشد از مهمترین این محدودیت‌ها عدم توانایی در نمایش ساختار موجودی (حالت) و جریان سیستم‌ها است. برای رفع این مشکل از ترسیم دیاگرام موجودی (حالت)-جریان استفاده می‌شود تا قدم دیگری به معادلات ریاضی مدل نزدیک بشویم. جدول ۱ سمبل‌های مورد استفاده در ترسیم نمودارهای موجودی-جریان مدلسازی پویایی‌های سیستم را نشان می‌دهد.

جدول۱. نمادهای نمودار موجودی-جریان

(کومار و اومادوی، ۲۰۱۱)

نام	نماد	شرح
موجودی		برای نمایش هر چیزی (مواد یا اطلاعات) که تجمع می‌یابد
جریان		نشان دهنده فعالیت‌هایی که باعث کاهش یا افزایش موجودی می‌شود.
چشمه/چاه		چشمه منبع و چاه مقصد جریان بوده هنگامی تمایلی برای دنبال کردن جریان وجود ندارد استفاده می‌شود
اتصال دهنده‌ها		برای ایجاد رابطه و انتقال اطلاعات میان متغیرها استفاده می‌شود
پارامتر		عدد ثابتی که به صورت ثابت در هر مرحله زمانی بر سیستم اثر می‌گذارد

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود موجودی‌ها بیانگر تجمع بوده و با مستطیل نشان داده می‌شوند، همچنین جریان ورودی و جریان خروجی یک متغیر موجودی به وسیله فلش‌هایی نشان داده می‌شوند که به منظور تنظیم نرخ جریان شیرهایی بر روی آنها قرار دارد (شفرد، ۲۰۱۴). شایان ذکر است متغیرهای موجودی تنها از طریق تغییر متغیرهای جریان تغییر می‌کنند (استرمن، ۲۰۰۰). شکل ۱ ترکیب نمادین متغیرهای موجودی، جریان ورودی و جریان خروجی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. ترکیب متغیرهای موجودی، جریان ورودی و جریان خروجی

در ریاضیات مدلسازی پویایی‌های سیستم از متغیر موجودی (حالت) به عنوان "انتگرال" و به از متغیر جریان به عنوان "نرخ" و "مشق" یاد می‌شود. رابطه ۱ مقدار موجودی را پس از گذشت زمان t نشان می‌دهد (شفیعی و حکاکی، ۱۳۹۴؛ شفرد، ۲۰۱۴).

$$\int_{t_0}^{t}[Inflow(s) - Outflow(s)ds + Stock(t_0) \qquad (۱)$$

همچنین میزان تغییرات متغیر حالت یا موجودی در واحد زمان مطابق با رابطه ۲ برابر با خالص تغییر متغیر موجودی یا اختلاف نرخ جریان ورودی با جریان خروجی است (استرمن، ۲۰۰۰).

$$d(stock)/dt = Inflow(t) - Outflow(t) \qquad (۲)$$

۳-روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر از منظر هدف کاربردی می‌باشد چرا که مدل ارائه شده در این پژوهش به شناخت رفتار سیستم، توصیف و تحلیل روابط میان متغیرهای شناسایی شده می‌پردازد تا بتوان با استفاده از آن سیاست‌های جدیدی را به منظور بهبود رفتار سیستم تدوین نمود. همچنین، این پژوهش از لحاظ متغیر کمی بوده و از دید ماهیت و روش در دسته پژوهش‌های توصیفی-تحلیلی قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل ۲ قابل مشاهده است مراحل انجام این پژوهش شامل شش مرحله می‌شود.

مطالعات کتابخانه‌ای شامل بررسی پیشینه پژوهش، مطالعه کتب، مقالات و پایان نامه‌های داخلی و خارجی می‌باشد به منظور شناسایی عوامل انسانی و وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات

مفهوم سازی سیستم با استفاده از مطالعات میدانی از طریق مصاحبه باز با خبرگان به منظور تعیین مرز مدل بر اساس اهداف تعیین شده با استفاده از استخراج، جرح و تعدیل

صورت‌بندی مدل شامل شناسایی و بررسی روابط علّی میان متغیرها با استفاده از نظرات خبگان و در نهایت ترسیم مدل

مدلسازی پویایی‌های سیستم (ترسیم دیاگرام موجودی-جریان)

شبیه‌سازی و اعتبار سنجی مدل

تحلیل سیاست‌ها به منظور بررسی نتایج سیاست‌هایی که می‌توان در دنیای واقعی پیاده نمود

شکل۲. مراحل انجام پژوهش

٤- مفهوم‌سازی سیستم

مفهوم‌سازی سیستم، شامل تعیین مرز مدل با توجه به اهداف تعیین شده می‌باشد (رمضانیان و همکاران، ۱۳۹٤). در مدلسازی پویایی‌های سیستم مرز سیستم با توجه به تعریفی که از مسئله صورت گرفته است مشخص می‌کند چه متغیرهایی بر رفتار سیستم تأثیر دارند. برای انجام این مهم پس از مطالعات کتابخانه‌ای و شناسایی اولیه عوامل انسانی مؤثر بر تصادفات ترافیکی از مطالعات میدانی به منظور استخراج، جرح و تعدیل متغیرهای نهایی استفاده شده است. در این مرحله به منظور جمع‌آوری داده‌ها از ابزار مصاحبه باز با خبرگان به منظور تعیین متغیرهای نهایی یا همان مرز سیستم استفاده شده است. جامعه آماری پژوهش در این مرحله شامل مجموعه‌ای از خبرگان و کارشناسان می‌باشد که یکی از سه شرط ۱) دارا بودن حداقل مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد مرتبط با حوزه‌های ترافیکی و راه‌سازی، ۲) برخورداری از حداقل ده سال سابقه کاری مرتبط با حوزه‌های ترافیکی، ۳) کارشناسان و متخصصین تصادفات ترافیکی پلیس راهنمایی و رانندگی را در کنار شروطی چون بی‌طرفی خبرگان، داشتن علاقه و اطلاعات کافی برای پاسخگویی برخوردار باشند و نمونه‌های آماری به صورت قضاوتی و هدفمند انتخاب می‌شوند. از میان واجدین شرایط با ١٤ نفر نمونه آماری مصاحبه باز انجام شده است. جدول ۲ وضعیت جمعیت شناختی نمونه آماری را در این مرحله نشان می‌دهد.

جدول ۲. وضعیت جمعیت شناختی نمونه آماری

مشخصات توصیفی		فراوانی	درصد توزیع
تحصیلات	کارشناسی ارشد	۹	٦۰
	دکتری	٦	٤۰
سابقه کار	۱۰ – ۱۵ سال	۸	۵۳
	بالاتر از ۱۵ سال	۷	٤۷

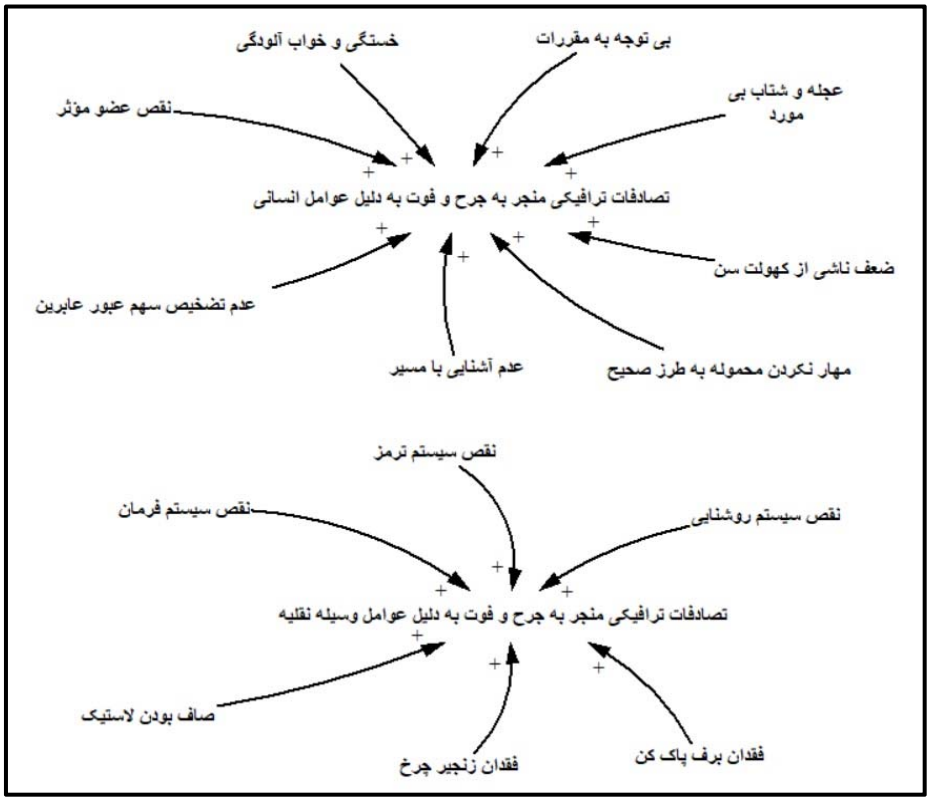
در نهایت ، پس از جرح وتعدیل متغیرهای شناسایی شده، متغیرهای نهایی به منظور مرزبندی مدل عوامل انسانی و وسیله نقیله مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت بر اساس مبانی نظری پژوهش و نظرات خبرگان با استفاده از ابزار مصاحبه باز مطابق با جدول ۳ تعیین می‌گردد.

جدول ۳. عوامل انسانی و وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت

عوامل انسانی و وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت			
عوامل انسانی		عوامل وسیله نقلیه	
خستگی و خواب آلودگی	آگبنکیز و همکاران (۲۰۱۳) مرکز تحقیقات ولوو (۲۰۱۳) کومار و اومادوی (۲۰۱۱) خادمی (۱۳۹۲) خیرآبادی و بوالهری (۱۳۹۱) باقری و همکاران (۱۳۹۰) امینی (۱۳۹۰) باقری و شیخ الاسلامی (۱۳۹۰) مینامی و مدنیک (۲۰۱۰) رمضان‌زاده لسبویی و همکاران (۱۳۸۸) پاک‌گوهر و همکاران (۱۳۸۸) سلمانی و همکاران (۱۳۸۷)	نقص سیستم روشنایی	آگبنکیز و همکاران (۲۰۱۳) مرکز تحقیقات ولوو (۲۰۱۳) کومار و اومادوی (۲۰۱۱) خادمی (۱۳۹۲) باقری و همکاران (۱۳۹۰) امینی (۱۳۹۰) باقری و شیخ الاسلامی (۱۳۹۰) مینامی و مدنیک (۲۰۱۰) رمضان‌زاده لسبویی و همکاران (۱۳۸۸) پاک‌گوهر و همکاران (۱۳۸۸) سلمانی و همکاران (۱۳۸۷)
نقص عضو مؤثر		نقص سیستم ترمز	
بی توجهی به مقررات		نقص سیستم فرمان	
عجله و شتاب بی مورد		صاف بودن لاستیک	
عدم تشخیص سهم عبور عابرین		فقدان زنجیر چرخ	
عدم آشنایی با مسیر		فقدان برف پاک‌کن	
ضعف ناشی از کهولت سن			
مهار مکردن محموله به طرز صحیح			

صورت بندی مدل

نمودارهای علّی، ابزاری مهم برای نشان دادن روابط میان متغیرها (آذر و همکاران، ۱۳۸۹) به منظور مدلسازی رفتارهای پویای سیستم می‌باشد (رمضانیان و همکاران، ۱۳۹٤). از ویژگی‌های بارز این نمودارها، سادگی و فهم پذیری آنها است. در مرحله مفهوم‌سازی سیستم مطابق با جدول ۳ متغیرهای مدل عوامل انسانی مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت مشخص گردید. در این مرحله روابط علّی میان این متغیرها بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی پژوهش ترسیم شده و با استفاده از نظرات خبرگان و ارائه پیشنهادات، پس رفع نقص‌ها به تأئید رسیده است. شکل ۳ روابط علّت و معلولی میان عوامل انسانی و عوامل وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت را نشان می‌دهد.



شکل ۳. روابط علّت و معلولی میان عوامل انسانی و عوامل وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت

مطابق با مدل علّی پژوهش (شکل ۳) در میان عوامل انسانی و وسیله نقلیه تمامی شاخص‌ها دارای رابطه علّی مثبت یا مستقیم با تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت می‌باشند. نتیجتاً، افزایش یا کاهش هر یک از عوامل میزان تصادفات ترافیکی به نسبت افزایش یا کاهش می‌یابد.

مدلسازی پویایی‌های سیستم (سیستم داینامیک)

در این گام از پژوهش نمودار علّت و معلولی به منظور هرچه نزدیک‌تر شدن به روابط ریاضی حاکم میان متغیرها با تعریف متغیرهای سطح و نرخ به دیاگرام موجودی - جریان تبدیل می‌شود تا بدین ترتیب علاوه بر محسابات عددی و ریاضی، درک بهتری از مدل حاصل شود. جدول ٤ لیستی از نوع و علامت اختصاری متغیرهای مدل داینامیک موجودی-جریان را بر اساس عوامل انسانی مؤثر بر تصادفات ترافیکی نشان می‌دهد.

جدول ٤. نوع و علامت اختصاری متغیرهای مدل داینامیک موجودی-جریان

عوامل انسانی مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت					
عوامل انسانی	نوع متغیر	علامت اختصاری	عوامل انسانی	نوع متغیر	علامت اختصاری
خستگی و خواب آلودگی	موجودی	T	عدم تشخیص سهم عبور عابرین	موجودی	PA
	جریان	T-in		جریان	PA-in
	ثابت	T-rate		ثابت	PA-rate
نقص عضو مؤثر	موجودی	D	عدم آشنایی با مسیر	موجودی	R
	جریان	D-in		جریان	R-in
	ثابت	D-rate		ثابت	R-rate
بی توجهی به مقررات	موجودی	NR	ضعف ناشی از کهولت سن	موجودی	WA
	جریان	NR-in		جریان	WA-in
	ثابت	NR-rate		ثابت	WA-rate
عجله و شتاب بی‌مورد	موجودی	H	مهار نکردن محموله به طرز صحیح	موجودی	C
	جریان	H-in		جریان	C-in
	ثابت	H-rate		ثابت	C-rate
عوامل وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت					
عوامل وسیله نقلیه	**نوع متغیر**	**علامت اختصاری**	**عوامل وسیله نقلیه**	**نوع متغیر**	**علامت اختصاری**
نقص سیستم روشنایی	موجودی	L	صاف بودن لاستیک	موجودی	TI
	جریان	L-in		جریان	TI-in
	ثابت	L-rate		ثابت	TI-rate
نقص سیستم ترمز	موجودی	B	فقدان زنجیر چرخ	موجودی	SC
	جریان	B-in		جریان	SC-in
	ثابت	B-rate		ثابت	SC-rate
نقص سیستم فرمان	موجودی	W	فقدان برف پاک‌کن	موجودی	WW
	جریان	W-in		جریان	WW-in
	ثابت	W-rate		ثابت	WW-rate

هدف مسئله	نوع متغیر	علامت اختصاری
کل تصادفات ترافیکی منجر به جرح و وفت به دلیل عوامل انسانی	موجودی	Killed & Injured-HF
	جریان	K&I-HF-in
	جریان	K&I-HF-out
کل تصادفات ترافیکی منجر به جرح و وفت به دلیل عوامل وسیله نقلیه	موجودی	Killed & Injured-VF
	جریان	K&I HF-VF-in
	جریان	K&I HF-VF-out

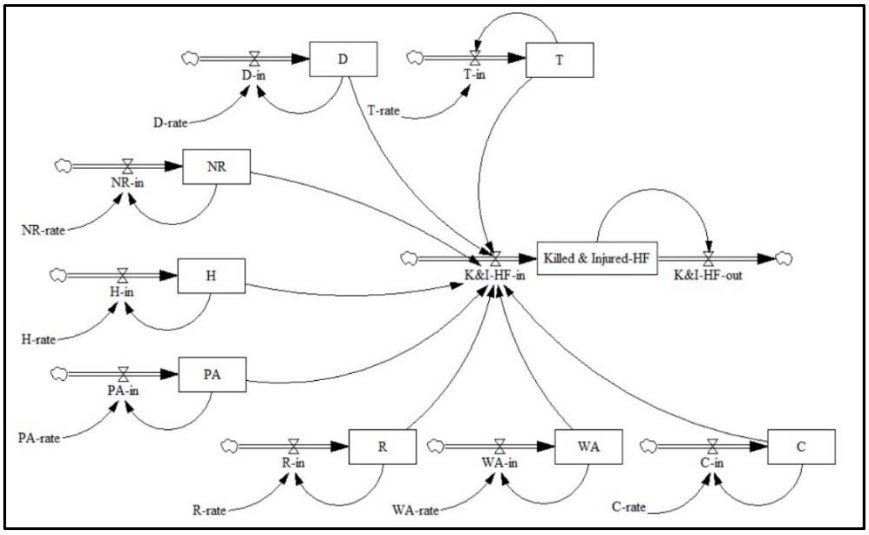
همانطور که در جدول ٤ مشـــاهده می‌شـــود هر یک از عوامل انسـانی و وسـیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت در مدل داینامیک موجودی–جریان دارای سه متغیر می‌باشد. به منظور مشـــاهده افزایش یا کاهش تعداد تصـــادفات در هر گام زمانی برای هر یک از عوامل یک متغیر موجودی یا حالت در نظر گرفته می‌شـــود تا بتوان پس از اجرای مدل رفتار هر یک از عوامل را به صـــورت جداگانه مورد بررســی قرار داد. همچنین هر یک از عوامل یک متغیر ثابت به خود اختصـــاص می‌دهند که در حقیقت یک عدد ثابت می‌باشـــد. چنانچه این عدد مثبت باشـــد به معنی آن است که ضریب فزاینده بوده و تعداد تصادفات به دلیل عامل مورد نظر در گام‌های زمانی پیش رو افزایش می‌یابد. اما چنانچه ضریب منفی باشـــد به معنی آن اســـت که ضـــریب کاهنده بوده و میزان تصادفات درگام‌های زمانی پیش رو کاهش می‌یابد. جریان ورودی هر یک از عوامل انسـانی و وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی در هر گام زمانی مطابق با رابطه ۳ از حاصـلضرب متغیر موجودی در متغیر ثابت هر یک از عوامل بدسـت می‌آید. این حاصـلضرب مقدار خالصی که باید به متغیر موجودی اضافه و یا از آن کم شود را نشان می‌دهد.

متغیر موجودی عامل مورد نظر X ضریب فزاینده یا کاهنده عامل مورد نظر = جریان ورودی هریک از عوامل (۳)

لازم به ذکر اسـت متغیر موجودی Killed & Injured-HF و Killed & Injured-VF بـه عنوان هـدف مـدل شـــناخته می‌شـوند که به ترتیب نشـان دهنده میزان کل تصـادفات ترافیکی بـه دلیل عوامل انســـانی و عوامل وســـیله نقلیه در هر گام زمانی می‌باشد. جریان ورودی این دو متغیر تعداد کل تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت به دلیل عوامل انسـانی و عوامل وسیله نقلیه را در هر گام زمانی نشـــان می‌دهد و مطابق با فرمول ٤ از مجموع متغیرهای موجودی هر یک از عوامل بدست می‌آید.

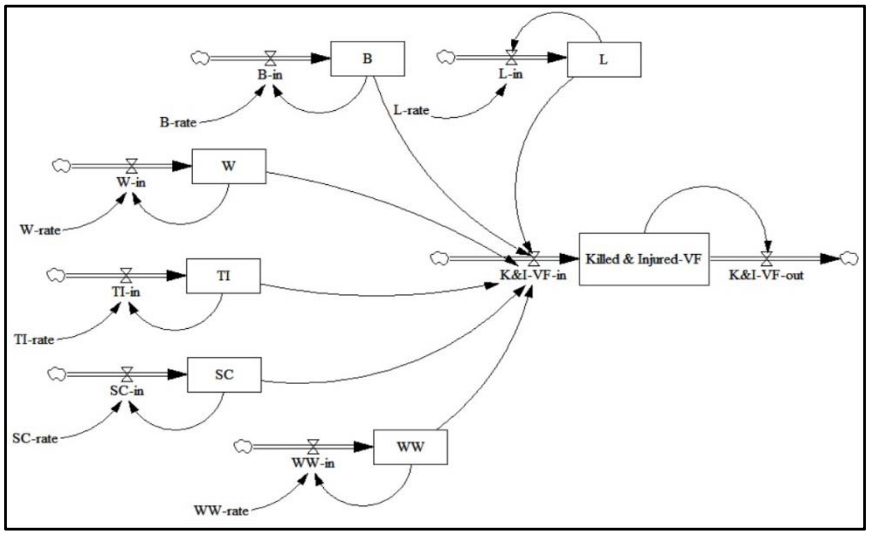
$$K\&I\text{-}HF\text{-}in = T + D + NR + H + PA + R + WA + C$$
$$K\&I\text{-}VF\text{-}in = L + B + W + TI + SC + WW \quad (٤)$$

بـرای آن کـه مـتغیر موجودی Killed & Injured-HF تنها حالت تجمعی نداشـته باشند و بتوانند میزان کل تصادفات را در هرگـام زمـانی نشـــان دهـد جریان خروجی K&I-HF-out بـا مـتغیر موجودی Killed & Injured-HF برابر قرار داده می‌شـود تا در گام‌های زمانی بعدی پس از کسـر جریان خروجی از جریان ورودی میزان افزایش یا کاهش کل تصـــادفات ترافیکی به دلیل عوامل انســـانی قابل محاســـبه باشـــد. شـــکل ٤ دیاگرام موجودی–جریان عوامل انسـانی مؤثر بر تصـادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت ترسیم شده در نرم‌افزار ونسیم را نشان می‌دهد.



همچنین برای آن که متغیر موجودی Killed & Injured-VF تنها حالت تجمعی نداشته باشند و بتوانند میزان کل تصادفات را در هرگام زمانی نشان دهد جریان خروجی K&I-VF-out با متغیر موجودیKilled & Injured-VF برابر قرار داده می‌شود.

شکل ۵ دیاگرام موجودی-جریان عوامل وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت ترسیم شده در نرم‌افزار ونسیم را نشان می‌دهد.



شکل۵. دیاگرام موجودی-جریان عوامل انسانی مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت

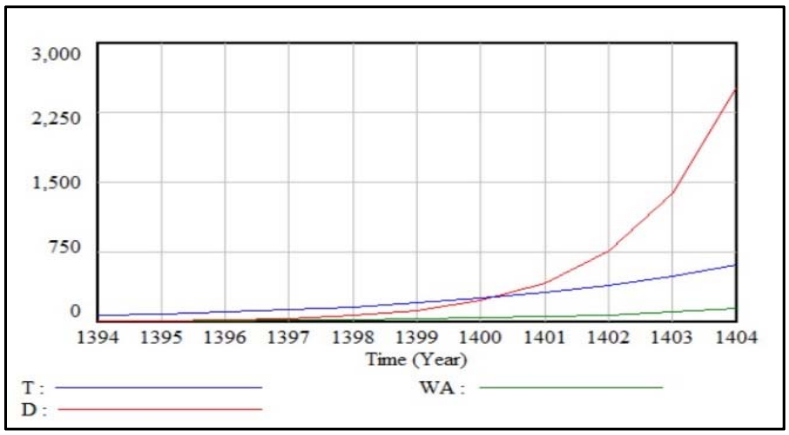
شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل

به منظور استفاده کاربردی از مدلسازی بر مبنای پویایی‌های سیستم،پی از طراحی اولیه مدل بایستی تعیین اعتبار گردد (لی و چانگ، ۲۰۱۲). به منظور بررسی صحت و تعیین اعتبار مدل آزمون‌های گوناگونی وجود دارد، از جمله این آزمون‌ها می‌توان به آزمون تولید مجدد رفتار سیستم اشاره کرد (رمضانیان و همکاران، ۱۳۹٤) که بر اساس اطلاعات تاریخی گذشته سیستم به کار می‌رود (استرمن، ۲۰۰۱). برای انجام این مهم آمار تصادفات‌ترافیکی منجر به جرح و فوت به دلیل عوامل انسانی در شهر تهران از اداره پلیس راهنمایی و رانندگی تهران بزرگ واحد تصادفات استعلام گردیده و مورد مطالعه قرار داده شده است. از داده‌های سال ۱۳۹٤ به عنوان ورودی‌های اولیه مدل استفاده می‌شود. پس از اجرای مدل، نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی با داده‌های واقعی در سال ۱۳۹۵ مطابق با جدول ۵ مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

در این پژوهش به منظور نشان دادن نزدیکی نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های واقعی از ضریب تعیین استفاده شده است. برای محاسبه ضریب تعیین (R^2) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ضریب همبستگی این دو مجموعه از داده‌ها به وسیله آزمون اسپیرمن ۰/۹۹۹ محاسبه شده و بر همین اساس مقدار ضریب تعیین ۰/۹۹۸ محاسبه می‌شود. این شاخص نشان می‌دهد مدل در بازتولید داده‌ها موفق بوده و اعتبار مدل به تائید می‌رسد.

جدول ۵. مقایسه داده‌های واقعی اداره پلیس راهنمایی رانندگی تهران بزرگ با داده‌های حاصل از شبیه‌سازی

شاخص	داده‌های واقعی ۱۳۹٤	داده‌های واقعی۱۳۹۵	نتایج شبیه‌سازی۱۳۹۵
خستگی و خواب آلودگی	٦٥	۸۱	۸۱/۲۵
نقص عضو مؤثر	٦	۱۱	۱۰/۹۸
بی توجهی به مقررات	۸۸۷	۸۳۲	۸۳۳/۷۸
عجله و شتاب بی مورد	۱۵۷۳۳	۱۵۰۵۵	۱۵۱۰۳/۷
عدم تشخیص سهم عبور عابرین	۲۱۰	۱٤۸	۱٤۹/۱
عدم آشنایی با مسیر	٤۸	٤۳	٤۳/۲
ضعف ناشی از کهولت سن	۵	۷	۷
مهار مکردن محموله به طرز صحیح	۱۸	۱۷	۱٦/۹۲
مجموع تصادفات به دلیل عوامل انسانی	۱٦۹۷۲	۱٦۱۹٤	۱٦۲٤۵/۹۳
نقص سیستم روشنایی	۱۹	۵۵	۵٤/۸
نقص سیستم ترمز	۱۷	۲۰	۲۰/۵
نقص سیستم فرمان	۵	۲	۲/۲
صاف بودن لاستیک	۳	٤	۳/۸
فقدان زنجیر چرخ	۱۰	۸	۷/۸۳
فقدان برف پاک‌کن	۲۰	۱۲	۱۲/٤۲
مجموع تصادفات به دلیل عوامل وسیله نقلیه	۷٤	۱۰۱	۱۰۰/۸۹۲

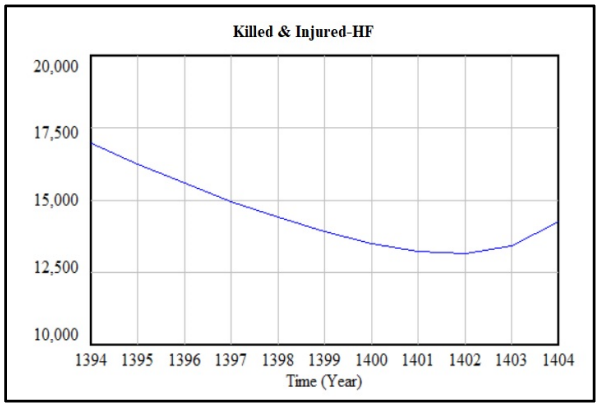


شکل ٦. نتایج شبیه‌سازی مدل از سال ۱۳۹٤ تا سال ۱٤۰٤ برای عوامل انسانی با روند صعودی

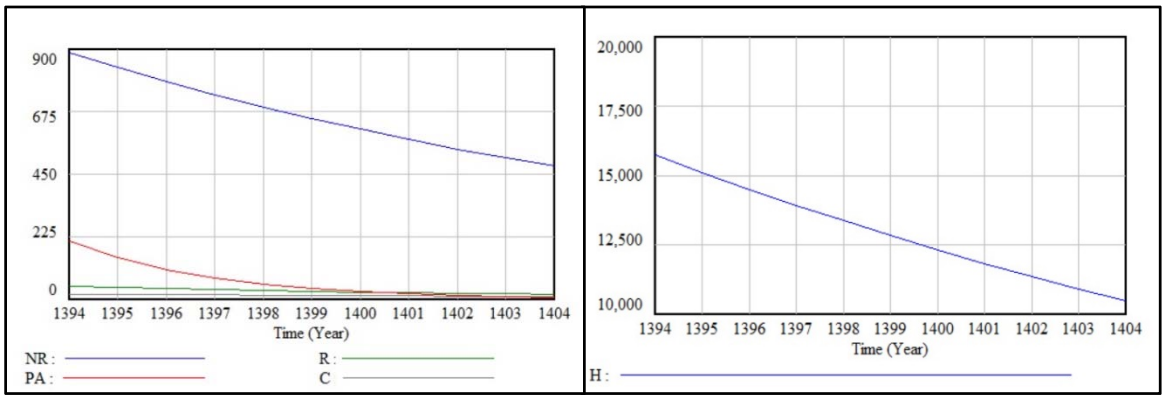
تحلیل سیاست‌ها

در بیشتر موارد هدف از مدلسازی پویایی‌های سیستم تحلیل اثرگذاری سیاست‌های مختلف بر رفتار سیستم و عوامل تشکیل دهنده آن می‌باشد تا با استفاده از آن بتوان سیاست‌های مناسبی را که منجر به بهبود رفتار سیستم می‌شود شناسایی نمود (رمضانیان و همکاران، ۱۳۹٤). به همین منظور مدل در بازه زمانی ده سال بین سال‌های ۱۳۹٤ تا ۱٤۰٤ با استفاده از داده‌های تحلیل شده مربوط به تصادفات ترافیکی شهر تهران اجرا می‌شود. در این مرحله فرض بر این است که سیاست‌های فعلی تغییری نکنند تا بتوان با

استفاده از مشاهده رفتار سیستم در ده سال آینده علاوه بر تحلیل اثر سیاست‌های موجود اقدامات لازم را در جهت بهبود رفتار سیستم پیش‌بینی نمود. بر اساس نتایج بدست آمده پس از اجرای مدل، در میان عوامل انسانی مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت خستگی و خواب آلودگی، نقص عضو مؤثر و ضعف ناشی از کهولت سن مطابق با شکل ٦ به عنوان آن دسته از عوامل انسانی هستند که با حفظ سیاست‌های موجود تا سال ۱۴۰۴روندی صعودی در افزایش تصادفات ترافیکی خواهند داشت. همانطور که شکل ٦ نشان می‌دهد از میان عوامل مذکور نقص عضو مؤثر دارای بیشترین رشد می‌باشد. تعداد تصادفات ترافیکی به دلیل این عامل در سال ۱۴۰۴ با رشدی به میزان ۲۵۲۱ واحد به ۲۵۲۷ مورد خواهد رسید. خستگی و خواب آلودگی با تعداد ٦۰۵ تصادف و رشد ۵۴۰ واحدی و ضعف ناشی از کهولت سن با تعداد ۱۴۵ تصادف و رشد ۱۴۰ واحدی به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند. در چراجویی رفتار مشاهده شده به وسیله خبرگان مشخص شد هر سه عامل مذکور تا حد قابل توجهی خارج از کنترل قوانین و مقررات راهنمایی و رانندگی می‌باشند. این بدان معنی است که قوانین و اقدامات مشخصی برای جلوگیری از تصادفات ترافیکی به دلیل این عوامل تدوین و اجرا نشده است. از سوی دیگر برخی از این عوامل غیرقابل قانون‌گذاری می‌باشند به طور مثال امکان تدوین قانون در رابطه با رانندگی در حالت خستگی و خواب آلودگی وجود ندارد. نتیجتاً برای مقابله با افزایش این عوامل بیشترین تمرکز باید بر روی برنامه‌های فرهنگی و آموزشی باشد. نتایج حاصل از نقص عضو مؤثر نشان می‌دهد که این عامل بیش از بیش نیازمند توجه و بررسی می‌باشد. اقداماتی مانند انجام معاینات تکمیلی به هنگام صدور گواهینامه در جهت تائید مهارت‌های شخصی که دارای نقص عضو می‌باشد، بهبود مسائل فنی خودرو متناسب با افرادی که دارای معلولیت هستند، ایجاد مسیرهای ویژه و یا راه‌اندازی امکانات شهری خاص برای معلولان از جمله سیاست‌هایی می‌باشد که می‌تواند رفتار این عامل را در این سیستم بهبود بخشد و منجر به کاهش تعداد تصادفات ترافیکی به دلیل این عامل شود. همانطور که بیان شده است در رابطه با خستگی و خواب آلودگی امکان تدوین و اعمال قوانین راهنمایی و رانندگی وجود ندارد اما می‌توان با افزایش برنامه‌های آموزشی و فرهنگی در جهت فرهنگ‌سازی ترافیکی رفتار این شاخص از سیستم را در آینده بهبود بخشید. از جمله فعالیت‌هایی که در سال‌های اخیر برای کاهش تصادفات به دلیل این عامل انجام شده است می‌توان به ساخت پیام‌های تبلیغاتی، و کلاس‌های آموزشی برای نوجوانان تحت عنوان همیاران پلیس اشاره نمود. بعلاوه، از آنجایی که برای کاهش تصادفات ترافیکی به دلیل ضعف ناشی از کهولت سن قوانین و جریمه‌های مشخصی در نظر گرفته نشده است لغو مجوز رانندگی برای افراد با سن بالا، در نظر گرفتن مرزهای سنی مشخصی به منظور آزمون مجدد رانندگی، ابطلال گواهینامه برای افراد با سنین بالا که امکان استفاده از وسیله نقیله را ندارد و تدوین جریمه‌های سختگیرانه برای ناقضین این قوانین از جمله سیاست‌هایی است که می‌تواند منجر به بهبود رفتار این شاخص و کاهش تعداد تصادفات به دلیل کهولت سن شود. نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد چنانچه بتوان ضریب شاخص کهولت سن را با استفاده از سیاست‌های کاهنده ۵۰٪ کاهش داد میزان تصادفات در سال ۱۴۰۴ به دلیل این عامل بین ۷۰٪ الی ۸۰٪ کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی مدل مطابق با شکل ۷ بر اساس داده‌های مربوط به تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت شهر تهران بی‌توجهی به مقررات، عجله و شتاب بی‌مورد، عدم تشخیص سهم عبور عابرین، عدم آشنایی با مسیر و مهار نکردن محموله به طرز صحیح تا سال ۱۴۰۴ دارای روندی کاهشی می‌باشند.



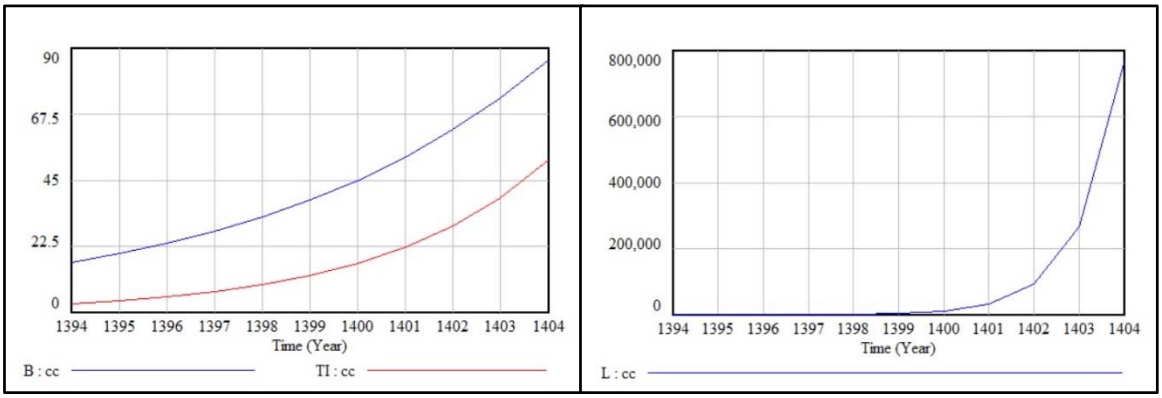
شکل ۷. نتایج شبیه‌سازی از سال ۱۳۹٤ تا سال ۱٤۰٤ برای عوامل انسانی با روند نزولی



شکل ۸. نتیجه شبیه‌سازی مدل از سال ۱۳۹٤ تا سال ۱٤۰٤ برای مجموع تصادفات ترافیکی به دلیل عوامل انسانی

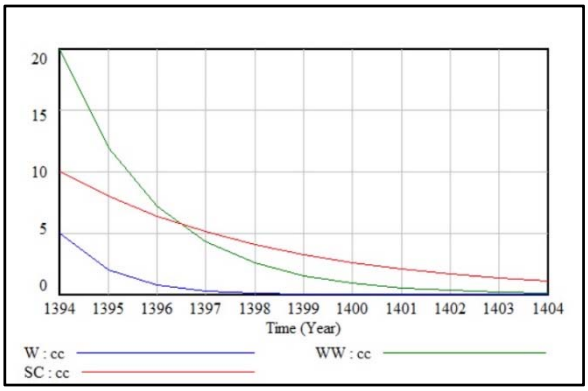
مطابق با شکل ۷ اگرچه عجله و شتاب بی‌مورد دارای بیشترین کاهش به میزان ۵۲۷۳ واحد می‌باشد اما با تعداد ۱۰٤٦۰ مورد تصادفات ترافیکی به دلیل عجله و شتاب بی مورد در سال ۱٤۰٤ بیشترین میزان تصادفات را همانند سال ۱۳۹٤ به خود اختصاص می‌دهد. همچنین، سایر عوامل انسانی که عبارتند از: بی‌توجهی به مقررات، عدم تشخیص سهم عبور عابرین، عدم آشنایی با مسیر و مهار نکردن محموله به طرز صحیح به ترتیب با ٤۰۹، ۲۰۳، ۳۱ و ۸ واحد کاهش در رتبه‌های بعدی کاهش تعداد تصادفات ترافیکی تا سال ۱٤۰٤ قرار می‌گیرند و رفتار کاهشی (نزولی) از خود نشان می‌دهند که در این میان همچنان مشابه سال ۱۳۹٤ بی‌توجهی به مقررات با ٤۷۷ مورد تصادف در سال ۱٤۰٤ بیشترین تعداد تصادفات را پس از عجله و شتاب بی‌مورد به خود اختصاص می‌دهد. در تحلیل رفتار حاصل از شبیه‌سازی عوامل انسانی مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت با روند کاهشی (نزولی) به وسیله کارشناسان اعمال قوانین و مقررات سختگیرانه در چندین سال اخیر، افزایش جریمه‌های رانندگی و کنترل الکترونیکی مسیرها با استفاده از دوربین در شهر تهران به عنوان مهمترین سیاست‌های کنترلی معرفی شده است. همچنین، تشدید برخورد با متخلفین برای بهبود رفتار این عوامل توسط کارشناسان همواره توصیه می‌شود. به طور کلی نتیجه شبیه‌سازی

مدل بین سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۴ برای مجموع تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت به دلیل عوامل انسانی در شهر تهران مطابق با شکل ۸ نشان می‌دهد تعداد تصادفات از روندی کاهشی برخوردار می‌باشد. این بدان معنی است که سایست‌های موجود در کنترل تصادفات ترافیکی به خصوص در مواردی که امکان قانون‌گذاری و اعمال قانون وجود دارد تا حد مطلوبی موفق بوده و میزان کاهش تصادفات ترافیکی در مقایسه با افزایش آن به وسیله عوامل افزاینده بیشتر است. مطابق با شکل ۸ از سال ۱۴۰۲ روند تعداد تصادفات با شیب کمی به صورت صعودی تغییر می‌کند. دلیل اصلی این رفتار این است که برخی از عوامل به دلیل روند کاهشی پس از گذشت زمان تعداد تصادفات مربوط به آن‌ها بسیار کم می‌شود اما در مقابل عوامل روبه رشد نه تنها به روند صعودی خود ادامه می‌دهند بلکه منجر به صعودی شدن تعداد کل تصادفات ترافیکی می‌شوند. به همین دلیل خبرگان و کارشناسان بر این موضوع تاکید دارند که مراجع تصمیم‌گیرنده و برنامه‌ریز بایستی تمرکز بیشتری را بر روی عواملی که منجر به افزایش تعداد تصادفات ترافیکی می‌شود داشته باشند چراکه نه تنها نتایج مطالعات بلکه نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد عدم توجه به عوامل افزاینده ممکن است در کوتاه مدت باعث بهبود رفتار سیستم و کاهش تعداد تصادفات شود اما دربلند مدت باعث افزایش تعداد تصادفات ترافیکی به دلیل عوامل انسانی می‌شود. در ادامه، پس از اجرای مدل پویای عوامل وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت مطابق با شکل ۹ مشخص گردید در میان عوامل شناسایی شده نقص سیستم روشنایی، نقص سیستم ترمز و صاف بودن لاستیک از جمله عواملی هستند که با حفظ سیاست‌های موجود تا سال ۱۴۰۴ روندی صعودی در افزایش تصادفات ترافیکی خواهند داشت.



شکل ۹. نتایج شبیه‌سازی از سال ۱۳۹۴ تا سال ۱۴۰۴ برای عوامل وسیله نقلیه با روند صعودی

مطابق با شکل ۹، در میان عوامل صعودی بیشترین رشد مربوط به عامل نقص سیستم روشنایی می‌باشد؛ نقص سیستم ترمز و صاف بودن لاستیک در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرد. در بررسی نتیج بدست آمده مشخص گردید رتبه‌بندی دو عامل نقص سیستم ترمز و صاف بودن لاستیک مطابق با داده‌های واقعی بوده و این رشد بیشتر به این دلیل می‌باشد که این عوامل معمولا از دید رانندگان مخفی بوده و به صورت ناگهانی رخ می‌دهند. البته وضع قوانین سختگیرانه در خصوص انجام معاینه فنی باعث شده است تا این عوامل با شیب ملایمی افزایش یابند. اگرچه این مطلب در خصوص عامل نقص سیستم روشنایی از نظر شیب صعودی صدق نمیکند چراکه ضریب تعیین شده بزرگتر از یک بوده و این باعث می‌شود تجمع عامل مورد نظر از دوره زمانی مشخصی به صورت تصاعدی افزایش یابد. همچنین در میان عوامل شناسایی شده، مطابق با شکل ۱۰ نقص سیستم فرمان، فقدان برف پاک‌کن و فقدان زنجیر چرخ با حفظ سیاست‌های موجود تا سال ۱۴۰۴ روندی نزولی خواهند داشت.



شکل ۱۰. نتایج شبیه‌سازی از سال ۱۳۹۴ تا سال ۱۴۰۴ برای عوامل وسیله نقلیه با روند نزولی

همانطور که در شکل ۱۰ قابل مشاهده می‌باشدبا توجه به سیاست‌های در نظر گرفته شده در سال‌های اخیر همچون فرهنگ سازی، تبلیغات تلویزیونی، آگاهی از وضعیت آب و هوایی و معاینات فنی باعث شده است تا عواملی همچون استفاده از زنجیر چرخ و سیستم فرمان و برف پاک‌کن بیش از گذشته روندی کاهشی داشته باشند و میزان تصادفات در آینده با حفظ وضعیت موجود روند کاهشی خود را حفظ خواهد کرد. در نهایت شبیه‌سازی مدل بین سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۴ برای مجموع تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت به دلیل عوامل وسیله نقلیه در شهر تهران نشان می‌دهد تعداد تصادفات از روندی صعودی برخوردار می‌باشد. البته این بدان معنی نمی‌باشند که سیاست‌های موجود موفق عمل نکرده‌اند. دلیل این افزایش و روند صعودی اختلاف بیش از حد رشد عوامل صعودی و کاهش عوامل نزولی می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارائه مدلی پویا از عوامل انسانی مؤثر بر تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت با رویکرد پویایی‌های سیستم و با استفاده از نرم‌افزارهای ونسیم برای طراحی مدل و SPSS برای سنجش اعتبار مدل انجام شده است. طی این پژوهش با استفاده از آزمون تولید مجدد رفتار سیستم مشخص گردید مدل از اعتبار خوبی برخوردار می‌باشد. اگرچه مینامی و مدنیک (۲۰۱۰) در پژوهشی مدلی داینامیک را برای ارزیابی ایمنی راه‌ها و تصادفات به دلیل عوامل انسانی طراحی نموده‌اند اما شاخص‌های مدل بر اساس عوامل انسانی نیروهای نظامی و تصادفات در شرایط جنگی تحقیق شده است. این درحالی است که پژوهش حاضر تنها در شاخص‌های مانند خستگی، خواب آلودگی، عجله و شتاب (استرس) با آن همسو می‌باشد. از دیگر پژوهش‌های انجام شده در ایران همچون توکلی و خانجانی (۱۳۹۵)، باقری و همکاران (۱۳۹۳)، خادمی (۱۳۹۲)، خیرآبادی و بوالهری (۱۳۹۱)، باقری خلیلی و شیخ الاسلامی (۱۳۹۰)، امینی (۱۳۹۰)، رمضان زاده لسبویی و همکاران (۱۳۸۸)، پاک‌گوهر و همکاران (۱۳۸۸)، سلمانی و همکاران (۱۳۸۷) تنها به بررسی عوامل مؤثر بر تصادفات ترافیکی و طبقه‌بندی این عوامل پرداخته‌اند. این درحالی است که با توجه به اهمیت عوامل انسانی و عوامل وسیله نقلیه مؤثر بر تصادفات ترافیکی در این پژوهش سعی بر آن بوده علاوه بر شناسایی این عوامل با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مطالعات میدانی به وسیله مصاحبه باز با خبرگان مدلی پویا از این عوامل ارائه شود تا بتوان با پیش‌بینی رفتار سیستم در آینده سیاست‌های مناسبی را به منظور بهبود رفتار هر یک از این عوامل اتخاذ نمود.

در اولین گام از این پژوهش در مرحله مفهوم‌سازی با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه باز با ۱۵ نفر از خبرگان مشخص گردید مهمترین عوامل انسانی مؤثر بر تصادفات ترافیکی

منجر به جرح و فوت عبارتند از خستگی و خواب آلودگی، نقص عضو مؤثر، بی‌توجهی به مقررات، عجله و شتاب بی‌مورد، عدم تشخیص سهم عبور عابرین، عدم آشنایی با مسیر، ضعف ناشی از کهولت سن و مهار نکردن محموله به طرز صحیح و مهمترین عوامل وسیله نقلیه عبارتند از نقص سیستم روشنایی، نقص سیستم ترمز، نقص سیستم فرمان، فقدان زنجیر چرخ، فقدان برف پاک‌کن و صاف بودن لاستیک. از دیگر یافته‌های این پژوهش، بررسی رابطه علّی عوامل شناسایی شده با تصادفات ترافیکی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهدتمامی عوامل انسانی و وسیله نقلیه دارای رابطه مثبت با تصادفات ترافیکی می‌باشند. این بدان معنی است که افزایش یا کاهش تعداد تصادفات بر اثر هر یک از این عوامل منجر به افزایش یا کاهش تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت می‌شود. نتایج بدست آمده این پژوهش درباره روابط علّی عوامل انسانی و وسیله نقلیه با تصادفات ترافیکی با نتایج بدست آمده در پژوهش کومار و اومادوی (۲۰۱۱) همراستا می‌باشد. در آخرین مرحله از پژوهش برای مدلسازی عوامل شناسایی شده دیاگرام موجودی-جریان عوامل انسانی و عوامل وسیله نقلیه ترسیم شده و با استفاده از داده‌های مربوط به تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت سال‌های ۱۳۹٤ و ۱۳۹۵ اداره پلیس راهنمایی و رانندگی تهران بزرگ اعتبار مدل سنجیده شده است. جهت سنجش اعتبار مدل از شاخص ضریب تعیین استفاده شده است که مقدار آن برابر با ۰/۹۹۸ می‌باشد. پس از اجرای مدل پویای عوامل انسانی در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۹٤ تا ۱٤۰٤ مشخص گردید نقص عضو مؤثر، خستگی و خواب آلودگی و ضعف ناشی از کهولت سن دارای روندی صعودی بوده و به ترتیب دارای بیشترین میزان افزایش در تعداد تصادفات ترافیکی به دلیل عوامل انسانی می‌باشند. در چراجویی این رفتار مشخص گردید نبود قوانین مشخص در کنترل این عوامل و گاها عدم امکان قانون گذاری برای این عوامل از علل اصلی بروز این رفتار می‌باشد. انجام اقداماتی مانند معاینات تکمیلی به هنگام صدور گواهینامه در جهت تائید مهارت‌های شخصی که دارای نقص عضو می‌باشد، بهبود مسائل فنی خودرو متناسب با افرادی که دارای معلولیت هستند، ایجاد مسیرهای ویژه و یا راه‌اندازی امکانات شهری خاص برای معلولان از جمله سیاست‌هایی می‌باشد که می‌تواند رفتار شاخص نقص عضو مؤثر را در آینده بهبود بخشد و منجر به کاهش تعداد تصادفات ترافیکی به دلیل این عامل شود. همچنین، برنامه‌های آموزشی و فرهنگی مانند ساخت پیام‌های تبلیغاتی و کلاس‌های آموزشی برای نوجوانان می‌تواند برای بهبود رفتار شاخص خستگی و خواب آلودگی مؤثر باشد. به منظور کاهش تصادفات ترافیکی به دلیل ضعف ناشی از کهولت سن لغو مجوز رانندگی برای افرادی با سن بالا، در نظر گرفتن مرزهای سنی مشخصی به منظور آزمون مجدد رانندگی، تدوین جریمه‌های سختگیرانه برای ناقضین این قوانین و ابطلال گواهینامه برای افراد با سنین بالا از جمله سیاست‌هایی است که می‌تواند منجر به بهبود رفتار این شاخص در آینده شود. همچنین مشخص گردید عجله و شتاب بی‌مورد، بی‌توجهی به مقررات، عدم تشخیص سهم عبور عابرین، عدم آشنایی با مسیر، ضعف و مهار نکردن محموله به طرز صحیح دارای روندی نزولی بوده و به ترتیب از بیشترین میزان کاهش در تعداد تصادفات ترافیکی به دلیل عوامل انسانی برخوردار می‌باشند که نشان‌دهنده آن است سیاست‌های فعلی تا حد قابل قبولی در کنترل تصادفات ترافیکی موفق می‌باشد. در تحلیل رفتار کاهشی این عوامل به وسیله کارشناسان اعمال قوانین و مقررات سختگیرانه در چندین سال اخیر، افزایش جریمه‌های رانندگی و کنترل الکترونیکی مسیرها با استفاده از دوربین در شهر تهران به عنوان مهمترین سیاست‌های اتخاذ شده تعیین می‌گردد و تشدید برخورد با متخلفین برای بهبود رفتار این عوامل همواره توصیه می‌شود. نتیجه شبیه‌سازی برای مجموع تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت نشان می‌دهد تعداد تصادفات ترافیکی به دلیل عوامل انسانی از روندی کاهشی برخوردار می‌باشد. این بدان معنی است که سایست‌های موجود در کنترل تصادفات ترافیکی در مواردی که امکان قانون‌گذاری و اعمال قانون وجود دارد تا حد مطلوبی موفق بوده است. همچنین، پس از اجرای مدل پویای عوامل وسیله نقلیه مشخص گردید، بیشترین رشد مربوط به عامل نقص سیستم روشنایی بوده و نقص سیستم ترمز و صاف بودن لاستیک در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرد. از جمله دلایلی که برای تصادفات به دلیل عوامل مذکور بیان شده است این است که این عوامل معمولا از دید رانندگان مخفی بوده و به صورت ناگهانی رخ می‌دهند به منظور ارائه راهکاری برای کاهش و کنترل این روند صعودی وضع قوانین سختگیرانه در خصوص انجام معاینه به وسیه کارشناسان راهنمایی

و رانندگی توصیه می‌گردد. همچنین در میان عوامل وسیله نقلیه شناسایی شده، نقص سیستم فرمان، فقدان برف پاک‌کن و فقدان زنجیر چرخ روندی نزولی خواهند داشت. در چراجویی به عمل آمده مهمترین دلایل کاهش و کنترل این عوامل فرهنگ سازی، تبلیغات تلویزیونی، آگاهی از وضعیت آب و هوایی و معاینات فنی دوره‌ای ذکر شده است. با توجه به محدودیت‌ها و مصاحبه‌های صورت گرفته با خبرگان برای انجام پژوهش‌های آتی می‌توان پیشنهاد نمود تا این مدل برای سایر عوامل مؤثر بر تصادفات ترافیکی مانند عوامل مربوط به وسیله نقلیه، عوامل محیطی و عوامل مربوط به راه نیز تحقیق شود. همچنین، به دلیل وجود محدودیت‌ها در کسب اطلاعات لازم در این پژوهش تاثیر عوامل بازندارنده بر مدل در نظر گرفته نشده است، به همین منظور توصیه می‌شود تا در پژوهش‌های آتی با جمع‌آوری و بررسی اطلاعات آماری عوامل بازدارنده تصادفات ترافیکی منجر به جرح و فوت به دلیل عوامل انسانی این عوامل به مدل ارائه شده اضافه گردد. بعلاوه، از آنجایی که آگاهی از نحوه اثرگذاری عوامل تشکیل دهنده یک سیستم و بررسی رابطه علّی و معلولی میان آنها درک بهتری از سیستم را ایجاد می‌نماید پیشنهاد می‌شود تا در پژوهش‌های آتی روابط علّی میان عوامل تشکیل دهنده سیستم با استفاده روش دیمتل یا دیمتل فازی مورد بررسی قرار گیرد. ارائه یک سیستم خبره فازی به منظور انتخاب بهترین سیاست‌ها با توجه به رفتار عوامل مؤثر بر تصادفات ترافیکی از دیگر پیشنهادات ارائه شده برای پژوهش‌های آتی می‌باشد. لازم به ذکر است روش پویایی‌های سیستم را می‌توان با روش‌های کیفی مانند سیستم‌های مانا تلفیق کرد تا بر کاستی‌های این روش کمی فائق آمد.

٦-مراجع

-Agbonkhese, O., Yisa, G. L., Agbonkhese, E. G., Akanbi, D. O., Aka, E. O., & Mondigha, E. B. (2013). Road traffic accidents in nigeria: causes and preventive measures. *Civil and Environmental Research*, *3*(13), 90-99.

-Amini, H. (2011). Study of some important factors of road accidents in Iran with the first place in crashes in the world. *2th National Conference on Road Accidents*, Railways and Air Crashes, Islamic Azad University, Zanjan Branch, November. [In Persian]

-Andrew, D. (2004). The world's worst traffic jams. *Time magazine*, Retrieved on 10/06/2009.

-Ayati, E., Ghadirian, F., & Ahmadi, M. (2008). "Calculating the cost of damage to the vehicle in road accidents in Iran in 2004. *Journal of Transportation Research*, 5(1), 1-13. [In Persian]

-Azar, A., Zahedi, Sh., & Amirkhani, T. (1389). A Model for Implementing Budgeting based on performance using system dynamics approach. *Iranian Journal of Management Sciences (IAMS)*, 5(18), 29-53. [In Persian]

-Bagheri, M., Nikzad, F., Divsalar, A. (2014). Investigating the Factors Affecting Urban Traffic to Control Road Accident. *3th National Conference on Road Accidents, Railways and Air Crashes*, Islamic Azad University, Zanjan Branch. [In Persian]

-Bagheri Khalili, F., & Shykhol Islami, A. (2011). An analysis of the research on the factors affecting the occurrence of accidents in the out-of-town ways. *Quarterly of Rahvar*, 8(15), 93-115. [In Persian]

-Ding, Z., Yi, G., Tam, V. W., & Huang, T. (2016). A system dynamics-based environmental performance simulation of construction waste reduction management in China. *Waste Management*, *51*, 130-141.

-Friedmann, J., & Wolff, G. (1982). World city formation: an agenda for research and action. *International Journal of Urban and Regional Research*, *6*(3), 309-344.

-Gao, W., Hong, B., Swaney, D. P., Howarth, R. W., & Guo, H. (2016). A system dynamics model for managing regional N inputs from human activities. *Ecological Modelling*, *322*, 82-91.

-Izadi, N., Najafi, F., & Hashemi Nazari, S. S., Suri, H., & Salari, A. (2014). Lost years of life due to disability from traffic accidents based on the nature of damage in Kermanshah province. *Monthly Journal of Medical University of Kermanshah*, 18(12), 701-708. [In Persian]

reduce it (Case study: Rural system of South Khore and Biabanak). *Human Geography Research*, 41(65), 87-104. [In Persian]

-Samara, E., Georgiadis, P., & Bakouros, I. (2012). The impact of innovation policies on the performance of national innovation systems: A system dynamics analysis. *Technovation, 32*(11), 624-638.

-Shafiei, M. & Hakaki, A. (2017). A Dynamic Model of Effective Factors on Open Innovation in Manufacturing Small and Medium Sized Companies. *International Journal of System Dynamics Applications* (IJSDA), 7(1).

-Shafiei Nikabadi, M., & Hakaki, A. (2017). System Dynamics Modelling with VENSIM. Tehran: *Sorayandeh.* [In Persian]

-Shepherd, S. P. (2014). A review of system dynamics models applied in transportation. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, *2*(2), 83-105.

-Sterman, J. D. (2001). System dynamics modeling: tools for learning in a complex world. *California Management Review*, *43*(4), 8-25.

-Sterman, J. (2000). Business dynamics: *Systems thinking and modeling for a complex world*. Chicago, IL: Irwin/McGraw Hill.

-Tavakoli, L., & Khanjani, N. (2016). Pattern of Intra-city Accident with Emphasizing on Effective Factors in its Occurrence in Kerman City Between 2012-2014. *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*, 4(2), 101-108. [In Persian]

-Volvo Trucks (2013). European Accident Research and Safety Report 2013. Retrieved from http://www.volvotrucks.com

-World Health Organization. (2009). Global Status Report on Road Safety. Geneva, Switzerland.

-Yuan, H., & Wang, J. (2014). A system dynamics model for determining the waste disposal charging fee in construction. *European Journal of Operational Research*, *237*(3), 988-996.

-Zahed, F., & Rezaee, A. (2006). Estimation of the external cost of the road section of the country on the social environment (with emphasis on road accidents). *Journal of Environment Science and Technology,* 8(3), 35-42. [In Persian]

-Khademi, F. (2013). Study of the most important factors affecting road accidents. *7th National Civil Engineering Congress, Engineering Faculty of Martyr Nikbakht,* Zahedan, 8-9 May. [In Persian]

-Khyri, GH., & Bolhari, J. (2012). The role of human factors in road accidents. *Technology Science Research,* 10(1), 69-78. [In Persian]

-Kumar, S. N., & Umadevi, G. (2011). Application of System Dynamic Simulation Modeling in Road Safety. *Proceedings of the 3rd International Conference on Road Safety and Simulation,* Indiana Government Conference Center Indianapolis. September 2011, Indiana, EUA.

-Lee, C. F., & Chung, C. P. (2012). An inventory model for deteriorating items in a supply chain with system dynamics analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *40*, 41-51.

-Minami, N., & Madnick, S. (2010). Using systems analysis to improve traffic safety. Working Paper CISL# 2010-04", *Massachusetts Institute of Technology. Cambridge,* MA.

-National Forensic Medicine Organization. (2016). Death Report and Driving Accident Injuries Between 2009 and 2015.

-Pakgohar, A., Khalili, M., & Saffarzadeh, M. (2009). Investigating the causes and factors affecting the reduction of road accidents in Iran or using regression models LR, CRT and GLM. Quarterly of Danesh-e-Entezami, 12(1), 77-106. [In Persian]

-Ramezanian, M., Esmailpour, R., & Hadidi Masuleh, M. (2015). Provide a Support Model for implementing Enterprise Resource Planning (ERP) Projects Using System Dynamics Approach. *Information Technology Management,* 7(2), 301-324. [In Persian]

-Ramezanzadeh Lasbuie, M., Golin Sharif Dini, J., & Nushin, M. (2011). Road accidents: investigation of effective factors, reduction strategies (Case Study: Haraz road in Mazandaran province). *1th National Conference on Road Accidents,* Railways and Air Crashes, Islamic Azad University, Zanjan Branch. [In Persian]

-Salmani, M., Ramezanzadeh Lasbuie, M., Dirikvand, M., & Sabeti, F. (2008). The study of factors affecting road accidents and the ways to

A Dynamic Model of Traffic Accidents leads to Injury and Death in Tehran Caused by Human and Vehicle Factors

Mohsen Shafiei Nikabadi, Professor, Industrial Management Department, Faculty of Economics and Management, Semnan University, Semnan, Iran.

Amir Hakaki, Ph.D., Grad., Organisations, and Behaviour Department, Henley Business School, University of Reading, Reading, UK.

Email: shafiei@semnan.ac.ir

Received: May 2025- Accepted: August 2025

ABSTRACT

Iran is in the third placed of death caused by traffic accidents in the world and human factors and vehicle factors are the most important effective factors on it. This paper aims to present a dynamic model of traffic accidents leads to injury and death caused by human and vehicle factors. To study factors, the data collected by literature review and open interview by 15 experts chosen as researchers' judgment. Dynamic model is plotted by VENSIM based on system dynamics approach after determining causal relations between human factors and vehicle factors with traffic accidents. To validate the model by system behavior reproduction test, the data collected from traffic police from 2015 to 2016. Coefficient of determination between real data and simulated data determined 0.998. The model was simulated from 2016 to 2026 to analyze current and future policies. As a result, in terms of human factors accidents because of disabled people and in terms of vehicle factors light system have the greatest increase by keeping on current policies. For human factors, the greatest reduction in accidents related to unnecessary rush. Moreover, for vehicle factors, among the vehicle's drivers, the three factors of lack of wheel chains, the lack of a wiper and the failure of the steering system due to policies such as stringent laws and regulations and culture, are significantly reduced.

Keywords: Traffic Accidents, Human Factors, Vehicle Factors, System Dynamics, VENSIM