شناسایی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات راه‌های برون‌شهری و اولویت‌بندی راهکارها با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) و سیستم استنتاج فازی (FIS)

مقاله علمی – پژوهشی

امین خوشدل، دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر، کرمان ایران
نوید ندیمی*، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: navidnadimi@uk.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷– پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۵
صفحه ۱۸۴-۱۶۳

چکیده

رشد جمعیت، افزایش تقاضای سفر و در نتیجه آن افزایش استفاده از وسایل‌نقلیه موتوری موجب نگرانی در مورد ایمنی جاده‌ها در جوامع امروزی شده است. عوامل مختلفی مانند مشخصات راننده، شرایط محیطی، شرایط سطح راه و نوع وسایل‌نقلیه، بر شدت تصادفات تأثیرگذار است. در این مقاله سعی شده تا با استفاده از روش مدلسازی معادلات ساختاری و با تکیه بر داده‌های تصادفات، ابتدا پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر شدت تصادفات برون‌شهری استان کرمان دارند شناسایی شوند. سپس از نتایج بدست آمده از مدل‌سازی معادلات ساختاری، برای توسعهٔ یک سیستم استنتاج فازی به منظور اولویت‌بندی راهکارها در ارتباط با هر عامل استفاده می‌شود. طبق نتایج بدست آمده از مدل‌سازی معادلات ساختاری، عامل انسانی (با بار عاملی ۰/۴۷-) بیشترین تأثیر را در بروز تصادفات با شدت آسیب‌دیدگی بالا نسبت به سایر عوامل پنهان دیگر در مدل نشان داده است. از بین پارامترهای تبیین‌کننده عامل انسانی، متغیر بستن کمربند ایمنی (با بار عاملی ۰/۸۵) قوی‌ترین تبیین‌کننده برای این عامل بوده است. در انتها جهت تعیین اولویت اجرای راهکارهای کاهش شدت تصادفات به تفکیک عوامل انسانی، محیطی و راه، از سیستم استنتاج فازی به دلیل دقت قابل قبول آن در حل مسائلی که با عدم قطعیت مواجه هستند استفاده شده است. نتایج خروجی‌های حاصل از سیستم استنتاج فازی نشان می‌دهد که اولویت راهکارهای مرتبط به عوامل انسانی به مراتب بیشتر از راهکارهای مرتبط به عوامل راه و محیطی است. به طور کلی، نتایج این تحقیق می‌تواند به متخصصین در حوزه حمل و نقل کمک کند تا اقدامات متقابل را با هدف کاهش سطح شدت تصادف در بخش جاده‌های برون‌شهری به صورت کارآمد و بهینه اولویت‌بندی کنند.

واژه‌های کلیدی: مدل معادلات ساختاری، فازی، ایمنی، اولویت‌بندی

۱-مقدمه

افراد جامعه روزانه با سیستم‌های مختلف و متعددی مواجه می‌شوند، که در بین آنها، سیستم حمل‌ونقل یکی از پرکاربردترین موارد است. حمل‌ونقل با تمام مزایایی که به همراه دارد، معایبی نظیر رخداد تصادفات نیز دارد. سازمان بهداشت جهانی در گزارش سال ۲۰۱۸ خود، تحت عنوان عوامل اصلی مرگ و میر و معلولیت در جهان، اعلام کرده علت اصلی مرگ‌ومیر کودکان، نوجوانان و جوانان ۵ تا ۲۹ ساله حوادث جاده‌ای است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ تصادفات جاده‌ای به پنجمین عامل اصلی مرگ‌ومیر در جهان تبدیل شود. بر اساس اعلام این سازمان، در سال ۲۰۱۸

حدود ۱/۳۵ میلیون نفر در تصادفات جاده‌ای کشته و بیش از ۵۰ میلیون نفر مجروح شده‌اند. باتوجه به رشد روزافزون تعداد وسایل‌نقلیه و افزایش سرعت وسایل‌نقلیه با احداث راه‌های جدیدتر، اگر یک برنامه‌ریزی الزام‌آور جدید جهت پیشگیری از تصادفات انجام نشود تا ۲۰ سال آینده این آمار، ٦٥ درصد رشد خواهد داشت (WHO,2019). وقوع تصادفات نتیجه کنار هم قرار گرفتن مجموعه‌ای از عوامل انسانی، محیطی، راه و ... بوده و در اثر نقص در یک یا چند مورد از این عامل‌ها تصادفات به وقوع می‌پیوندند. این عوامل همواره به عنوان پارامترهای اصلی دخیل در تصادفات مطرح هستند. عامل انسانی، عامل محیطی و عامل راه خود به متغیرهای پنهان و آشکار متنوعی وابسته هستند. این مهم را می‌توان به سادگی و با رجوع به آمارهای پلیس و سایر مراجع ذی‌ربط به وضوح مشاهده کرد. مقایسه آمار تلفات تصادفات درون‌شهری و برون‌شهری ایران از سال ۹۰ تا ۹۵ نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد کل تلفات تصادفات ترافیکی، مربوط به تصادفات برون‌شهری است. همچنین تفاوت آمار تصادفات درون‌شهری و برون‌شهری در تعداد تصادفات نبوده بلکه در نوع تلفات (فوتی، جرحی و خسارتی) است (www.rmto.ir). با شناسایی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات و اصلاح این عوامل در جهت کاهش شدت تصادف، به نوعی ایمنی حمل‌و نقل افزایش یافته و هزینه‌های ناشی از تصادفات کاهش پیدا می‌کند. برای شناسایی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات، می‌توان با استفاده از یک بانک اطلاعاتی قابل اعتماد و دقیق به مدل‌سازی با استفاده از روش معادلات ساختاری پرداخت. برای تعیین اولویت اجرای راهکارها نیز می‌توان از سیستم استنتاج فازی در تصمیم‌گیری‌ها استفاده نمود. به عنوان نوآوری، در این مقاله جهت تعیین اولویت اجرای راهکارهای کاهش شدت تصادفات با دقت و کارایی بهتر، از نتایج SEM در رابطه با عوامل مؤثر بر شدت تصادفات استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا پارامترهای مؤثر در بروز تصادفات با شدت بالا به شناسایی شده و سپس با توجه به میزان تأثیر هر یک از این پارامترها بر شدت تصادفات، FIS مورد نظر جهت اولویت‌بندی اجرای راهکارها توسعه داده شده است.

پژوهش حاضر با بررسی و تحلیل اطلاعات تصادفات راه‌های برون‌شهری استان کرمان، با استفاده از SEM و FIS سعی در رسیدن به اهداف زیر دارد:

-شناسایی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات در راه‌های برون‌شهری استان کرمان،

-تعیین میزان تأثیر هر یک از عوامل بر روی شدت تصادفات،

-تعیین اولویت اجرای راهکارها در حوزهٔ هر عامل جهت کاهش شدت تصادفات.

۲-پیشینه تحقیق

۲-۱- شاخص‌های تعیین‌کننده شدت تصادفات رانندگی

محققین در منابع گذشته، تعاریف متفاوتی از شدت تصادفات رانندگی ارائه کرده و به تبع آن، از شاخص‌ها و متغیرهای متفاوتی برای توصیف آن تعاریف استفاده شده است. در حالی که هر یک از این تعاریف، مزایا و معایب خاص خود را دارند. نسبت ریسک مرگ‌ومیر به عنوان معیاری برای شدت تصادفات یک عیب عمده دارد، در این حالت محقق باید اطلاعات ناهمفزون را در قالب دسته‌های همفزون مرتبط قرار بدهد. همفزون نمودن اطلاعات تصادفات مسلماً قابلیت اطمینان و کاربری آنها را کاهش می‌دهد. مزیت عمده این روش، امکان بررسی تغییراتی است که یک عامل توصیفی می‌تواند در روند نسبت ریسک بگذارد. برخی از پژوهشگران شدت تصادف را با متغیرهایی مانند تعداد آسیب‌دیدگان و تعداد وسایل‌نقلیه درگیر، که هرکدام بخشی از شدت تصادف را توصیف می‌کنند، لحاظ کردند. در نتیجه، تعریف جدید شدت تصادف، ابعاد چندگانه‌ای خواهد یافت. به اینگونه از شاخص‌ها، شاخص چند متغیره گفته می شود. مزیت عمده دسته‌بندی دوگانه و سه‌گانه شدت تصادفات بر اساس بیشترین شدت آسیب‌دیدگی سرنشینان، فراهم آوردن امکان بررسی و مدل‌سازی تصادفات در سطح بالاتر و کلی‌تر نسبت به بررسی تک‌تک سرنشینان است (Tolouei, 2010) ; Eboli and Mazzulla, 2007.

۲-۲- نقش عوامل مختلف در شدت تصادف رانندگی

یکی از مؤثرترین مواردی که می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب در کاهش خسارات ناشی از تصادفات و افزایش ایمنی در رانندگی مورد استفاده قرار گیرد، شناسایی دقیق پارامترهای مؤثر بر تصادفات و اثرسنجی آنهاست. یک تصادف پدیده‌ای است پیچیده که از ترکیب و تداخل عوامل و متغیرهای گوناگون پدید می‌آید. تصادف، حاصل اشتباه و نقص در عملکرد یکی از سه عنصر انسان، جاده و وسیله‌نقلیه است. زمانی که حداقل یکی از این سه عامل عملکرد نادرستی ارایه دهند، هیچ اتفاق ناگواری دور از انتظار نیست (FHWA). در ادامه نقش برخی از این عوامل براساس مرور مطالعات صورت گرفته، بررسی خواهند شد. در سال ۲۰۱۵ کری و همکاران در مقاله‌ای به بررسی تصادفاتی که رانندگان جوان در آنها درگیر بوده‌اند پرداختند. آنها بررسی نمودند که زمان اخذ گواهی‌نامه و میزان تجربه رانندگی چه تأثیری بر روی رفتار رانندگان جوان می‌گذارد. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش حاکی از آن بود که، تصادفات در ماه‌های ابتدایی اخذ گواهی‌نامه برای افراد در سن ۱۷ سال، نرخ بیشتری داشته است. رانندگانی که در سن‌های بالاتر گواهی‌نامه اخذ کرده‌اند، در ماه‌های اولیه رانندگی، نرخ تصادفات کمتری را نشان داده‌اند(Curry et al., 2015). اوبنگ در سال ۲۰۱۱ در آمریکا در مطالعه‌ای تحت عنوان تفاوت جنسیت در شدت تصادفات در تقاطع‌های چراغدار، با استفاده از داده‌های هندسی، ترافیکی و تصادفات برای تقاطع‌های چراغدار تفاوت شدت تصادفات بین مردان و زنان را با بکارگیری از مدل لوجیت بررسی نمود. نتایج این پژوهش نشان داد شرایط راننده، نوع تصادف، نوع وسیله‌نقلیه و ویژگی‌های ایمنی خودرو اثرات متفاوتی بر خطر تصادفات مردان و زنان می‌گذارند (Obeng, 2011). کی بروم و همکاران به مطالعه‌ای برای بررسی تأثیر کمربند ایمنی روی سطوح مختلف آسیب در تصادفات کشور دانمارک پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که رانندگان وسایل‌نقلیه سبک که از کمربند ایمنی استفاده نمی‌کنند نسبت به رانندگان وسایل‌نقلیه سنگین بیشتر در معرض شدت آسیب قرار دارند. همچنین این تحقیق نشان داد در سرعت‌های بالا استفاده نکردن از کمربند ایمنی باعث افزایش سطح جراحت در بین رانندگان وسایل‌نقلیه سنگین و سبک می‌شود (Abay, 2013). بوسیانی و همکارانش در سال ۲۰۱٤ در دانشگاه آلاباما‌ی کانادا تأثیرات المان‌های آب‌و هوایی و بارش‌های ناگهانی برف و باران را بر انواع مختلف تصادفات بررسی نمودند. مدل چند متغیره برای هفت نوع تصادف با استفاده از آمار تصادفات و آب‌و هوای روزانه پنج سال کل شهر ادمونتون بکارگرفته شد. نتایج نشان داد برف‌های سنگین یا باران‌های بعد از یک شرایط آب‌و هوایی خشک رابطه بسیار معنی‌داری با سه علتِ تصادف ناشی ازعدم رعایت فاصله طولی، ناهنجاری تابلو ایست و خروج از جاده داشتند (El-Basyouny and Islam, 2014).

بولوف و همکاران با استفاده از دو مدل به بررسی تأثیر وضعیت روشنایی راه بر ایمنی ترافیک تقاطع‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که تقاطع‌های دارای روشنایی در مقایسه با تقاطع‌های بدون روشنایی، نسبت تصادفات شب به روز پایین‌تری (نزدیک به ۱۲ درصد) داشتند (Bullough et al., 2013).

۲-۳- مدلسازی معادلات ساختاری

مدل‌سازی معادلات ساختاری از لحاظ روش شناختی، ابزاری بسیار قوی است که ضمن برخورداری از دقت بالا، امکان تحلیل پدیده‌های پیچیده را میسر می‌سازد. این روش امکان تحلیل اطلاعات به صورت چند متغیره و مرتبط باهم را فراهم می‌آورد و در جایگاه بالاتری از تحلیل رگرسیون، تحلیل مسیر و تحلیل عاملی قرار می‌گیرد. اگرچه مدل‌سازی معادلات ساختاری ترکیبی از این تحلیل‌ها است اما قابل تقلیل به هیچکدام از آنها نیست. مدل معادلات ساختاری امکان آزمون روابط علی بین دو یا چند متغیر را فراهم می‌آورد، که ممکن است به صورت مستقل، وابسته، گسسته یا پیوسته، پنهان یا آشکار و یا هر دو، در یک معادله خطی به کار روند. در ادامه به مطالعات انجام گرفته در رابطه با شدت تصادفات که از روش معادلات ساختاری بهره برده‌اند پرداخته می‌شود. لی و همکارانش در سال ۲۰۱۸ با یک رویکرد سیستماتیک و با استفاده از SEM به تجزیه و تحلیل تأثیر شرایط آب و هوایی بر شدت تصادفات پرداختند. در این پژوهش از داده‌های تصادفات رانندگی و بارندگی بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ شهر سئول استفاده شده است. نتایج نشان داد عمق زیاد آب روی سطح

راه، طول زهکشی طولانی، باران شدید با افزایش شدت تصادفات برای خودروهای سواری، رانندگان جوان و رانندگان خانم همراه است. نتایج تحقیق همچنین حاکی از آن بود که در بخش عامل محیطی شیب سرازیری جاده، شعاع قوس پایین بر سطح شدت تصادفات تأثیر گذار است (Lee et al., 2018).

یو و همکارانش در سال ۲۰۰۸ به ارزیابی تأثیر عوامل جاده، راننده و محیطی به عنوان متغیرهای پنهان و برون‌زا با استفاده از SEM برای تحلیل اندازه به عنوان یک متغیر پنهان درون‌زا پرداختند. متغیر اندازه تصادفات با ٤ متغیر آشکار تعداد افراد فوتی، جرحی، تعداد وسیله‌نقلیه درگیر و آسیب‌دیده سنجیده شده است. متغیرهای آشکار در این مدل شامل نوع روسازی، مشخصات افقی و عمودی جاده، وضعیت آب‌وهوایی، وضعیت سطح جاده، روز یا شب بودن، نوع وسیله‌نقلیه، جنسیت راننده و سن آنها بود. از بین سه متغیر پنهان برون‌زا (عوامل راه، محیط و راننده)، عامل راه بیشترین ضریب تأثیر را بر روی متغیر پنهان اندازه تصادف نشان داد. در نتیجه به منظور کاهش میزان تصادفات، رسیدگی به پارامترهای مرتبط با راه می‌تواند تأثیری بیشتری در کاهش تصادفات نسبت به سایر عوامل داشته باشد (Lee et al., 2008). ایبولی و ماتزولا، در پژوهشی که از SEM برای تحلیل تصادفات رانندگی بهره می‌بردند، به بررسی تصادف سال ۲۰۰۳ ایالت کوزنسا در ایتالیا پرداختند. آنها در این مطالعه، شدت تصادفات رانندگی را به عنوان یک عامل پنهان در SEM خود در نظر گرفتند. این متغیر پنهان، توسط دو متغیر مشاهده شده تعداد آسیب‌دیدگان و تعداد وسایل‌نقلیه درگیر در تصادف، اندازه‌گیری شد. در بخش ساختاری این مدل، شدت تصادف به عنوان متغیر پنهان وابسته، تحت تأثیر سه متغیر پنهان مستقل قرار گرفت. این متغیرهای پنهان عبارتند از: عامل شرایط محیطی، مشخصات مسیر و مشخصات راننده. هریک از این متغیرهای پنهان توسط دو یا چند متغیر مشاهده شده اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که عامل مشخصات مسیر، بیشترین تأثیر را بر شدت تصادف دارد. در این مطالعه، متغیر تعداد آسیب‌دیدگان تصادف، مؤثرترین معرف عامل شدت تصادف، گزارش شده است. همچنین، نشان داده شده است که طبقه‌بندی جاده‌ها، به عنوان مؤثرترین متغیر از میان متغیرها معرف عامل مشخصات مسیر و متغیر شرایط آب‌وهوایی به عنوان مؤثرترین متغیر معرف عامل شرایط محیطی، به شکل غیر مستقیم بر شدت تصادف رانندگی اثرگذار است (Eboli and Mazzulla, 2007). کیم و همکارانش، با استفاده از مدلسازی به روش معادلات ساختاری (SEM) برای بررسی شدت تصادفات، مدلی از عوامل مختلف مانند عوامل انسانی، وسیله‌نقلیه و جاده ارایه دادند. عامل انسانی با پنج متغیر مشخصات راننده، میزان روشنایی، شرایط ترافیکی، گروه سنی و شرایط دید راننده مورد سنجش قرار گرفت. عامل وسیله‌نقلیه از متغیرهایی تشکیل شده است که نقص فنی، نوع وسیله‌نقلیه و تعداد سرنشین‌های خودرو را نشان می‌دهد. عامل جاده با چهار متغیر نقص‌های مسیر، وضعیت سطح جاده، مشخصات هندسی مسیر و شرایط آب و هوایی هنگام تصادف سنجیده شد. در نهایت پارامتر سطح شدت تصادف با سه متغیر تبیین‌کننده میزان آسیب راننده، میزان آسیب خودرو و تعداد کل وسایل‌نقلیه درگیر در تصادف مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه، ابتدا با استفاده از تحلیل عاملی تأییدی (CFA)، یک مدل اندازه‌گیری قابل‌قبول تولید و آزمایش شد. در مرحله دوم، مدل اندازه‌گیری اصلاح شد تا روابط گام به گام پیش‌بینی شده بین متغیرهای پنهان معرفی و ارزیابی شوند. نتایج نشان داد که عامل انسانی مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر روی شدت تصادفات بوده است (Kim and Yamashita, 2011).

وانگ و شین شدت تصادفاتی را که در آن تنها یک وسیله نقلیه نقش داشته را با استفاده از معادلات ساختاری (SEM) مدلسازی کردند. در این مدل شدت تصادفات با توجه به میزان آسیب وارده به راننده و وسیله‌نقلیه مورد بررسی قرار گرفت. با بکارگیری SEM، متغیرهای پنهان مانند سرعت و نیروی وارده از طرف خودرو در هنگام تصادف، به طور مشترک وارد مدل شدند. این متغیرهای پنهان با استفاده از پارامترهایی مانند مشخصات راننده، وسیله‌نقلیه و جاده اندازه‌گیری شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که سرعت و نیرو وارده خودرو می‌توانند به طور قابل‌توجهی شدت آسیبرسانی به راننده و خودرو را افزایش دهند. همچنین نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که رانندگان مرد با سرعت بیشتری نسبت به زنان و رانندگان مسن‌تر

با سرعت کمتری نسبت به رانندگان جوان رانندگی می‌کنند. نتایج نشان داد که شرایط روسازی نامطلوب و روشنایی کم مسیر باعث کاهش سطح شدت تصادفات به دلیل کاهش سرعت خودرو می‌شود. علاوه بر این، شدت تصادفات وسایل‌نقلیه سنگین نه تنها به دلیل سرعت پایین‌تر در سرعت ممکن است کاهش یابد بلکه به دلیل وزن بالای خودرو، می‌تواند افزایش یابد (Wang and Qin, 2014).

خو و همکارانش از مدلسازی به روش معادلات ساختاری (SEM) برای تجزیه و تحلیل شدت تصادف در آزادراه‌ها استفاده نمودند. به طوری که احتمال وقوع یک تصادف با متغیرهایی مانند حداکثر سرعت مجاز، حجم ترافیک و ظرفیت ترافیک اندازه‌گیری شد. در این مطالعه، ابتدا تحلیل عاملی برای ایجاد ارتباط اولیه بین عوامل پنهان ترافیکی و متغیرهای جریان ترافیک انجام شد که اطلاعات مفیدی را برای توسعه مدل اندازه‌گیری در SEM فراهم نمود. هر یک از متغیرهای پنهان فرضیه از طریق متغیرهای مختلف ترافیکی اندازه‌گیری شدند و نتایج مطالعه نشان داد که حداکثر سرعت مجاز تأثیرگذارترین عامل بر روی شدت تصادفات است (Xu et al., 2017) لی و همکارانش مطالعه‌ای در خصوص ارتباط بین سطح شدت تصادفات با عامل بارندگی را در شهر سئول بررسی کردند. متغیرهای پنهان مانند شرایط جوی، عوامل جاده‌ای و عوامل انسانی در مدل وارد شدند. شدت تصادف با عواملی مانند میزان مرگ و میر، تعداد وسایل‌نقلیه آسیب‌دیده اندازه‌گیری شد. عامل جاده با متغیرهای آشکار مانند جنس روسازی، شیب عرضی و طولی، نرخ بربلندی و شعاع قوس اندازه‌گیری شد. عوامل انسانی با توجه به مدل وسیله نقلیه، زمان تصادف، سن راننده و جنسیت اندازه‌گیری شدند. پارامتر پنهان بارندگی با استفاده از متغیرهایی مانند شدت بارندگی، طول زهکشی و عمق آب روی سطح جاده مورد سنجش قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که عوامل محیطی و عوامل انسانی بیشترین تأثیر را روی سطح شدت تصادفات دارند. شرایط روسازی راه، تصادفات شبانه و عمق آب بیشترین تأثیر را در هر یک از عامل‌های پنهان مرتبط با آنها دارند (Lee et al., 2018).

۲-۵- روش‌های سنتی تجزیه و تحلیل شدت تصادفات

برای تجزیه‌وتحلیل اطلاعات مربوط به شدت تصادفات، روش‌های مختلفی تاکنون بکارگرفته شده است. در طول سالیان گذشته طیف گسترده‌ای از روش‌های ریاضی و آماری (مدل‌های لاجیت، پرابیت و ...) و همچنین روش‌های غیرریاضی (هوش مصنوعی، درخت تصمیم و ...) برای مدل‌سازی شدت آسیب ناشی از یک تصادف مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول زیر برخی از تحقیقاتی که از این روش‌ها استفاده نموده‌اند، ارایه شده است.

جدول ۱. تحقیقات مرتبط با مدلسازی شدت تصادفات به روش‌های آماری و هوش مصنوعی

نام محقق	موضوع مطالعه	مدل مورد استفاده
Farmer and Mitter, 1997	رابطه بین شدت تصادف و عوامل مؤثر روی تصادف وسایل‌نقلیه سواری	مدل لجستیک چندگانه
Lee and Abdel-Aty, 2008	تأثیر حضور مسافران روی شدت تصادفات	مدل پرابیت دوتایی
Kononen et al., 2011	تحلیل شدت تصادفات به‌وقوع پیوسته در کشورآمریکا	مدل لاجیت دوگانه
Chang and Chien, 2013	عوامل مؤثر بر شدت تصادفات شامل وسایل‌نقلیه سنگین	مدل درخت دسته‌بندی و رگرسیون
Zeng and Huang, 2014	بررسی و طبقه‌بندی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات	مدل شبکه عصبی مصنوعی

۳- روش تحقیق

هدف اصلی این تحقیق ارایه یک چارچوب جدید جهت بررسی تأثیر عوامل مختلف (عامل انسانی، محیطی، راه و ...) بر شدت تصادفات راه‌های برون‌شهری استان کرمان و تعیین اولویت اجرای راهکارهای در ارتباط با هر عامل برای کاهش شدت تصادفات است. برای رسیدن به هدف مدنظر، با تجزیه‌وتحلیل داده‌های واقعی تصادفات، از روش SEM

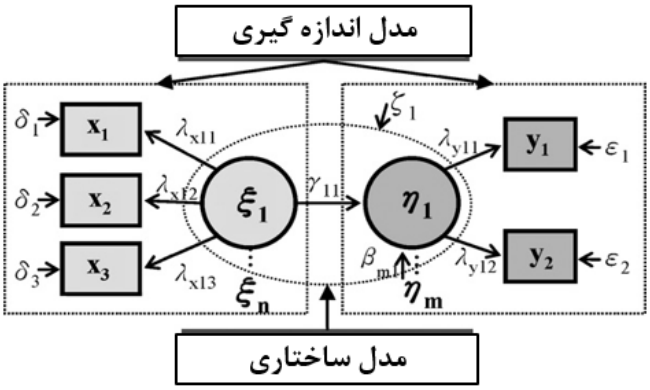
در نرم‌افزار AMOS برای شناسایی عوامل مؤثر بر تصادفات، بهره گرفته شده است. همچنین برای تعیین اولویت راهکارهای ایمن‌سازی جهت کاهش شدت تصادفات از FIS در نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. در اینجا در دو مرحلهٔ مجزا ابتدا با استفاده از SEM، عواملی که بر روی شدت تصادفات مؤثر بوده، شناسایی می‌شود. همچنین میزان تأثیر هر یک از متغیرهای قابل اندازه‌گیری (سن راننده، شرایط جوی، تعداد خطوط محور و...) در تبیین عامل پنهان مربوطه تعیین و وزن آنها نسبت به یکدیگر بدست می‌آید. در گام بعد بایستی با استفاده از نتایج بدست آمده از قسمت اول، اولویت اجرای راهکارها در ارتباط با هر یک از عوامل با استفاده از FIS مشخص گردد.

SEM از جنبه روش‌شناختی ابزاری بسیار قوی بوده که ضمن برخورداری از دقت بالا، امکان تحلیل پدیده‌های پیچیده علوم انسانی را میسر می‌سازد. این روش امکان تحلیل اطلاعات به صورت چند متغیره و مرتبط با هم را فراهم می‌آورد و در جایگاه بالاتری از تحلیل رگرسیون، تحلیل مسیر و تحلیل عاملی قرار می‌گیرد. اگرچه SEM ترکیبی از این تحلیل‌ها است اما قابل تقلیل به هیچکدام از آنها نیست. SEM امکان آزمون روابط علّی بین دو یا چند متغیر را فراهم می‌آورد، که ممکن است به صورت مستقل، وابسته، گسسته یا پیوسته، پنهان یا آشکار و یا هر دو، در یک معادله خطی به کار روند. در SEM به‌طورکلی دو نوع متغیر تعریف شده است: متغیرهای مشاهده‌پذیر یا آشکار و متغیرهای پنهان. همچنین دسته‌بندی دیگر، تقسیم متغیرها به درون‌زا (وابسته) و برون‌زا (مستقل) است. متغیرهای آشکار، مستقیماً اندازه‌گیری و مشاهده می‌شوند، برای اندازه‌گیری از مقیاسی مشخص و موجود برخوردار هستند و به منظور تعریف یا استنباط در مورد متغیر پنهان بکار گرفته می‌شوند. متغیرهای پنهان را نمی‌توان مستقیماً مشاهده یا مورد سنجش قرار داد، فاقد مقیاسی خاصی برای اندازه‌گیری هستند و توسط متغیرهای مشاهده شده اندازه‌گیری یا استنباط می‌شوند. متغیرهای درون‌زا یا وابسته، متغیرهای هستند که با یک سیستم از معادلات، شامل متغیرهای دیگر بدست می‌آیند. متغیرهای برون‌زا یا مستقل، این متغیرها بر متغیرهای وابسته اعم از نهایی و واسط تأثیر می‌گذارند، از هیچ متغیری تأثیر نمی‌پذیرند و وابسته به هیچ متغیر دیگری نیستند(Hosseinzadeh, 1393). متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش که در SEM وارد شده‌اند تا عوامل مؤثر جهت کاهش شدت تصادفات شناسایی شوند در جدول ۲ به تفکیک نوع ماهیت آنها آورده شده است.

جدول ۲. متغیرهای وارد شده در SEM به تفکیک نوع آنها

متغیرهای پنهان مدل	متغیرهای آشکار مدل
عامل انسانی	سن راننده تحصیلات راننده وضعیت استفاده از کمربند ایمنی
عامل محیطی	وضعیت جوی وضعیت سطح راه ساعت تصادف روشنایی مسیر
عامل راه	میانگین تردد مجتمع خدمات رفاهی دوربین کنترل سرعت تعداد خطوط طول محور
وضعیت ایمنی	نوع برخورد
	علت تامه
	نوع وسیلهٔنقلیهٔ مقصر

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، SEM از دو بخش مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری تشکیل می‌شود که روابط بین متغیرها (پنهان و آشکار) این دو مدل را از هم متمایز می‌نماید. مدل اندازه‌گیری مشخص می‌کند که متغیرهای پنهان (برون‌زا و درون‌زا) چگونه با متغیرهای مشاهده شده در ارتباط هستند و از طریق آنها سنجیده می‌شوند. روابط بین متغیرهای آشکار و پنهان با بارهای عاملی نشان داده می‌شود. بارهای عاملی تعیین می‌کنند یک متغیر آشکار تا چه حد در سنجش متغیر پنهان توانایی دارد. پژوهشگر مدل ساختاری را تدوین می‌کند تا روابط میان متغیرهای پنهان را نشان دهد. به بیان دیگر SEM در نظر گرفته شده می‌تواند برای تعیین اینکه تا چه حد روابط از پیش فرض شده با داده‌های واریانس و کوواریانس نمونه‌ای حمایت می‌شوند، تدوین و آزمون شود (Hosseinzadeh, 1393).



شکل ۱. اجزای یک مدل معادلات ساختاری SEM (Lee et al., 2008)

متغیرهای که در بخش ساختاری مدل این پژوهش، جهت بررسی تأثیر عوامل مختلف بر روی شدت تصادفات استفاده شده است، شامل عامل انسانی، محیطی، راه و وضعیت ایمنی هستند که به صورت عامل پنهان در مدل ظاهر می‌شوند. همچنین عوامل علت تامه، نوع برخورد و نوع وسیله مقصر به صورت متغیرهای آشکار در بخش مدل ساختاری مدل‌سازی ظاهر می‌شوند. عامل پنهان انسانی توسط متغیرهایی مانند سن راننده، تحصیلات راننده، بستن یا نسبتن کمربند ایمنی و ... سنجیده می‌شود. عامل محیطی نیز توسط متغیرهای وضعیت جوی، وضعیت سطح روسازی، روشنایی راه و ساعت تصادف مورد سنجش قرار خواهد گرفت. همچنین عامل پنهان راه نیز در این پژوهش توسط متغیرهای تعداد خطوط، میانگین تردد، طول محور، دوربین کنترل سرعت، مجتمع خدمات رفاهی سنجیده می‌شود. در انتها متغیر پنهان وضعیت ایمنی توسط شدت تصادفات سنجیده شده است. ضرایب تأثیر بدست آمده از SEM در توسعه سیستم استنتاج فازی برای تعیین اولویت راهکارهای کاهش شدت تصادفات بکار گرفته می‌شوند.

FIS از زیرمجموعه‌های محاسبات نرم است. محاسبات نرم روشی ابتکاری در راستای ایجاد سیستم‌های هوشمند است. حل مسائل پیچیدهٔ دنیای واقعی نیازمند بکارگیری سیستم‌های هوشمند است. این سیستم‌ها دارای توانایی تطبیق با محیط بوده و یاد می‌گیرند چگونه با تغییرات محیط سازگار شوند و در مقابل تغییرات محیطی تصمیم خاصی را اتخاذ نمایند. محاسبات نرم در واقع، توانایی‌های ذهن انسان را برای استدلال و فراگیری در یک محیط نامعین و نادقیق گرد هم می‌آورد. به‌طور کلی سیستم‌های فازی را می‌توان برای مدل‌سازی دو نوع اصلی عدم قطعیت در پدیده‌های موجود در جهان استفاده نمود. نوع اول، عدم قطعیت ناشی از ضعف دانش و ابزار بشری در شناخت پیچیدگی‌های یک پدیده است . نوع دوم، عدم قطعیت مربوط به عدم صراحت و عدم شفافیت مربوط به یک پدیده یا ویژگی خاص است. در این میان در مسائل مهندسی ترافیک و تصادفات که با عدم قطعیت و صراحت روبرو هستیم، می‌توان به سنگین بودن ترافیک، شدید بودن تصادف، پرتردد بودن مسیر، کافی بودن دسترسی‌های مسیر، کم یا زیاد بودن اولویت و... اشاره نمود.

همانگونه که در موارد مذکور نیز مشاهده می‌گردد عبارت‌هایی نظیر شدید، کم، زیاد، کافی، مناسب، ضعیف و ... عبارهای غیرصریحی هستند.

بنابراین تئوری مجموعه‌های فازی ابزار مناسبی جهت مدل‌سازی سیستم‌هایی با چنین ویژگی‌هایی است (Kia, 1393). در این پژوهش نیز جهت تعیین اولویت راهکارهای مرتبط به هر یک از عوامل انسانی، محیطی و راه در راستای بهبود وضعیت فعلی ایمنی راه‌های برون‌شهری استان کرمان، از FIS استفاده شده است. FIS، برای توصیف نظام‌مند دانش انسان و انجام استنتاج و اخذ یک تصمیم مناسب کاربرد دارد. مغز انسان اطلاعات غیردقیق و ناکامل فراهم آمده از طریق اندام‌های حسی را تفسیر و عکس‌العمل نشان می‌دهد. ساختار پایهٔ سیستم‌های استنتاج فازی از سه بخش مفهومی تشکیل می‌شود. بخش اول، قواعد هستند که در قالب یک سری دستور اگر- آنگاه، ترکیبی از ورودی‌ها و خروجی را بدست می‌دهند. بخش دوم، پایگاه داده است که توابع عضویت مورد استفاده در قواعد فازی در قالب آن تعریف می‌شود. در نهایت بخش سوم، ساز و کار استنتاج است که روال استنتاج توسط آن و به کمک قواعد و حقایق موجود، برای رسیدن به یک خروجی معقول انجام می‌پذیرد. لازم بذکر است که بطورکلی در توسعه قواعد فازی دو رویکرد وجود دارد. در رویکرد اول براساس داده‌های واقعی و آنچه که در واقعیت رخ داده قواعد تعیین می‌شود. رویکرد دیگر اما مبتنی بر نظرات متخصصین و افرادی است که نسبت به ویژگی‌های ورودی‌ها و تأثیر ترکیب آن‌ها بر خروجی شناخت دارند(Kia, 1393). در اینجا از سیستم استنتاج فازی ممدانی استفاده می‌شود. در سیستم ممدانی متغیرهای ورودی و خروجی بایستی در فرم قواعد زبانی ارایه شوند. بر این اساس در اینجا وضعیت متغیرهای ورودی (عوامل مؤثر بر شدت تصادفات) در سطوح کم، متوسط و زیاد و متغیر خروجی (اولویت راهکارهای کاهش شدت تصادفات) در سطوح خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد ارایه می‌گردد. با استفاد از نتایج SEM عوامل مؤثر بر شدت تصادفات، به‌عنوان پارامترهای ورودی FIS انتخاب شدند و با توجه به معنادار بودن تأثیر آنها بر شدت تصادفات، برای استفاده در FIS انتخاب شدند. درجه عضویت تابع گوسی به صورت بسیار ملایم و آرام تغییرات را اعمال می‌کند در حالی که در توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه اینگونه نیست. پس از نهایی شدن متغیرهای ورودی، توابع عضویت آنها با توجه به مطالعات پیشین، از نوع گوسی انتخاب گردید (Kia, 1393).

جدول ۳. متغیرهای ورودی FIS و بازه تغییرات توابع عضویت برای تعیین اولویت راهکارها

عامل‌ها					
انسانی		محیطی		راه	
پارامترهای ورودی	بازه تغییرات	پارامترهای ورودی	بازه تغییرات	پارامترهای ورودی	بازه تغییرات
سن راننده (سال)	۰-۱۰۰	متوسط تردد ساعتی (حجم بر ظرفیت)	۰-۱/۲	عرض مسیر (متر)	۰-۲۲
تحصیلات راننده (سال)	۰-۲۵	روشنایی راه (لوکس)	۰-۱۰۷۵۲	پوشش دوربین کنترل سرعت (درصد)	۰-۱۰۰
وضعیت پایبندی به بستن کمربند ایمنی (درصد)	۰-۱	مساعد بودن وضعیت آب‌و هوایی (درصد رطوبت)	۰-۱۰۰	کم تردد بودن محور (میانگین سالیانه ترافیک روزانه)	۰-۱۳۰۰۰
		مساعد بودن وضعیت سطح راه (عدد لغزندگی)	۰-۱۰۰	نزدیکی مبدأ و مقصد محور (کیلومتر)	۰-۱۲۵
				نزدیکی محل تصادف با مجتمع خدمات رفاهی قبلی (کیلومتر)	۰-۱۰۰

برای نگارش قواعد فازی و تعیین بازه تغییرات متغیرهای ورودی، از بارهای عاملی بدست آمده در SEM استفاده شده است. بدین صورت که بارهای عاملی پارامترهای تبیین‌کننده هر یک از عوامل انسانی، محیطی و راه به عنوان وزن هر پارامتر منظور گردید. به عنوان مثال، با دادن ضرایب ۱، ۲ و ۳ به عبارات "کم"، "متوسط" و "زیاد" برای هر یک از متغیرهای عامل انسانی، سن (با بار عاملی ۰/۱۲)، تحصیلات راننده (با بار عاملی ۰/۶۲) و کمربند ایمنی (با بار عاملی ۰/۸۵)، میزان تغییرات ترکیب این پارامترها که همان بازه تغییرات اولویت راهکارهای مرتبط با عامل انسانی است مطابق زیر قابل محاسبه است:

کمترین مقدار (بدترین حالت و بیشترین اولویت):

$$(1\times0.85)+(1\times0.62)+(1\times0.12)=1.59$$

بیشترین مقدار (بهترین حالت و کمترین اولویت):

$$(3\times0.85)+(3\times0.62)+(3\times0.12)=4.77$$

بنابراین، ترکیب این ۳ عامل دارای بازه تغییرات [۱/۵۹ – ٤/۷۷] است. این بازه برای تعیین اولویت راهکارهای مرتبط با عامل انسانی، جهت بهبود وضعیت ایمنی راه‌های برون‌شهری استان کرمان مطابق شکل ۲ برای مقادیر زبانی خیلی‌زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی‌کم به ۵ قسمت مساوی تقسیم‌بندی می‌شود. قواعد فازی برای تعیین اولویت اجرای راهکارهای مرتبط با عوامل انسانی، محیطی راه، بر مبنای روش ارائه شده، به صورت جداول مجزا به تفکیک هر عوامل توسعه داده شده است جدول قواعد مربوط به تعیین اولویت راهکارهای مرتبط با انسانی برای نمونه در جدول ٤ بطور نمونه آورده شده است.

شکل ۲. بازه تعیین اولویت راهکارهای مرتبط با عامل انسانی

٤- داده‌های تحقیق

جمع‌آوری و مرتب‌سازی اطلاعات و داده‌ها، اولین مرحله برای استفاده از روش SEM است. به منظور انجام تحقیق و بررسی در زمینه بهبود ایمنی راه‌ها و وقوع تصادفات، یک بانک اطلاعات تصادفات باید جمع‌آوری شود. برای رسیدن به این هدف اطلاعات جمع شده توسط پلیس بهترین گزینه است. جامعه آماری مورد استفاده در این پژوهش، اطلاعات تصادفات به وقوع پیوسته در راه‌های برون‌شهری استان کرمان در سال ۱۳۹٤ است. اطلاعات تصادفات دریافت شده شدت هر سانحه را نشان می‌دهد. معیار شدت در سه سطح آسیب‌دیدگی راننده و سرنشینان خودرو و عابر شامل تصادف خسارتی، جرحی و فوتی تعریف گردیده است.

سایر اطلاعات موجود شامل: عوامل محیطی، ویژگی‌های جاده و فایل مربوط به اطلاعات اشخاص درگیر در تصادف شامل همه افراد درگیر مانند رانندگان، سرنشینان، عابرین‌پیاده و... است. این پایگاه داده برای تمامی محورهای برون‌شهری استان کرمان (شامل ۷۷ محور) دارای ۳۰۲۷ تصادف ثبت شده در سال ۱۳۹٤ است.

جدول ٤. قواعد فازی برای تعیین اولویت راهکارهای عامل انسانی

میزان رعایت بستن کمربند	تحصیلات	سن	اولویت راهکار
کم	کم	کم	خیلی زیاد
کم	کم	متوسط	خیلی زیاد
کم	کم	زیاد	خیلی زیاد
کم	متوسط	کم	خیلی زیاد
کم	متوسط	متوسط	زیاد
کم	متوسط	زیاد	زیاد
کم	زیاد	کم	زیاد
متوسط	کم	کم	زیاد
متوسط	کم	متوسط	زیاد
متوسط	کم	زیاد	زیاد
کم	زیاد	متوسط	متوسط
کم	زیاد	زیاد	متوسط
متوسط	متوسط	کم	متوسط
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
متوسط	متوسط	زیاد	متوسط
زیاد	کم	کم	متوسط
متوسط	زیاد	کم	کم
متوسط	زیاد	متوسط	کم
متوسط	زیاد	زیاد	کم
زیاد	کم	متوسط	کم
زیاد	کم	زیاد	کم
زیاد	متوسط	کم	کم
زیاد	متوسط	متوسط	کم
زیاد	متوسط	زیاد	خیلی کم
زیاد	زیاد	کم	خیلی کم
زیاد	زیاد	متوسط	خیلی کم
زیاد	زیاد	زیاد	خیلی کم

جدول ۵. آمار توصیفی داده‌های وارد شده در SEM

متغیر	آمار توصیفی
زمان وقوع تصادف	**۱**- ساعت ۰تا٤ (٪ ۱۰/۱) **۲**- ساعت ٤ تا ۸ (٪ ۱۳/۹) **۳**- ساعت ۱۲تا۱٦ (٪ ۱۹/۹) **٤**- ساعت ۲۰تا۲٤ (٪ ۱۵/۵) **۵**- ساعت ۸ تا ۱۲ (٪ ۱۷/۷) **٦**- ساعت ۱٦تا۲۰ (٪ ۲۲/۹)
وضعیت روشنایی راه	**۱**- روز (٪ ٥٤/۸) **۲**- گرگ ومیش (٪ ٦/۲) **۳**- شب (٪ ۳۸/۹)
وضعیت آب‌و هوایی	**۱**- صاف (٪ ۹۲/۰) **۲**- ابری‌و مه‌آلود (٪ ٤/۹) **۳**- بارانی‌و برفی (٪ ۳/۱)
وضعیت سطح راه	**۱**- خشک (٪ ۹۲/۵) **۲**- بارانی‌و یخبندان (٪ ٦/۹) **۳**- روغنی‌وکثیف (٪ ۰/٦)
سن راننده	۱۸> (٪ ۱/٤) ۱۸-۳۰ (٪۳٤/۱) ۳۰-٤۵ (٪ ٤٤/۱) ٤۵-٦۰ (٪ ۱۷/٤) ٦۰< (٪ ۳/۰)
تحصیلات راننده	**۱**- بی‌سواد(٪ ۳/۰) **۲**- زیردیپلم(٪ ۱۳/۳) **۳**- دیپلم (٪ ۳٤/۰) **٤**- فوق‌دیپلم (٪ ٦/٤) **۵**- لیسانس(٪ ۳٤/٦) **٦**- فوق‌لیسانس (٪ ۷/٤) **۷**- دکتری (٪ ۱/۳)
کمربند ایمنی	**۱**- هیچ‌کدام نسبتن (٪ ۷/۳) **۲**- سرنشین‌ها نسبتن (٪ ۲۰/٦) **۳**- راننده نبسته (٪ ۲۵/۲) **٤**- همه بستن (٪ ٤٦/۸)
تعداد خطوط مسیر	**۱**- دو خطه(٪ ۳۹/۷) **۲**- چهار خطه(٪ ٥٤/٦) **۳**- شش خطه (٪ ۵/۷)
تعداد مجتمع خدمات رفاهی	**۱**- ندارد (٪ ۵۷/۵) **۲**- یک عدد (٪ ۳۱/۷) **۳**- دو عدد (٪ ٦/٤) **٤**- سه عدد (٪ ٤/۳)
دوربین کنترل سرعت	**۱**- دوربین ندارد (٪ ۸۱/۵) **۲**- یک سوم مسیر (٪ ۵/٦) **۳**- نصف مسیر (٪ ۵/٦) **٤**- کل مسیر (٪ ۷/٤)
علت تامه	**۱**- انحراف به چپ (٪ ۸/۳) **۲**- حرکت در خلاف جهت (٪ ۰/۹) **۳**- عدم توجه به جلو (٪ ۳۸/۹) **٤**- عدم توانایی کنترل وسیله‌نقلیه (٪ ۲۷/٤) **۵**- تجاوز از سرعت مقرر (٪ ۳/٤) **٦**- عدم رعایت فاصله عرضی و طولی (٪ ۵/٤) **۷**- نقص فنی حادث و مستمر خودرو (٪ ۱/۱) **۸**- تغییر مسیر ناگهانی (٪ ۲/۱) **۹**- حرکت با دنده عقب(٪ ۰/۸) **۱۰**- گردش به طرز غلط (٪ ۰/۹) **۱۱**- عدم رعایت حق تقدم (٪ ۹/۰) **۱۲**- سایر(٪ ۱/۰) **۱۳**-ندارد (٪ ۰/٦)
نوع وسیله‌نقلیه مقصر	**۱**- سواری (٪ ٦۳/۲) **۲**- وانت (٪ ۱۱/۸) **۳**- وسایل‌نقلیه سنگین (٪ ۲۰/۵) **٤**- وسایل‌نقلیه دوچرخ (٪ ٤/۵)
نوع برخورد تصادف	**۱**- عابر (٪ ۳/۲) **۲**- واژگونی (٪ ۳٤/٤) **۳**- موتور (٪ ۷/٦) **٤**- چندوسیله (٪ ۷/٦) **۵**- یک وسیله (٪ ۲۵/۷) **٦**- شی ثابت (٪ ۷/٤) **۷**- خروج از جاده (٪ ۱۱/۷) **۸**- حیوان (٪ ۱/٤) **۹**- سایر (٪ ۱/۰)

از ارائه آمار توصیفی اطلاعات مربوط متغیرهای طول و میانگین تردد محورها به دلیل تنوع بسیار بالای آنها خودداری شده است. به‌منظور انتخاب آزمون مناسب برای سنجش اطلاعات موجود، ابتدا باید از توزیع آماری داده‌ها، اطمینان حاصل کرد همانطور که پیش‌تر گفته شد، یکی از پیش فرض‌های SEM نرمال بودن متغیرها است. برای آزمون نرمال بودن توزیع داده‌های این تحقیق معیارهای چولگی و کشیدگی (بخشی از خروجی‌های نرم‌افزار مدل‌سازی AMOSاست) بکارگرفته شده است (جدول ٦). چولگی برای داده‌های نرمال، صفر است. هرچه از حالت نرمال بودن فاصله بگیرد، تقارن منحنی کمتر می‌شود و حد قابل قبول برای آن بین ۳- تا ۳+ است. در خصوص کشیدگی داده‌ها، هرچه منحنی چندضلعی داده‌ها بلندتر یا پخ‌تر باشد از نرمال بودن فاصله می‌گیرد و حد قابل قبول برای آن بین ۷- تا ۷ است. مقادیر بدست آمده در جدول ٦ نشان می‌دهد که تمامی متغیرها دارای توزیع نرمال هستند و فرض اولیه برای مدل‌سازی به روش SEM را ارضا می‌کند. بنابراین از آزمون‌های پارامتری می‌توان برای استنباط بهره گرفت. قبل از شروع تجزیه‌وتحلیل نتایج مدل، ابتدا بایستی به ارزیابی مدل آماری از نظر مناسب بودن مدل آماری و مسیرهای پیشنهادی آن پرداخت. به این منظور از آزمون‌های نکویی برازش استفاده می‌شود. جدول ۷ نتایج حاصل برای آزمون‌های برازش را برای مدل‌سازی وضعیت ایمنی راه‌های برون‌شهری در استان کرمان را نشان می‌دهد.

جدول ٦. نتایج آزمون نرمال بودن داده‌ها بر اساس چولگی- کشیدگی

متغیر	مقدار کمینه	مقدار بیشینه	چولگی	کشیدگی
سن راننده	۱	۵	۰/٤۲۵	-۰/۱۹۳
تحصیلات راننده	۱	۷	۰/۰۰٤	-۰/۹۷۹
کمربند ایمنی	۱	٤	-۰/۷۱۲	-۰/۷۰٦
زمان تصادف	۱	٦	-۰/۱۸٤	-۱/۱۸۱
وضعیت روشنایی	۱	۳	۰/۳۲۱	-۱/۸۲۷
شرایط جوی	۱	۳	۲/۹۸۳	٦/٦۹۸
شرایط سطح راه	۱	۳	۲/۹۵۸	٦/۹۱٤
تعداد خطوط	۱	۳	۰/۲۲٦	-۰/٦۷۳
طول محور	۱٦	۱۲۵	۰/۸٤۵	۱/۷٦۲
میانگین تردد	۲۰۰	۱۳۰۰۰	۰/۹۱۳	۱/۲۹۳
مجتمع خدمات رفاهی	۱	٤	۱/۵۸٦	۱/٤۲٦
دوربین کنترل سرعت	۱	٤	۲/۱٤۲	۳/۱۰۲
علت تامه	۱	۱۵	۱/٤۵۸	-۱/۳۷٦
وسیله‌نقلیه مقصر	۱	٤	۱/۰۳۰	-۰/٤۰۲
نوع برخورد	۱	۹	۰/۳۲۵	-۱/۰۲۱

جدول ۷. نتایج آزمون‌های برازش مدل‌سازی

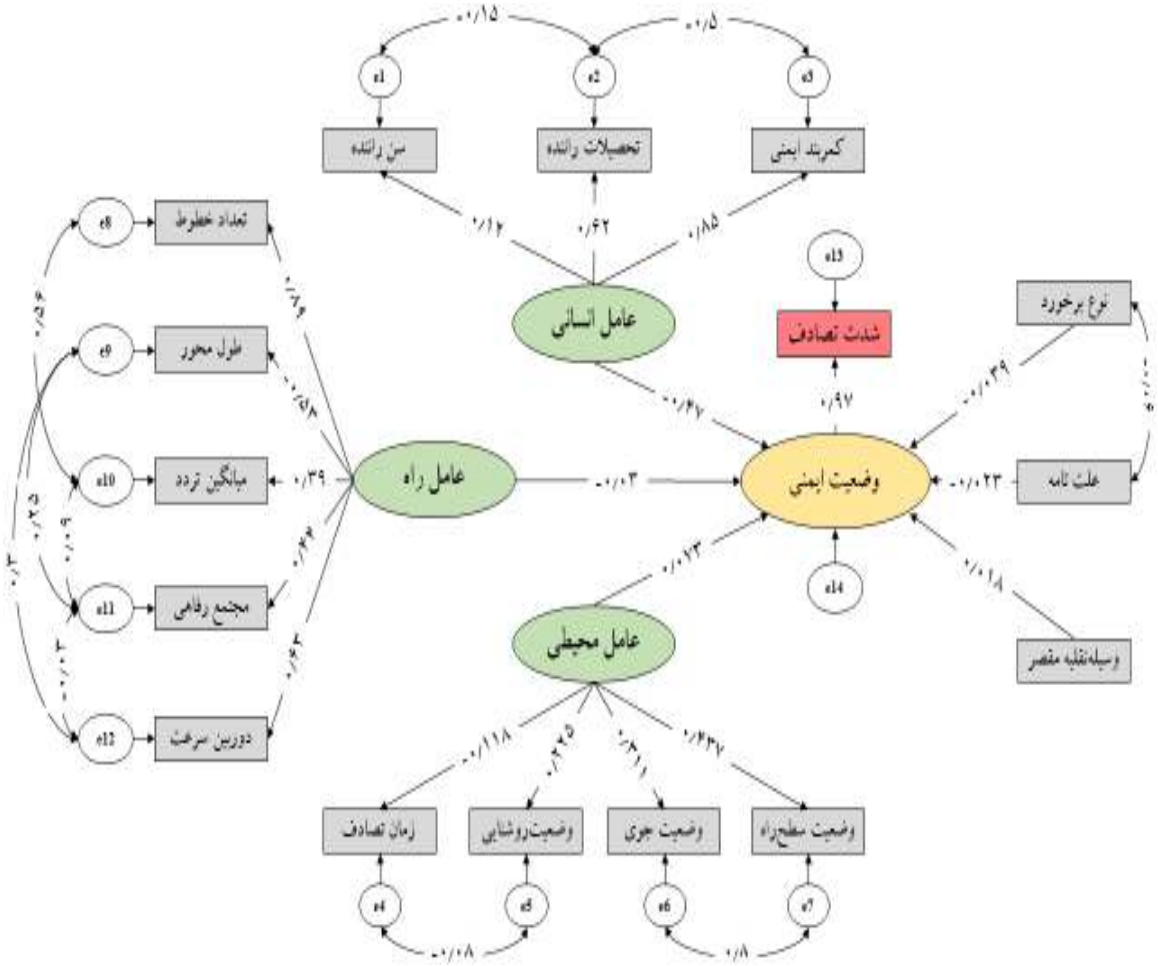
شاخص	مقدار بدست آمده	حد قابل قبول	توضیحات
CMIN/DF	۳/۲٤۸	1 < CMIN/DF < 5	نزدیک به ۱، مدل بهتر
RMSEA	۰/۰۳۳	RMSEA < 0.05	نزدیک به ۰، مدل بهتر
GFI	۰/۹۸٤	GFI > 0.95	نزدیک به ۱، مدل بهتر
AGFI	۰/۹۷۵	AGFI > 0.95	نزدیک به ۱، مدل بهتر
PCLOSE	۱	PCLOSE > 0.95	نزدیک به ۱، مدل بهتر
CFI	۰/۹۷٤	CFI > 0.95	نزدیک به ۱، مدل بهتر
TLI	۰/۹٦۵	TLI > 0.95	نزدیک به ۱، مدل بهتر
NFI	۰/۹٦۷	NFI >0.95	نزدیک به ۱، مدل بهتر

بعد از اطمینان حاصل نمودن از مناسب بودن مدل پیشنهادی از طریق تحلیل نتایج آزمون برازش مدل، نوبت به بررسی تفسیر SEM مدنظر می‌رسد. ابتدا تأثیرات مستقیم، غیرمستقیم کل عوامل مستقل بر روی متغیر وابسته نهایی مدل بررسی می‌شود و سپس در مورد متغیرهایی که تبیین‌کننده عوامل مستقل بودند بحث می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل مدل پیشنهادی به طور خلاصه در جدول ۸ آورده شده است.

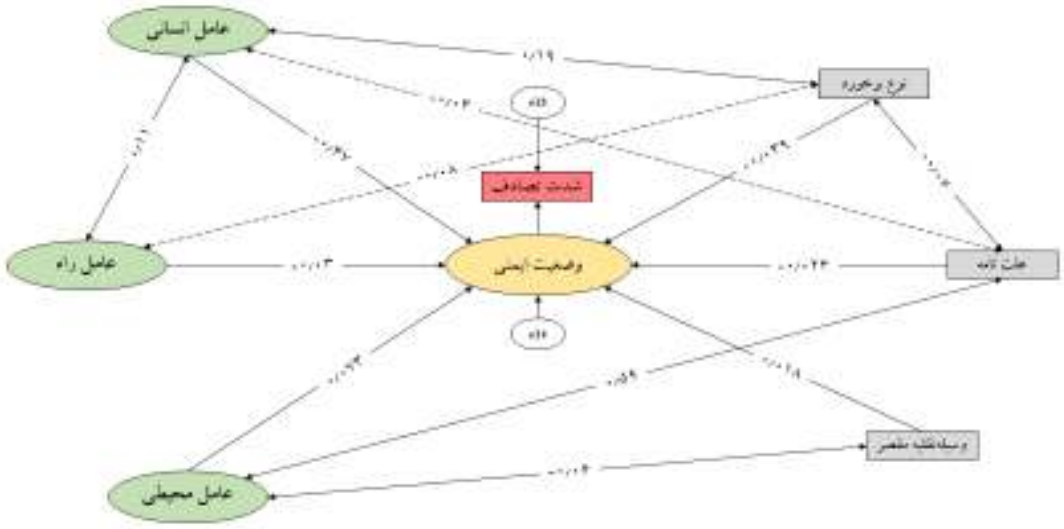
جدول ۸. میزان تأثیر مستقیم، غیرمستقیم و کل متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته وضعیت ایمنی

متغیر	انواع تأثیرات		
	تأثیر مستقیم	تأثیر غیر مستقیم	تأثیر کل
عامل انسانی	-۰/۴۷۰	-۰/۸۵۳	-۱/۳۲۳
عامل محیطی	۰/۰۷۳	۰/۱۳۲	۰/۲۰۵
عامل راه	-۰/۰۳۰	-۰/۰۵۰	-۰/۰۸۰
نوع برخورد	-۰/۰۳۹	-۰/۰۷۰	-۰/۱۰۹
علت تامه	-۰/۰۲۳	-۰/۴۲	-۰/۰۶۵
وسیله مقصر	۰/۰۱۸	۰/۰۳۲	۰/۰۵۰

در شکل ۳ و ٤ نتیجهٔ نهایی SEM برای عوامل مؤثر بر شدت تصادفات در راه‌های برون‌شهری استان کرمان آورده شده است. در شکل ۳ بارهای عاملی (ضرایب مسیر) مسیرهای ایجاد شده بین متغیرها و همچنین ضرایب همبستگی بین متغیرهای تبیین‌کننده یک عامل پنهان، نشان داده شده است. به دلیل قابل خوانده شدن اعداد و ارتباط ایجاد شده بین متغیرها، مسیرهای ایجاد شده در بخش ساختاری و مدل اندازه‌گیری انعکاسی به صورت مجزا در شکل ٤ آورده شده است.



شکل ۳. مدل معادلات ساختاری عوامل مؤثر بر شدت تصادفات در راه‌های برون‌شهری استان کرمان



شکل ٤. روابط بین متغیرها در بخش ساختاری مدل

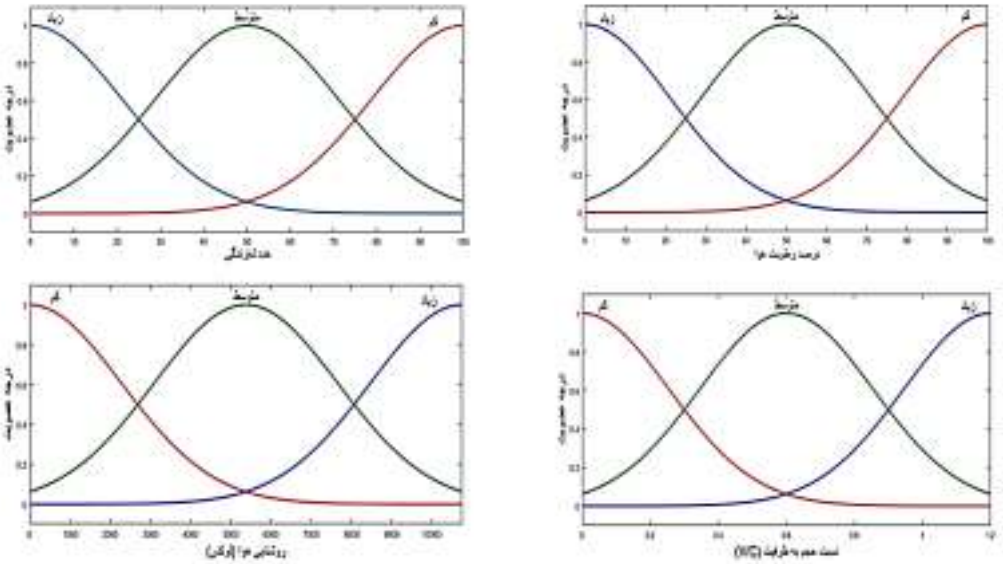
بحث

در بخش ساختاری SEM بدست آمده برای تحلیل شدت تصادفات راه‌های برون‌شهری استان کرمان، عامل انسانی میزان بار عاملی بسیار بالاتری نسبت به دیگر عوامل در مدل داشته است. این عامل با تأثیر مستقیم ۰/٤۷۰-، غیرمستقیم ۰/۸۵۳- و کلی ۱/۳۲۳- واحدی، بیشترین ضریب تأثیر را روی متغیر وابسته نهایی مدل (وضعیت ایمنی) که با شدت تصادف سنجیده شده است، داراست. در بخش مدل اندازه‌گیری، متغیر کمربند ایمنی با بار عاملی ۰/۸۵ قوی‌ترین تبیین‌کنندگی را برای عامل انسانی نسبت به بقیه پارامترهای این عامل داشته است. یعنی با افزایش یک واحدی متغیر کمربند ایمنی (از هیچ کدام نسبتن به سمت همه بستن)، متغیر وابسته نهایی به میزان ۰/۸۵ واحد (از فوتی به سمت خسارتی) کاهش پیدا خواهد کرد. طبق داده‌های این پژوهش اکثر افرادی که از کمربند ایمنی استفاده نمی‌کردند، در گروه سنی جوان و با سطح تحصیلات پایین هستند. این اقشار طبیعتاً از اثرات مفید استفاده از کمربند ایمنی اطلاع ندارند. بنابراین با آموزش و آگاه ساختن افراد از فواید کمربند ایمنی از طریق رسانه‌ها و اجباری نمودن استفاده از کمربند ایمنی و اعمال جریمه‌های سنگین در صورت عدم استفاده، می‌توان درصد چشمگیری از تصادفات با شدت آسیب شدید را کاهش داد. نتایج حاصل از SEM مقاله حاضر در ارتباط با سن رانندگان که از عوامل انسانی محسوب می‌شود با نتایج به دست آمده برای تحقیقات اونا و همکارانش و راضی مشابه است که حاکی از کاهش شدت تصادفات با بالا رفتن سن رانندگان می‌یابد. بعد از عامل انسانی در بخش مدل ساختاری، عامل محیطی با تأثیر مستقیم ۰/۰۷۳، غیرمستقیم ۰/۱۳۲ و کلی ۰/۲۰۵ واحدی، بیشترین تأثیر را روی متغیر وابسته مدل نهایی نسبت به سایر عامل‌های باقی‌مانده در مدل را دارد. در بخش مدل اندازه‌گیری برای عامل محیطی، متغیر وضعیت سطح راه با بار عاملی ۰/٤۳۷ قوی‌ترین تبیین‌کنندگی را برای عامل محیطی نسبت به سایر متغیرهای این عامل داشته است. بدین صورت که با افزایش یک واحدی در متغیر وضعیت سطح راه (از خشک به سمت روغنی‌وکثیف)، متغیر وابسته نهایی مدل به میزان ۰/٤۳۷ واحد (از خسارتی به سمت فوتی) افزایش می‌یابد. در شرایطی که سطح جاده لغزنده است، میزان اصطکاک بین چرخ‌های وسیله‌نقلیه و جاده کاهش می‌یابد. این امر از توانایی راننده برای کنترل و هدایت وسیله‌نقلیه می‌کاهد و اغلب منجر به واژگونی یا خروج وسیله‌نقلیه از جاده می‌شود. رانندگانی که تجربه و مهارت کافی برای رویارویی با این شرایط را ندارد، در تصمیم‌گیری و انجام عکس‌العمل به موقع در شرایط خطر، دچار مشکل می‌شوند.

از بین متغیرهای پنهان در بخش ساختاری مدل ارایه شده، عامل راه کمترین تأثیر را روی متغیر وضعیت ایمنی را داشته

است. نتایج تأثیر مستقیم ۰/۰۳۰-، غیرمستقیم ۰/۰۵۰- و کلی ۰/۰۸۰- واحدی را روی متغیر وابسته نهایی مدل نشان می‌دهد. در بخش مدل اندازه‌گیری، عامل راه با ۵ متغیر سنجیده شده است. از بین آنها متغیر تعداد خطوط، با بار عاملی ۰/۸۹ قوی‌ترین تبیین‌کننده برای عامل راه، نسبت به سایر متغیرها بوده است. با افزایش یک واحدی متغیر تعداد خطوط (از دوخطه به سمت شش‌خطه)، متغیر وابسته نهایی مدل که با شدت تصادفات سنجیده شده است به میزان ۰/۸۹ واحد (از فوتی به سمت خسارتی) کاهش پیدا خواهد کرد. طبق داده‌های این پژوهش، دو خطه بودن مسیرها و عدم وجود میانه و جداکننده بیشترین تأثیر را در بروز تصادفات با شدت آسیب‌دیدگی بالا را دارند. زیرا در این مسیرها رانندگان برای سبقت گیری به ناچار مجبور به تجاوز به خط مقابل می‌شوند و این عمل، احتمال تصادف جلوبه جلو که بدترین حالت نوع برخورد تصادف است را بالا می‌برد. در نتیجه مسئولین باید به افزایش باندهای مسیر و نصب جداکننده‌ها نگاه ویژه‌ای داشته باشند. متغیر دوربین کنترل سرعت بعد از متغیر تعداد خطوط، با بار عاملی ۰/۶۳ تبیین‌کنندگی نسبتاً قوی برای عامل راه نشان داده است. با افزایش یک واحدی متغیر دوربین کنترل سرعت (از ندارد به سمت کل مسیر)، متغیر وابسته نهایی به میزان ۰/۶۳ واحد کاهش پیدا خواهد کرد. طبق داده‌های تحقیق مسیرهای که بیشتر تحت پوشش دوربین کنترل سرعت قرار دارند، شدت تصادفات در آنها نسبت به مسیرهایی که فاقد دوربین هستند، کمتر است. در ارتباط با عوامل محیطی نیز باید عنوان کرد که نتایج حاصل با نتایج به‌دست آمده با پژوهش‌های اونا و همکارانش، راضی و احدی و خدایی و همکارانش همسو می‌باشد. عامل نوع برخورد تصادف، که به صورت یک متغیر مستقل و آشکار در مدل آورده شده است، سومین متغیر تأثیرگذار بر متغیر وابسته نهایی در بخش ساختاری مدل برای تحلیل شدت تصادفات راه‌های برون‌شهری است. این عامل تأثیر مستقیم ۰/۰۳۹-، غیر مستقیم ۰/۰۷۰- و کلی ۰/۲۰۵- واحدی را روی متغیر وابسته نهایی مدل دارد. با توجه به مقدار بار عاملی بدست آمده و ترتیب کدگذاری این متغیر، تصادفاتی که برخورد از نوع عابر، واژگونی و موتور داشتند به ترتیب، شدت آسیب بیشتری را نشان داده‌اند. در تصادفات با عابر، شدت آسیب به دلیل نبود ابزار یا وسیله‌ای برای جلوگیری از وارد شدن مستقیم ضربه به فرد و همچنین پرتاب شدن فرد و احتمال برخورد مجدد او با شی ثابت دیگر، اغلب فوتی است. متغیر تأثیرگذار بعدی، متغیر علت تامه است، که در بخش ساختاری مدل لحاظ شده است. این متغیر تأثیر مستقیم ۰/۰۲۳-، غیر مستقیم ۰/۰۴۲- و کل ۰/۶۵- واحدی را روی متغیر وابسته وضعیت ایمنی مدل دارد که با متغیر شدت تصادفات سنجیده شده است. منفی بودن مقدار بار عاملی این متغیر نشان می‌دهد، به طور کلی تصادفاتی که به دلیل قرار گرفتن وسیله‌نقلیه در لاین مخالف بوده است (تجاوز به چپ ناشی از سرعت، انحراف به چپ و حرکت در خلاف جهت) دارای شدت آسیب‌دیدگی بالا هستند. نتیجه بدست آمده از این قسمت، نتایج حاصل شده در بخش در عامل راه، متغیر تعداد خطوط، یعنی مسیرهای دوخطه و فاقد میانه که در آن‌ها تصادفات ناشی از تجاوز به خط مخالف بود، بیشترین تأثیر را در بروز تصادفات با شدت بالا داشتند. این نتایج بار دیگر به افزایش تعداد خطوط و پهنای عرض راه و همچنین احداث میانه تأکید می‌نماید. در انتها برای تحلیل در بخش ساختاری مدل، عامل وسیله‌نقلیه مقصر را داریم که کمترین تأثیر را بر روی شدت تصادفات نسبت به سایر عوامل داشته است. این متغیر تأثیر مستقیم ۰/۱۸، غیر مستقیم ۰/۰۳۲ و کلی ۰/۰۵۰ واحدی را روی متغیر وابسته نهاییِ مدل دارد. با توجه مقدار بار عاملی بدست آمده و نحوه کدگذاری انواع وسایل‌نقلیه، می‌توان اظهار داشت تصادفاتی که در آن وسایل‌نقلیه سنگین و دوچرخ به عنوان مقصر دخیل بوده‌اند با شدت آسیب شدیدتری همراه بوده‌اند. وسایل‌نقلیه سنگین به دلیل وزن زیاد خود، در هنگام برخورد با خودروهای دیگر، نیروی بسیار بالایی‌تری نسبت به سایر وسایل‌نقلیه، وارد می‌کنند که این امر می‌تواند شدت آسیب‌رسانی را بیشتر کند. از طرفی استاندارد نبودن و فرسوده بودن ناوگان وسایل‌نقلیه سنگین در سطح کشور باعث افزایش پتانسیل آسیب‌رسانی در تصادفات می‌شود. در ارتباط با نتایج متناقض نیز می‌توان به عامل وسیله‌نقلیه مقصر اشاره کرد که با نتیجه مطالعه چن و همکارانش در تناقض است. یکی از دلایل این تناقض را می‌توان استاندارد و ایمن بودن وسایل‌نقلیه کشورهای توسعه یافته دانست (Chen et al., 2016). پس از گردآوری داده‌های تصادفات اتفاق افتاده در راه‌های برون‌شهری استان

کرمان، و ارزیابی میزان اثرگذاری عوامل مختلف بر وضعیت ایمنی ترافیکی بر اساس شدت تصادفات، نوبت به تعیین اولویت اجرای راهکارها در ارتباط با هر عامل می‌رسد. به این منظور از FIS جهت تعیین میزان ارجحیت راهکارهای مرتبط به هر عامل، نسبت به یکدیگر به صورت متغیرهای زبانی، بهره گرفته شده است. با پی بردن به این موضوع که راهکارهای کدام عامل بیشتر منجر به کاهش شدت تصادفات می‌شود، می‌توان از هدر رفتن منابع مالی جلوگیری کرد و بودجه‌ها را با کارایی بیشتری به پروژه‌ها تخصیص داد. به طور نمونه، برای تعیین اولویت راهکارهای مرتبط با عامل محیطی جهت کاهش شدت تصادفات، متغیرهای میزان مساعد بودن وضعیت آب‌وهوایی، وضعیت سطح راه، روشنایی راه و متوسط تردد ساعتی در نظر گرفته شده است. هر یک از این پارامترها بر اساس متغیر زبانی "کم"، "متوسط" و "زیاد" توصیف و بر اساس توابع عضویت گاوسی در شکل ۵ نشان داده‌اند. سایر متغیرهای ورودی در FIS، مطابق جدول ۳، همانند توابع شکل ۵ فازی شده‌اند.



شکل۵. تابع عضویت متغیرهای ورودی تعیین اولویت راهکاری مرتبط با عامل محیطی

طبق نتایج حاصل شده از مدل‌سازی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات در راه‌های برون‌شهری استان کرمان به روش SEM و ضرایب متغیرهای تبیین‌کننده عامل‌های انسانی، محیطی و راه در بخش مدل اندازه‌گیری، وزن هریک از پارامترهای تبیین‌کننده بدست آمده است. نگارش قواعد فازی برای تعیین بازه تغییرات اولویت راهکارهای مرتبط به هر یک از عوامل با توجه به روند ذکر شده در بخش روش تحقیق این مقاله انجام شده است. بازه‌های محاسبه شده برای تعیین میزان اولویت هر یک از عوامل برای مقادیر زبانی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد مطابق جدول ۹ تقسیم‌بندی شده است.

جدول ۹. بازه تغییرات اولویت راهکارهای مرتبط با عوامل انسانی، محیط و راه

اولویت / راهکارهای	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
انسانی	٤/٧٧٠ – ٤/١٣٢	٤/١٣٢ – ٣/٤٩٨	٣/٤٩٨ – ٢/٨٦٢	٢/٨٦٢ – ٢/٢٢٦	٢/٢٢٦ – ١/٥٩
محیطی	٣/٢٧٣ – ٢/٨٢٦	٢/٨٢٦ – ٢/٤٠٠	٢/٤٠٠ – ١/٩٦٣	١/٩٦٣ – ١/٥٢٧	١/٥٢٧ – ١/٠٩١
راه	٨/٥٢٠ – ٧/٣٨٤	٧/٣٨٤ – ٦/٢٤٨	٦/٢٤٨ – ٥/١١٢	٥/١١٢ – ٣/٩٧٤	٣/٩٧٤ – ٢/٨٨

برای غیر فازی‌سازی اولویت راهکارهای مرتبط با عامل انسانی، محیطی و راه و بدست آوردن عدد قطعی اولویت این راهکارها، از مقادیر میانه متغیرهای تبیین‌کننده هر یک از عوامل در SEM، به عنوان ورودی در FIS در نظر گرفته شده است. این مقادیر با توجه به داده‌های این مقاله محاسبه شده و در جدول ۱۰ آورده شده است. این مقادیر با توجه به توضیحات داده شده، در FIS قرار داده شده و اولویت راهکارهای موجود برای کاهش شدت تصادفات ناشی از عوامل مختلف بدست آمده است.

جدول۱۰. مقادیر میانه متغیرهای ورودی و عدد قطعی اولویت راهکاری مرتبط با آنها

نام پارامتر	مقدار میانه پارامتر	راهکارهای مرتبط با	عدد قطعی اولویت
سن راننده	۳۵	عامل انسانی	۲/۸۳
تحصیلات راننده	۱۲		
کمربند ایمنی	۰/۲۵		
درصد رطوبت هوا	۳۶	عامل محیطی	۲/۰۵
عدد لغزندگی	۸۰		
نسبت حجم به ظرفیت	۰/۲		
روشنایی هوا	۹۷۵۶		
میانگین سالیانه ترافیک روزانه	۴۰۰۰	عامل راه	۵/۷۷
فاصله از مجتمع رفاهی قبلی	۹۰		
درصد پوشش دوربین	۰		
پهنای مسیر	۱۴/۵		
فاصله مبدا و مقصد محور	۸۶		

با توجه به مقادیر بدست آمده برای اولویت راهکارها در جدول ۱۱، مقدار اولویت راهکارهای مرتبط با عامل انسانی ۲/۸۳ بدست آمده است. این مقدار با در نظر داشتن نحوه تقسیم‌بندی بازه تغییرات اولویت راهکارهای مرتبط با عامل انسانی در جدول ۱۰، به معنای بالا بودن اهمیت و اولویت راهکارهای مرتبط با این عامل، در جهت کاهش شدت تصادفات و بهبود ایمنی راه‌های برون‌شهری استان کرمان است. همچنین برای اولویت راهکارهای مرتبط با عوامل محیطی و راه، به ترتیب مقادیر ۲/۰۵ و ۵/۷۷ بدست آمده است. این مقادیر با توجه به بازه‌های تقسیم‌بندی شده در جدول ۱۰ برای تغییرات اولویت راهکارهای مرتبط با این عوامل، هر دو در قسمت متوسط متغیرهای زبانی قرار گرفته‌اند. به طور کلی اولویت راهکارهای مرتبط به عامل انسانی به مراتب بیشتر از راهکارهای مرتبط به عامل راه و محیطی است. اما این موضوع نباید ما را از رسیدگی به سایر عوامل غافل سازد، زیرا پرداختن به راهکارهای مرتبط با عوامل جاده‌ای و محیطی بسیار ساده‌تر از برطرف کردن مسائل مربوط به آموزشی و انسانی است.

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج تحلیل‌های انجام گرفته به روش SEM روی عوامل مختلف برای شناسایی پارامترهای تأثیرگذار بر شدت تصادفات راه‌های برون‌شهری، عامل انسانی نسبت به سایر عوامل پنهان مدل بیشترین تأثیر را در بروز تصادفات با سطح شدت فوتی داشته است. اما این موضوع دلیل نمی‌شود که ما از سایر عوامل چشم پوشی کنیم، زیرا رسیدگی و رفع نقص‌های جاده‌ای و وسایل‌نقلیه به‌مراتب آسان‌تر از پرداختن به موضوعاتی مانند آموزش رانندگان است. در بخش مدل اندازه‌گیری برای عامل انسانی نتایج نشان می‌دهد که از بین سه پارامتر تبیین‌کننده این عامل، پارامتر استفاده نکردن از کمربند ایمنی با ضریب تأثیر ۰/۸۵ قوی‌ترین تبیین‌کننده برای عامل انسانی بوده است. طبق گزارش پزشک قانونی تصادفات راه‌های برون‌شهری در سال ۹۴ برای استان کرمان، اکثر مرگ و میرهای ناشی از تصادفات، در اثر وارد شدن ضربه به سر یا جمجمه راننده، سرنشین یا عابر است. به این معنی که ضربه مستقیم به جمجمه در هر سه مورد، علت عمده مرگ به شمار

می‌آید. به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت که چنین مرگ‌هایی در اثر استفاده نکردن از کمربندایمنی است. داخل اتومبیل ناامن‌ترین مکان است و می‌تواند جان سرنشینان را با پرتاب شدن به خارج خودرو و برخورد با زمین و اشیاء یا برخورد با شیشه، فرمان و داشبورد به مخاطره اندازد. طبق داده‌های این پژوهش اکثر افرادی که از کمربندایمنی استفاده نمی‌کردند، در گروه سنی جوان و با سطح تحصیلات پایین هستند. این اقشار طبیعتاً از اثرات مفید استفاده از کمربندایمنی اطلاع ندارند. بنابراین به وسیله آموزش و آگاه ساختن افراد از فواید کمربندایمنی از طریق رسانه‌ها و اجباری استفاده از کمربندایمنی و اعمال جریمه‌های سنگین در صورت عدم استفاده، می‌توان درصد چشمگیری از تصادفات با شدت آسیب شدید را کاهش داد. در بخش ساختاری مدل، بعد از عامل انسانی، عامل محیطی بیشترین تأثیر را بر روی شدت تصادفات را داشته است. در بین پارامترهای تبیین‌کننده عامل محیطی، دو پارامتر وضعیت سطح راه و شرایط جوی به ترتیب با بار عاملی ۰/۴۳۷ و ۰/۳۱۱ بیشترین تأثیر را در بروز تصادفات با سطح شدت بالا نشان داده‌اند. همچنین طبق نتایج بدست آمده از بخش اندازه‌گیری مدل، این دو متغیر با ضریب همبستگی ۰/۸، ارتباط معناداری را با هم نشان داده‌اند. با توجه به این نتیجه می‌توان اظهار داشت که جاده‌های برون‌شهری استان کرمان از لحاظ زهشکی آب باران در شرایط جوی نامساعد، عملکرد مناسبی ندارد. در شرایطی که سطح جاده لغزنده است، میزان اصطحکاک بین چرخ‌های وسیله‌نقلیه و جاده کاهش می‌یابد. اغلب منجر به واژگونی یا خروج وسیله‌نقلیه از جاده می‌شود. برای کاهش شدت تصادفات ناشی از پارامترهای عامل محیطی از جمله اقداماتی که می‌توان به آن اشاره داشت، تجهیز نمودن وسایل‌نقلیه به سیستم پایداری در برابر لغزندی و تأمین زهکشی روسازی است. در بخش مدل اندازه‌گیری برای عامل راه، طبق نتایج حاصل شده از مدلسازی معادلات ساختاری، متغیر تعداد خطوط با بار عاملی ۰/۸۹ بیشترین تأثیر را بر شدت تصادفات داشته است. طبق نحوه دسته‌بندی صورت گرفته برای این متغیر، می‌توان اظهار داشت که در مسیرهای فاقد میانه یا جداکننده، شدت تصادفات ترافیکی به مراتب بیشتر است. طبق دیتای موجود این تحقیق علت این امر را می‌توان در نوع برخورد دانست. در مسیرهای فاقد میانه، فراوانی تصادفات از نوع شاخ به شاخ نسبت به مسیرهایی که دارای میانه هستند، بیشتر است. همچنین از خروجی SEM می‌توان استنباط نمود در مسیرهایی که درصد پوشش دوربین کنترل سرعت بیشتر است، شدت تصادفات کاهش یافته است. در مسیرهایی که دوربین کنترل سرعت نصب است، رانندگان به دلیل ترس از جریمه شدن، کمتر پیش می‌آید که از سرعت مجاز تجاوز کنند در نتیجه کنترل وسیله‌نقلیه با سرعت کمتر هنگام مواقع اضطراری و خطر آسان‌تر خواهد بود که خود عامل مهم در کاهش شدت تصادف است. در رابطه با متغیر نوع وسیله‌نقلیه مقصر، نتایج نشان می‌دهد در تصادفاتی که وسایل‌نقلیه سنگین و دوچرخ (موتور) مقصر شناخته شده‌اند، بیشتر شاهد تصادفات فوتی و جرحی بوده‌ایم. سطح شدت تصادفات وسایل‌نقلیه سنگین با وجود سرعت پایین، به دلیل وزن بالای خود و نیروی زیادی که هنگام برخورد منتقل می‌کنند، نسبت به انواع دیگر وسایل‌نقلیه بیشتر است.

در بخش فازی، با توجه داه‌های این تحقیق و مقادیر بدست آمده از نرم‌افزار متلب، نتایج حاکی از بالا (زیاد) بودن اولویت راهکارهای مرتبط با عامل انسانی (برگزاری دوره‌های آموزشی برای رانندگان، اعطای جایزه به رانندگان قانون‌مند و...) در جهت کاهش شدت تصادفات است. اما این موضوع نباید ما را از رسیدگی به سایر عوامل غافل سازد، زیرا پرداختن به راهکارهای مرتبط با عوامل جاده‌ای و محیطی بسیار ساده‌تر از برطرف کردن مسائل مربوط به آموزشی و انسانی است. به طورکلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بکارگیری همزمان از مدلسازی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات به روش SEM و تعیین اولویت راهکارها جهت کاهش شدت تصادفات به روش FIS، رویکردی مناسبی جهت تصمیم‌گیری و اقدامات متقابل با هدف افزایش ایمنی در بخش جاده‌های برون‌شهری استان است. از موضوعات قابل طرح جهت تکمیل این مطالعه، می‌توان به مدلسازی تصادفات راه‌های برون‌شهری در شرایط اقلیمی مختلف و همچنین معابر درون‌شهری در تحقیقات آتی اشاره نمود. در پژوهش‌های آتی جهت سنجش ایمنی راهها علاوه بر پارامتر شدت تصادفات، می‌توان متغیرهایی مانند تعداد افراد و وسایل‌نقلیه آسیب‌دیده، میزان خسارت‌های مالی را در مدل وارد نمود.

٦-پی‌نوشت‌ها

1.Structural Equation Modelling
2. Fuzzy Inference System

۷-مراجع

-حسین‌زاده، ع.، (۱۳۹۱)، "کاربرد و تحلیل مدل معادلات ساختاری در علوم انسانی با استفاده از نرم افزار AMOS"، شوشتر، نشر دانشگاه آزاد اسلامی، ص. ۵۵۲.

-خدایی، ع.، مقدس نژاد، ف.، و سلطانی، ن.، (۱۳۹۱)، "مدلسازی تأثیر عوامل محیطی و ترافیکی بر شدت تصادفات در جاده‌های برونشهری"، دوازدهمین کنفرانس مهندسی حمل ونقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران، معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران.

-دفتر آمار و ایمنی و ترافیک، وزارت راه و شهرسازی، سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای www.rmto.ir.

-راضی اردکانی، ح. ا. و احدی، م.، (۱۳۹۱)، "مدلسازی و تحلیل شدت تصادفات اتوبوس‌های درون و برون‌شهری"، فصل‌نامه مدلسازی در مهندسی، ۱۲(۱۸)، ص.۷٤-۵۹.

-کیا، م.، (۱۳۹۳)، "منطق فازی در متلب"، شوشتر، نشر کیان رایانه سبز، ص.۳۰٤.

-Abay, K.A., Paleti, R. and Bhat, C.R., (2013), “The joint analysis of injury severity of drivers in two-vehicle crashes accommodating seat belt use endogeneity”, Transportation research part B: methodological, 50, pp.74-89.

-Bullough, J.D., Donnell, E.T. and Rea, M.S., (2013), “To illuminate or not to illuminate: Roadway lighting as it affects traffic safety at intersections”, Accident Analysis & Prevention, 53, pp.65-77.

-Chang, L.Y. and Chien, J.T., (2013), “Analysis of driver injury severity in truck-involved accidents using a non-parametric classification tree model”, Safety science, 51(1), pp.17-22.

-Chen, C., Zhang, G., Huang, H., Wang, J., & Tarefder, R. A., (2016), “Examining driver injury severity outcomes in rural non-interstate roadway crashes using a hierarchical ordered logit model”, Accident Analysis & Prevention, 96, pp.79-87.

-Curry, A.E., Pfeiffer, M.R., Durbin, D.R. and Elliott, M.R., (2015), “Young driver crash rates by licensing age, driving experience, and license phase”, Accident Analysis & Prevention, 80, pp.243-250.

-De Oña, J., Mujalli, R. O., & Calvo, F. J., (2011), “Analysis of traffic accident injury severity on Spanish rural highways using Bayesian networks”, Accident Analysis & Prevention, 43(1), pp.402-411.

-Eboli, L. and Mazzulla, G., (2007), “A structural equation model for road-accident analysis”, In Proceedings of the 4th International SIIV Congress.

-El-Basyouny, K., Barua, S. and Islam, M.T., (2014), “Investigation of time and weather effects on crash types using full Bayesian multivariate Poisson lognormal models”, Accident Analysis & Prevention, 73, pp.91-99.

-Farmer, C.M., Braver, E.R. and Mitter, E.L., (1997), “Two-vehicle side impact crashes: the relationship of vehicle and crash characteristics to injury severity”, Accident Analysis & Prevention, 29(3), pp.399-406.

-FHWA.
http://safety.fhwa.dot.gov/hsip/resources/fhwasa09029/sec3.cfm

-Kim, K., P. Pant, and E. Yamashita, (2011), “Measuring Influence of Accessibility on Accident Severity with Structural Equation Modeling”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2236, pp.1–10.

-Kononen, D.W., Flannagan, C.A. and Wang, S.C., (2011), “Identification and validation of a logistic regression model for predicting serious injuries associated with motor vehicle crashes”, Accident Analysis & Prevention, 43(1), pp.112-122.

-Lee, C. and Abdel-Aty, M., (2008), “Presence of passengers: does it increase or reduce driver's crash potential?” Accident

the Transportation Research Board 2432, pp.17–25.

-Tolouei, R., (2010), "Relationship Between Fatality Risk Ratio and Mass Ratio in Two-Car Crashes, No. 10-1534.

-World Health Organization, (2019), "Global action plan on physical activity 2018-2030: more active people for a healthier world", World Health Organization.

-Xu, C., D. Li, Z. Li, W. Wang, and P. Liu. (2017), "Utilizing structural equation modeling and segmentation analysis in real-time crash risk assessment on freeways", KSCE Journal of Civil Engineering 22, pp.1–9.

-Zeng, Q. and Huang, H., (2014), "A stable and optimized neural network model for crash injury severity prediction Accident Analysis & Prevention", No.73, pp.351-358.

Analysis & Prevention, 40(5), pp.1703-1712.

-Lee, J., J. Chae, T. Yoon, and H. Yang., (2018), "Traffic accident severity analysis with rain-related factors using structural equation modeling – A case study of Seoul City", Accident Analysis and Prevention 112, pp.1–10.

-Lee, J.Y., Chung, J.H. and Son, B., (2008), "Analysis of traffic accident size for Korean highway using structural equation models", Accident Analysis & Prevention, 40(6), pp.1955-1963.

-Obeng, K., (2011), "Gender differences in injury severity risks in crashes at signalized intersections, Accident Analysis & Prevention, 43(4), pp.1521-1531.

-Wang, K., and X. Qin., (2014), "Use of Structural Equation Modeling to Measure Severity of Single-Vehicle Crashes", Transportation Research Record: Journal of

Identification of Effective Factors on Severity of Road Crashes and Prioritization of Countermeasures by Structural Equation Modeling (SEM) and Fuzzy Inference System (FIS)

Amin Khoshdel, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering,
Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Navid Nadimi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,
Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

E-mail: navidnadimi@uk.ac.ir

Received: July 2022- Accepted: November 2022

ABSTRACT
Increasing population, travel demand, and motor vehicle use have led to concerns about road safety in today's society. The severity of an accident depends on many factors, including the driver's characteristics, the environment, the road surface, and the type of vehicle. The purpose of this paper is to identify the factors that have the greatest impact on the severity of suburban accidents in Kerman province by using structural equation modeling (SEM). Based on the results of structural modeling, a fuzzy inference system (FIS) is developed to prioritize solutions based on each factor. Structure equation modeling indicates that human factor (estimate -0.47) has the greatest effect on occurrence of accidents with high injuries compared to other latent factors. Among the parameters explaining the human factor, using the safety belt (estimate 0.85) was the stronger predictor for this factor. To determine the priorities of implementing strategies to reduce crashes caused by human, environmental, and road factors, the fuzzy inference system was used due to its acceptable accuracy in solving uncertain problems. Using the fuzzy inference system, the outputs showed that solutions related to human factors are far more important than solutions related to roads and the environment. As a result of this study, transportation professionals can prioritize countermeasures to reduce the severity of crashes on suburban roads in an efficient and optimal manner.

Keywords: Structural Equation Modeling, Fuzzy, Safety, Prioritization