فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و چهارم، شماره ۹۶، بهار ۱۴۰۳، ص. ۷۰-۵۵

ایجاد توابع عملکرد ایمنی در سطح نواحی شهری بر اساس ویژگی سفرهای درون‌شهری

حمیدرضا بهنود (مسئول مکاتبات)، دانشیار، گروه عمران – حمل‌ونقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

E-mail: behnood@eng.ikiu.ac.ir

رضا گوگونانی، کارشناسی ارشد، گروه عمران – حمل‌ونقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

امیرعباس رصافی، استاد، گروه عمران – حمل‌ونقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

چکیده

توابع عملکرد ایمنی یکی از ابزارهای موجود است که فراوانی تصادف را به‌صورت تابعی از متغیرهایی مانند حجم و جریان ترافیک، طول معابر و دیگر متغیرها مانند متغیرهای هندسی محل بیان می‌کند. در این مطالعه برای ایجاد توابع عملکرد ایمنی، با توجه به ماهیت نادر و تصادفی بودن داده‌های تصادف، با استفاده از مدل‌های دوجمله‌ای منفی روابط رگرسیونی برای فراوانی و شدت تصادفات در سطح نواحی شهری، با توجه به متغیرهایی مانند حجم سفرهای تولید و جذب‌شده نواحی و مشخصات هندسی نواحی شهری مانند طول معابر شهری موجود در نواحی، ارائه شده است. داده‌های مورداستفاده در این مطالعه اطلاعات برداشت‌شده شامل فراوانی و شدت تصادف، حجم سفرهای روزانه با اهداف مختلف و طول معابر موجود در نواحی صدگانه شهر اردبیل می‌شود. در تمامی مدل‌های مورداستفاده برای برآورد کل تصادفات، تصادفات جرحی و تصادفات جرحی و فوتی، نسبت‌های کای دو پیرسن و انحراف که دو معیار مهم برای سنجش اعتبار مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی می‌باشند در محدوده ۰/۸ تا ۱/۲ قرار گرفتند که نشان از اعتبار مدل‌های برازش شده دارند. علامت ضرایب مربوط به متغیرها شامل ایجاد سفرهای با هدف خرید، تولید سفرهای غیرخانه‌مبنا، جذب سفرهای با هدف کاری، جذب سفرهای با هدف امور شخصی، جذب سفرهای تفریحی و طول معابر شهری با مقدار ضرایب متفاوت در روابط مربوط به کل تصادفات، تصادفات خسارتی و تصادفات جرحی و فوتی مثبت بوده است. مجموعه نتایج به‌دست‌آمده نشان داده است که مدل تصادفات جرحی-فوتی برای سفرهای تولید و جذب‌شده چه ازنظر معناداری متغیرها و چه ازنظر معیارهای نیکویی برازش عملکرد بهتری را نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: فراوانی تصادف، رویارویی، توابع عملکرد ایمنی، نواحی شهری، دوجمله‌ای منفی

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر سوانح ترافیکی و پیامدهای ناشی از آن افزایش یافته است و سازمان جهانی بهداشت جراحات ترافیکی را به‌عنوان یک مشکل و نگرانی عمومی معرفی کرده است به‌طوری‌که همه‌ساله جان ۱/۲ میلیون انسان را می‌گیرد و باعث مصدومیت ۵۰ میلیون نفر در سراسر جهان می‌شود و طبق پیش‌بینی‌ها انتظار می‌رود که در سال ۲۰۲۰ بتوان از تصادفات به‌عنوان سومین عامل مرگ‌ومیر انسان‌ها نام برد (سازمان بهداشت جهانی[1]، ۲۰۱۵). هزینه‌ها و صدمات عظیم اقتصادی – اجتماعی حوادث و سوانح ترافیکی و آثار روانی که بر روی افراد و جوامع می‌گذارند سبب شده است که تصادفات امروزه به یکی از مهم‌ترین موضوعات بحث حمل‌ونقل درون‌شهری و ایمنی ترافیک تبدیل شوند. به‌این‌ترتیب، انجام مطالعات در جهت بررسی دقیق پدیده تصادف ترافیک با هدف شناخت و تعیین عوامل و متغیرهای مؤثر بر فراوانی و شدت تصادفات و همچنین ایجاد ابزارهایی برای بررسی عملکرد ایمنی و پیش-بینی میزان میانگین فراوانی تصادفات مورد انتظار شبکه حمل‌و-نقل شهرها گامی ضروری و مهم است.

به‌طورکلی، چنین تصور می‌شود که افزایش حرکت در شبکه‌ای از معابر شهری، خود عاملی برای افزایش احتمال وقوع سوانح ترافیکی باشد. به‌عبارتی‌دیگر، افزایش معیارهای رویارویی[2] در نواحی شهری باعث افزایش فراوانی تصادفات در یک ناحیه شهری[3] می‌شود. معمول‌ترین تعریفی که برای رویارویی بیان‌شده است عبارت است از مسافت سفر بیان‌شده در واحد طول سفر. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص رویارویی و ریسک سوانح ترافیکی صورت گرفته است. اکثر این مطالعات با هدف بررسی شاخص‌های رویارویی کاربران مسیرها با شرایط سنی، اجتماعی و اقتصادی و غیره و میزان ریسک تصادفات برای این کاربران صورت گرفته‌اند. هرچند تصادفات و سوانح ترافیکی، وقایعی نادر و تصادفی هستند، اما با شناخت دقیق و جامع عوامل مؤثر بر ریسک تصادفات کاربران مختلف، می‌توان اقدامات پیشگیرانه مناسب را انتخاب و اعمال کرد (شاهی و همکاران، ۲۰۰۹).

توابع عملکرد ایمنی (SPF)[4] یکی از ابزارهای موجود است که فراوانی تصادف را به‌صورت تابعی از متغیرهایی مانند حجم و جریان ترافیک، طول معابر و دیگر متغیرها مانند متغیرهای هندسی محل بیان می‌کند (شورای ملی تحقیقات ایالات‌متحده آمریکا[5]، ۲۰۱۰). این توابع روابطی رگرسیونی هستند که ابزاری بسیار مفید برای ارزیابی عملکرد ایمنی و همچنین شناخت متغیرها و عواملی که در وقوع و شدت تصادفاً نقش دارند را ارائه می‌کنند.

تاکنون مطالعات زیادی برای گسترش توابع عملکرد ایمنی برای موقعیت‌های مختلف سیستم معابر موجود مانند تقاطع‌ها یا قطعات انواع راه‌ها صورت گرفته است که اشکال مختلفی از این توابع برای موقعیت‌های گفته‌شده ارائه‌شده است؛ اما به ایجاد این توابع در سطح نواحی شهری کمتر پرداخته شده و این موضوع از دغدغه‌های پژوهشگران در سال‌های اخیر بوده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۷، دالای و همکاران، ۲۰۲۲). چنین قابلیتی در تحلیل ایمنیُ، به توسعه برنامه‌های منطقه‌ای در شهرها کمک خواهد کرد (روسو و کومی، ۲۰۱۷). برای این منظور مدل‌های جغرافیایی وزن‌دار و ترکیب آن‌ها در مدل‌های فراوانی تصادف توسعه یافته‌اند (گومز و همکاران، ۲۰۱۷، الماسی و بهنود، ۲۰۲۲). یک رویکرد دیگر برای این منظور استفاده از مدل‌های هم فزون تقاضای حمل‌ونقل در توسعه مدل‌های پیش‌بینی تصادف بوده است (نادران و شاهی، ۲۰۱۰، دباغ‌فیضی و همکاران، ۲۰۲۳). در این مطالعه برای ایجاد این توابع، با توجه به ماهیت نادر و تصادفی بودن داده‌های تصادف، با استفاده از مدل‌های دوجمله‌ای منفی (NB)[6] روابط رگرسیونی برای فراوانی و شدت تصادفات در سطح نواحی شهری، با توجه به متغیرهایی مانند حجم سفرهای تولید و جذب‌شده نواحی و مشخصات هندسی نواحی شهری مانند طول معابر شهری موجود در نواحی، ارائه شده است.

۲. ادبیات پژوهش

ریسک هردو جنبه احتمال وقوع و شدت حادثه را موردنظر قرار می‌دهد که عبارت است از ترکیبی از احتمال یا دوره وقوع یک خطر تعریف‌شده و بزرگی عواقب ناشی از آن (هاکرت[۷] و همکاران، ۲۰۰۲). در مباحث ایمنی ترافیک، ریسک به‌عنوان معیاری برای کمّی‌سازی سطح ایمنی سیستم حمل‌ونقل بر اساس میزان رویارویی بیان می‌شود. رومر[۸] در ۱۹۹۹ بزرگی مسائل ترافیکی را به‌صورت تابعی از میزان رویارویی، ریسک و ریسک جراحات دانست و آن را به شرح زیر بیان کرد:

$$I = E \times \left(\frac{A}{E}\right) \times \left(\frac{I}{A}\right) \quad (1)$$

که در این رابطه ترم‌های E، (A/E) و (I/A) به ترتیب میزان رویارویی، احتمال وقوع یک تصادف نسبت به میزان رویارویی و احتمال وقوع جراحت در یک تصادف را نشان می‌دهد.

در مبحث محاسبه ریسک، قدم اول تعیین یک شاخص دقیق برای ارائه میزان رویارویی است. تعیین اینکه چه واحد و شاخصی برای رویارویی انتخاب گردد بستگی به هدف و موضوع مطالعه دارد. در مطالعات در سطح ملی، در بسیاری از حالات، جمعیت، میزان سفر و یا تعداد خودرو موجود به‌عنوان شاخصی برای رویارویی مورداستفاده قرار می‌گیرد. پولیدو[۹] و همکاران در ۲۰۱۶ در مطالعه‌ای با هدف تعیین نقش رویارویی در تفاوت در نرخ مرگ‌ومیر کاربران شبکه حمل‌ونقل با توجه به جنسیت و سن آن‌ها، با استفاده از مفهوم رویارویی شبه القایی[۱۰] آغاز کردند. لازم به ذکر است که برای معیار تصادف نمی‌توان چنین رویکردی داشت. تصادفات وقایعی اتفاقی و نادر هستند. اتفاقی بودن بدین معناست که سوانح ترافیکی به‌عنوان تابعی از مجموعه‌ای از وقایع، از عوامل مختلفی تأثیر می‌پذیرند که برخی از آن‌ها قابل‌کنترل و برخی دیگر احتمالی و غیرقابل‌کنترل و پیش‌بینی هستند (شورای ملی تحقیقات ایالات‌متحده آمریکا، ۲۰۱۰). ارزیابی نرخ تصادف[۱۱] یکی از رایج‌ترین راه‌های ارزیابی ریسک تصادف کاربران است. برای ارزیابی نرخ تصادف، نیاز به اطلاعات شمارش ترافیک یا شاخص‌های رویارویی، داده‌های تصادف با جزئیات آن است (کوئون[۱۲]، ۲۰۰۳). بر اساس این معیار ساده، با تقسیم نرخ تصادفات مشاهده‌شده برای هر گروه از کاربران بر میزان رویارویی، می‌توان ریسک را برآورد کرد (پولیدو و همکاران، ۲۰۱۶). هاک[۱۳] و همکاران در ۲۰۱۳ در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های گزارش‌شده پلیس از تصادفات ترافیکی و متدولوژی کنترل رویارویی، به دنبال تخمین میزان ریسک تصادف بوده و نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که ریسک تصادف موتورسیکلت‌ها در تقاطع‌های سه‌خطه، اگر محدودیت سرعت مجاز تقاطع بیش از ۶۰ کیلومتر بر ساعت باشد و تقاطع فاقد چراغ باشد، بسیار بالا است. پولوس[۱۴] و همکاران در ۲۰۱۵ در یک مطالعه مبتنی بر اطلاعات رویارویی، با هدف تعیین نرخ تصادف و جراحت برای گروهی از ترافیک و دوچرخه‌سواران پرداختند که نتایج این مطالعه نرخ کلی تصادفات ۰/۲۹۰ برای هر ۱۰۰۰ کیلومتر سفر و یا ۶/۰۶ بر اساس ۱۰۰۰ ساعت رانندگی را نشان داد. نرخ تصادفات منجر به آسیب‌دیدگی عبارت بود از ۰/۱۴۸ بر هر ۱۰۰۰ کیلومتر سفر و برای هر ۱۰۰۰ ساعت سفر برابر ۹/۰۹. در راهنمای ایمنی راه (شورای ملی تحقیقات ایالات‌متحده آمریکا، ۲۰۱۰) به معایب و تهدیدهای استفاده از معیار تصادف به‌تفصیل پرداخته‌شده و دلیل اصلی عدم امکان استفاده از آن فقدان رابطه خطی بین فراوانی تصادف و معیارهای رویارویی است. بدین ترتیب، از فراوانی تصادف به‌عنوان معیاری مناسب و دوجمله‌ای منفی به‌عنوان روشی مناسب برای برآورد این معیار یاد شده است. مفهوم توابع عملکرد ایمنی بر اساس استفاده از حجم جریان و سفرها و برازش خطی تعمیم‌یافته با توزیع دوجمله‌ای منفی است. در این توابع رابطه تعداد و فراوانی تصادفات، با تعداد سفرهای ایجادشده و حجم سفرهای انجام‌شده و طول معابر مختلف شهری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به‌این‌ترتیب، ابزاری برای بررسی تأثیر سناریوهای مختلف حاصل از برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بر کاهش تصادف فراهم می‌شود.

نادران و شاهی در ۲۰۱۰ در مطالعه‌ای که بر روی نواحی ترافیکی شهر مشهد انجام شد، مدل‌های پیش‌بینی تصادف را به‌طور جداگانه برای تولید و جذب تصادفات در سطوح شدت کل تصادف، تصادفات خسارتی و تصادفات جرحی و جرحی شدید به دست آورند. در این مطالعه تأثیر و رابطه بین تعداد سفر تولید و جذب‌شده و فراوانی تصادف در هر ناحیه شهری به دست آمد. میرابی‌مقدم و اکبری (۱۳۹۰) نیز به مطالعه‌ای تحت عنوان توسعه یک تابع عملکرد ایمنی برای انواع خیابان‌های شهری بر مبنای طول قطعه و حجم ترافیک پرداختند. در این مطالعه یک تابع عملکرد ایمنی برای انواع خیابان‌های شهری ارائه شد. این تابع بر مبنای دو پارامتر طول قطعه و حجم ترافیک توسعه‌یافته و برای ایجاد ارتباط آن‌ها با فراوانی تصادفات نیز از یک معادله ضربی استفاده شده است. با مشاهدات این مطالعه چنین نتیجه گرفته شد که با افزایش حجم ترافیک، تعداد تصادفات نیز افزایش‌یافته و برای یک حجم ترافیک ثابت، هرچه طول قطعه موردبررسی افزایش یابد، تصادف کاهش پیدا می‌کند.

۳. روش پژوهش

روش برآورد تصادف[۱۵] در راهنمای ایمنی راه[۱۶] متدولوژی سازمان‌یافته‌ای را برای برآورد میانگین فراوانی تصادف مورد انتظار برحسب (کل تصادف، شدت و نوع برخورد) در یک محل برای دوره زمانی، طرح هندسی و حجم ترافیک، جریان ترافیک و تجهیزات کنترل ترافیکی معین ارائه می‌کند. مدل‌های اساسی روش برآورد تصادف به شرح زیر است:

– مدل آماری پیش‌بینی میانگین فراوانی تصادف برای انواع موقعیت‌ها؛ و

– استفاده از روش بیز تجربی[۱۷] برای ترکیب برآوردهای مدل آماری و فراوانی تصادف مشاهده‌شده محل موردنظر.

برای بهبود قابلیت اطمینان آماری مدل تصادفات مورد انتظار از وزن دهی دو مقدار پیش‌بینی‌شده تصادف و مقدار فروانی تصادف مشاهده‌شده در تهیه برآورد نهایی استفاده می‌شود.

المان‌های اصلی مدل پیش‌بینی تصادف که در یکدیگر ضرب می‌شوند به شرح زیر است:

– تابع عملکرد ایمنی (SPF): این توابع روابطی رگرسیونی هستند که میانگین فراوانی تصادف را به‌عنوان تابعی از متغیرهایی مانند حجم و جریان ترافیک و مشخصات هندسی برآورد می‌کنند. توابع عملکرد ایمنی از طریق روش‌های آماری تحلیل رگرسیون دوجمله‌ای منفی و با استفاده از داده-های تصادف به دست می‌آیند.

– ضرایب تعدیل تصادف (CMF)[۱۸]: ضرایب تعدیل تصادف نمایانگر تغییر نسبی فراوانی تصادف بر اساس تغییر در یکی از شرایط محل (درحالی‌که بقیه شرایط ثابت هستند) هستند. این ضرایب نسبت فراوانی تصادفات تحت دو وضعیت هندسی و محیطی مختلف هستند.

– ضریب کالیبراسیون (C)[۱۹]: تأثیر تفاوت بین منطقه و دوره زمانی پیش‌بینی را نسبت به حوزه و زمان اعمال روابط SPF توسط کاربر نشان دهند.

اکنون باید الگوی مناسب تحلیل رگرسیون آماری را برای تشکیل توابع عملکرد ایمنی به کار گرفت. ازجمله انتقاداتی که به استفاده از الگوهای رگرسیون خطی ساده وارد می‌شود این است که در به‌کارگیری آن‌ها الزام فرض تبعیت متغیر وابسته باید موردتوجه قرار گیرد. دیگر اشکالی که از این مدل‌ها گرفته می‌شود این موضوع است که این الگوها هیچ‌گونه محدودیتی برای مقادیر منفی متغیرهای وابسته قائل نیستند، درحالی‌که داده‌های تصادفات مقادیری غیر منفی بوده و معمولاً از توزیعی غیر از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. مدل‌های خطی تعمیم‌یافته، گسترش‌یافته مدل‌های رگرسیون خطی ساده هستند که شامل توزیع غیر نرمال برای متغیر وابسته می‌باشند (هاکرت و همکاران، ۲۰۰۲). الگوهای رگرسیون خطی تعمیم‌یافته انواع مختلفی دارند که دو مورد از آن‌ها را می‌توان رگرسیون پواسون[۲۰] و رگرسیون دوجمله‌ای منفی[۲۱] نام برد.

مدل رگرسیون پواسون به طیف گسترده‌ای از داده‌های شمارشی اعمال می‌گردد. از این مدل برای تقرب داده‌های شمارشی و نادر مانند تصادفات استفاده می‌شود. استفاده از این مدل یک الزام دارد که به این صورت است که باید میانگین داده‌های مورداستفاده و واریانس آن‌ها باهم برابر باشد (شورای ملی تحقیقات ایالات‌متحده آمریکا، ۲۰۱۰).

با توجه به جدول (۱)، داده‌هایی که در این مطالعه مورداستفاده قرار گرفته‌اند از الزام مدل پواسون تبعیت نمی‌کنند و واریانس آن‌ها از میانگینشان بیشتر بوده که به‌اصطلاح به این داده‌ها، داده‌های دارای بیش پراکندگی[۲۲] گفته می‌شود. با این توضیح استفاده از مدل رگرسیون پواسون برای مدل‌سازی داده‌های موردمطالعه مناسب نبوده و لازم است از مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی استفاده کنیم.

جدول ۱. مشخصات اطلاعات موردمطالعه

متغیر وابسته	تعداد مشاهده	کمینه	بیشینه	میانگین	واریانس
کل تصادفات	۱۰۰	۰	٦٨	۱۵/٤	۲۰۸/۰٦۱
تصادفات خسارتی	۱۰۰	۰	۳٦	۷/۷۸	۷٤/۳
تصادفات جرحی و فوتی	۱۰۰	۰	۳۵	٦/۸۲	٤٤/۸۷

در طول سال‌های اخیر محققین زیادی برای مدل کردن داده‌های تصادف، از مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی استفاده کرده‌اند. در این مدل فرض می‌شود که وقایع موردمطالعه از توزیع پواسون – گاما پیروی می‌کنند. شکل عمومی مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی به‌صورت رابطه (۲) است (پولیدو و همکاران، ۲۰۱٦).

$$E(y_i) = \lambda_i = EXP(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (۲)$$

که در آن $EXP(\varepsilon_i)$ برابر است با خطای توزیع گاما با میانگین ۱ و واریانس α^2 (α پارامتر بیش پراکندگی است). در مدل دوجمله‌ای منفی تفاوت واریانس و میانگین به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$V[y_i] = E[y_i] + \alpha E[y_i]^2 \quad (۳)$$

$$E[y_i] = U \quad (٤)$$

$$V[U] = U + \alpha U^2 \quad (۵)$$

که در آن $V[y_i]$ نشان‌دهنده واریانس و $E[y_i]$ برابر با میانگین است و مقدار α هم ضریب بیش پراکندگی مدل دوجمله‌ای منفی را نشان می‌دهد. شکل معمول مدل دوجمله‌ای منفی به‌صورت رابطه (٦) است که در آن Γ تابع گاما است (هیلب[۲۳]، ۲۰۱۱):

$$P(y_i) = \frac{\Gamma((\alpha^{-1})+y_i)}{\Gamma(\alpha^{-1})y_i!}\left[\frac{\alpha^{-1}}{(\alpha^{-1})+\lambda_i}\right]^{\alpha^{-1}}\left[\frac{\lambda_i}{(\alpha^{-1})+\lambda_i}\right]^{y_i} \quad (٦)$$

برای برآورد مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی از روش بیشینه احتمال[۲٤] استفاده می‌گردد. رابطه زیر تابع احتمال این مدل را برای این روش نمایش می‌دهد:

$$L(\lambda_i) = \prod_i \frac{\Gamma((\alpha^{-1})+y_i)}{\Gamma(\alpha^{-1})y_i!}\left[\frac{\alpha^{-1}}{(\alpha^{-1})+\lambda_i}\right]^{\alpha^{-1}}\left[\frac{\lambda_i}{(\alpha^{-1})+\lambda_i}\right]^{y_i} \quad (۷)$$

پرداخت یا برآورد مدل، شامل برآورد ضرایب مدل بر اساس شکل ریاضی و داده‌های مشاهده شده است. در این پژوهش ضرایب مدل از روش بیشینه احتمال و با استفاده از نرم‌افزار R محاسبه شدند. تصمیم‌گیری در مورد کیفیت مدل و نکویی برازش آن‌ها بر اساس معیارهای زیر صورت گرفته است:

– اهمیت آماری متغیرهای به‌کاررفته در مدل: پس از ساخت مدل، یک معیار مهم عبارت است از اهمیت آماری متغیرهای به‌کاررفته در مدل با توجه به سطح اطمینان موردنظر؛

– علامت ضرایب متغیرها: توجه به رابطه علت و معلولی بین متغیر پاسخ و متغیرهای مستقل؛

– مقدار عددی ضرایب و مقدار ثابت مدل‌ها: مقادیر عددی ضرایب به‌کاررفته در مدل‌ها و همچنین مقدار ثابت به‌دست‌آمده برای مدل‌ها باید منطقی و قابل‌پذیرش باشند؛

– معیار انحراف (Deviance): معیار انحراف به فاصله بین مقدار تابع لگاریتم حداکثر درستنمایی مدل به‌دست‌آمده با حداکثر مقدار قابل‌دستیابی آن اشاره دارد. برای اعتماد به مدل، مقدار به‌دست‌آمده از حاصل تقسیم میزان انحراف بر درجه آزادی مدل باید نزدیک به عدد ۱ و در بازه ۱/۲ تا ۰/۸ باشد، در غیر این صورت باید به اعتبار مدل شک کرد (هاکرت و همکاران، ۲۰۰۲)؛ و

– آزمون کای دو پیرسن[۲۵]: برای اطمینان به مدل برازش شده، باید حاصل تقسیم مقدار به‌دست‌آمده این آزمون بر درجه آزادی مدل برازش شده نزدیک به عدد ۱ و در بازه ۱/۲ تا ۰/۸ باشد، در غیر این صورت باید به اعتبار مدل شک کرد (کوئون، ۲۰۰۳).

٤. تحلیل داده‌ها

داده‌های مورداستفاده در این مطالعه که در جدول (۲) معرفی شده است، اطلاعات برداشت‌شده سال ۱۳۹۱ شهر اردبیل بوده که شامل موارد زیر است:

– داده‌های مربوط به فراوانی و شدت تصادف در نواحی صدگانه شهر اردبیل؛

– اطلاعات مربوط به حجم سفرهای روزانه با اهداف مختلف در نواحی صدگانه شهر اردبیل؛ و

– اطلاعات مربوط به طول معابر موجود در نواحی صدگانه شهر اردبیل.

بررسی شرایط موجود در هر موضوع موردنظر و شناخت عوامل اثرگذار در هر پدیده موردتوجه، نخستین گام برای حل مشکل موجود و انجام برنامه‌ریزی صحیح است.

به‌منظور توسعه توابع عملکرد ایمنی نواحی صدگانه شهر اردبیل، روابط رگرسیونی به‌گونه‌ای که در ادامه شرح داده می‌شود با استفاده از متغیرهای مستقل موجود برازش شده‌اند. در طول فرایند مدل‌سازی، مدل‌های مناسب با توجه به معیارهای معرفی‌شده انتخاب شده و در طی این فرایند متغیرهای با سطح معناداری بیشتر از ۰/۱ از روابط کنار گذاشته شدند.

برای هرکدام از سه سطح شدت تصادفات کل، تصادفات خسارتی و تصادفات جرحی–فوتی، سه دسته مدل جداگانه ساخته شده است: مدل مبتنی بر مقادیر کل سفرهای تولید و جذب‌شده به نواحی، مدل مبتنی بر متغیرهای مستقل سفرهای تولیدشده به نواحی و مدل مبتنی بر متغیرهای مستقل سفرهای جذب‌شده به نواحی. نتایج این مدل‌ها در جدول‌های (۳) تا (۵) ارائه شده است.

٤–۱ کل تصادفات

نتایج برازش به‌دست‌آمده برای تعداد کل تصادف نواحی صدگانه موردمطالعه در جدول (۳) قابل‌مشاهده است. ضریب پراکندگی به‌دست‌آمده برای این مدل‌ها به ترتیب برابر با ۰/۵ برای مدل تصادف بر اساس تولید، ۰/۵۷ برای مدل تصادف بر اساس جذب و ۰/۵۱ برای مدل تصادف ایجادشده هستند که این امر نشان‌دهنده انتخاب صحیح مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی است. مقادیر آزمون t هر مدل نشان‌دهنده معنی‌داری آماری متغیرهای به‌کاررفته در مدل‌ها می‌باشند.

نسبت‌های کای دو پیرسن و انحراف که دو معیار مهم برای سنجش اعتبار مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی می‌باشند در محدوده ۰/۸ تا ۱/۲ قرار دارند که نشان از اعتبار مدل‌های برازش شده دارند. رابطه (۸) با توجه به جدول (۳) شکل رابطه دست آمده برای کل تصادفات را نشان می‌دهد.

$$\text{Total Crashes} = \exp(1.46411 + 0.00004\,\text{PRO} + 0.00002\,\text{ATR} + 0.00015\,\text{Arterial1} + 0.00008\,\text{Arterial2}) \quad (۸)$$

٤–۲ تصادفات خسارتی

برای بررسی فراوانی و شدت تصادفات خسارتی، روابط رگرسیونی در سه شکل ایجاد، تولید و جذب به صورتی که در جدول (٤) نشان داده‌شده ارائه گردیده است. همان‌طور که در این مدل‌ها مشاهده می‌شود تمام متغیرها ازلحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند. نسبت‌های کای دو پیرسن و انحراف به درجه آزادی مدل‌های گفته‌شده در بازه ۰/۸ تا ۱/۲ قرار دارند. ضرایب

پراکندگی مدل‌ها مقادیر۰/۵۷، ۰/۵۷ و ۰/۵۸ را نشان می‌دهند. با توجه به جدول ۵ رابطه تصادفات خسارتی به‌صورت رابطه (۹) است.

PDO Crashes: EXP (0.82976 + 0.00003 Pro + 0.00003 Atr + 0.00015 Arterial1 + 0.0001 Arterial2) (۹)

٤-۳ تصادفات جرحی و فوتی

همانند روابط ارائه‌شده قبلی، برای بررسی فراوانی تصادفات جرحی و فوتی روابطی مطابق جدول (۵) ارائه شده است. تمامی متغیرهای به‌کاررفته در این روابط ازلحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند. نسبت‌های کای دو پیرسن و انحراف به درجه آزادی مربوط به هر سه مدل در بازه ۰/۸ تا ۱/۲ قرار دارند. ضرایب پراکندگی برآورد شده عبارت است از ۰/۵۳، ۰/۵ و ۰/٦۱. رابطه مربوط به تصادفات جرحی و فوتی مطابق با جدول (۷) به‌صورت رابطه (۱۰) است.

Fatal/Injury Crashes = EXP (0.95566 + 0.00005 Pro + 0.00016 Arterial1) (۱۰)

٤-٤ ارزیابی روابط

در این بخش به ارزیابی روابط به‌دست‌آمده از فرایند مدل-سازی، از جوانب مختلفی همچون علامت ضرایب، مقادیر ثابت مدل‌ها و هم‌خوانی علامت ضرایب با منطق علت و معلولی بین تصادفات و متغیرهای مستقل موجود پرداخته می-شود:

– مقادیر ثابت مدل‌ها: مقادیر ثابت روابط برازش شده نشان‌دهنده تأثیر دیگر متغیرهایی می‌باشند که بر وقوع تصادفات اثرگذار هستند اما در ساخت مدل‌ها موردتوجه قرار نگرفته‌اند. مقادیر ثابت برآورد شده برای تمامی مدل‌های ارائه‌شده مقداری مثبت دارند که این نشان‌دهنده این امر است که این متغیرها اثری افزایشی در وقوع تصادفات خواهند داشت.

– ایجاد سفرهای خانه مبنا با هدف خرید (P.HBSH و A.HBSH): علامت ضرایب مربوط به این متغیرها در روابط مربوط به کل تصادفات، تصادفات خسارتی و تصادفات جرحی و فوتی مثبت است. از این امر می‌توان دریافت که هرچه تولید و جذب سفرهای با هدف خرید افزایش یابد فراوانی این تصادفات هم انتظار می‌رود که افزایش یابد. سفرهای با هدف خرید معمولاً از مناطق مسکونی آغاز شده و اغلب در ساعات اوج پایان روز صورت می‌پذیرند. از سوی دیگر این سفرها به‌طور منظم روزانه و یا چند روز یک‌بار و اغلب توسط وسایل نقلیه شخصی انجام می‌شوند، لذا انتظار می‌رود تأثیری مثبت در افزایش تصادفات از خود نشان دهند.

– تولید سفرهای غیرخانه‌مبنا (P,NHB): ضرایب مربوط به این متغیرها مقداری مثبت را نشان می‌دهند. لذا هرچه تعداد تولید سفرهای غیر خانه مبنا افزایش یابد شاهد افزایش وقوع تصادفات خواهیم بود.

– جذب سفرهای با هدف کاری (A.HBW): انتظار می‌رود که هرچه سفرهای بیشتری با هدف شغل به نواحی جذب شود، شاهد تصادفات بیشتری باشیم. دلیل این امر ازآن‌جهت می‌تواند باشد که این سفرها معمولاً در ساعات اوج و با استرس و عجله و به‌صورت معمول توسط وسایل نقلیه شخصی صورت می‌پذیرند.

– جذب سفرهای با هدف امور شخصی (A.HBOM): این سفرها در بروز تصادفات نقشی کاهنده از خود نشان داده‌اند، زیرا این‌گونه امور در ساعات غیر اوج و بدون عجله صورت می‌پذیرند.

– جذب سفرهای تفریحی (A.HBREC): این سفرها وقوع تصادفات جرحی و فوتی نقشی افزایشی از خود نشان داده‌اند و به‌طورکلی باعث افزایش وقوع تصادفات می‌شوند. علت این امر ممکن است افزایش جذب سفرهای تفریحی نواحی شهری در روزهای پایانی هفته باشد.

– طول معابر شهری: طول معابر شهری با رده‌های عملکردی شریانی درجه‌یک و درجه‌دو در تمام روابط به‌دست‌آمده برای انواع تصادفات دارای ضرایبی با علامت مثبت بوده که نشان

می‌دهد اثری افزایشی در تعداد تصادفات قابل‌انتظار دارند. مسلم است که هرچه زیرساخت‌های جابه‌جایی بیشتری موجود باشد، جابه‌جایی‌های بیشتری هم صورت خواهد گرفت. احتمال وقوع تصادف با جابه‌جایی رابطه مستقیم داشته و هرچه جابه‌جایی و سفرهای شهری بیشتر باشند، تعداد تصادف هم افزایش پیدا خواهد کرد. به همین دلیل این متغیرها دارای ضرایبی با علامت مثبت می‌باشند.

– خطوط ویژه: خطوط ویژه موجود در نواحی یک نقش کاهنده از خود در وقوع تصادف نشان می‌دهند. واضح است که هرچه زیرساخت‌های حمل‌ونقل همگانی بیشتر باشد، میزان استفاده از این شیوه جابه‌جایی بیشتر و استفاده از وسایل نقلیه شخصی کاهش پیدا خواهد کرد که این امر یک تأثیر مثبت در کاهش وقوع تصادفات خواهد داشت. همچنین خطوط ویژه با تفکیک جریان ترافیک باعث کاهش درگیری‌های ترافیکی خواهند شد.

– انتخاب مدل: مجموعه نتایج به‌دست‌آمده نشان داده است که مدل تصادفات جرحی–فوتی برای سفرهای تولید و جذب‌شده چه ازنظر معناداری متغیرها و چه ازنظر معیارهای نیکویی برازش عملکرد بهتری را نشان داده است.

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شد با نگاهی کلان و هم فزون به توابع عملکرد ایمنی، از آن‌ها در جهت پیش‌بینی تعداد تصادف در سطح نواحی شهری و شناخت تأثیر جابه‌جایی و سفرهای درون‌شهری، استفاده شود. به‌منظور ایجاد توابع عملکرد ایمنی هم فزون برای پیش‌بینی تعداد تصادف در سطح نواحی شهری، تعدادی از مدل‌های رگرسیون دوجمله‌ای منفی با توجه به تعدادی متغیر مستقل مربوط به نواحی شهری ساخته شدند. از این مدل‌ها می‌توان برای پیش‌بینی تصادفات و شدت مورد انتظار آن‌ها در سطح نواحی شهری برای سال‌های آینده استفاده کرد.

با هم فزون نمودن اطلاعات در سطح نواحی شهری، فرایند مدل‌سازی توابع عملکرد ایمنی برای سه متغیر مستقل فراوانی کل تصادف، تصادفات خسارتی و تصادفات جرحی و فوتی انجام شد. برای هرکدام از این سه متغیر مستقل روابطی با عنوان تصادفات ایجادشده، تصادفات تولیدشده و تصادفات جذب‌شده ارائه شد. در ارتباط با مدل‌های به‌دست‌آمده می‌توان موارد زیر را ذکر کرد:

– متغیرها در تمامی مدل‌های مربوط به تصادفات کل، خسارتی و جرحی/فوتی ازلحاظ آماری معنی‌دار بوده و نسبت‌های کای دو پیرسن و انحراف به درجه آزادی مدل‌های گفته‌شده در بازه ۰/۸ تا ۱/۲ قرار دارند.

– این مدل‌ها نشان دادند که ارتباط معنی‌داری بین متغیرهای مستقل و فراوانی تصادفات نواحی شهری وجود دارد و تمامی ضرایب متغیرهای به‌کاررفته در مدل‌های ارائه‌شده در سطح اطمینان ۹۰ درصد تخمین زده شده‌اند، گرچه بسیاری از آن‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد هم معنی‌دار می‌باشند. همگی این ضرایب توجیه‌پذیر و نقش حجم سفرهای درون-شهری در تمامی مدل‌ها مشهود است.

– از این مدل‌ها می‌توان برای پیش‌بینی فراوانی تصادف در آینده استفاده کرد و این مدل‌ها توانایی توصیف علت وقوع تصادفات را ندارند.

– این مدل‌ها باید به‌صورت مستقل برای داده‌های هر شهر موردبررسی قرار گیرند و کاربرد آن‌ها برای سایر شهرها فقط در حد مقایسه کلی اطلاعات مجاز است و باید با توجه به شرایط شهر موردمطالعه از ضرایب کالیبراسیون استفاده کرد.

می‌توان گفت توابع عملکرد ایمنی توسعه داده‌شده نتایج قابل قبولی را ارائه کرده‌اند. با توجه به هر ۹ مدل توسعه داده‌شده، به‌وضوح می‌توان دید که فراوانی تصادف در نواحی شهری به تعدادی متغیر مستقل مشابه وابسته هستند و ایمنی حمل‌ونقل درون‌شهری در تضاد کامل با حجم سفرها و جابه‌جایی‌های روزانه درون‌شهری است و هرچه حجم سفرهای درون‌شهری

افزایش یابد شاهد افزایش تعداد تصادف خواهیم بود و می‌توان گفت افزایش معیارهای رویارویی در سطح نواحی شهری باعث افزایش فراوانی تصادف در سطح نواحی شهری خواهد شد.

با توجه به خروجی مدل‌های برازش شده می‌توان دریافت که طول معابر شریانی موجود در نواحی شهری نقش بسزایی در ایمنی حمل‌ونقل و بروز تصادف دارند و خطوط ویژه حمل‌ونقل همگانی نقش مثبتی در جهت کاهش تصادف و افزایش سطح ایمنی حمل‌ونقل درون‌شهری از خود نشان می‌دهند. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که افزایش همه‌ساله طول معابر شهری نمی‌تواند نتیجه‌ای بزرگ و مثبت در جهت افزایش سطح ایمنی حمل‌ونقل درون‌شهری داشته باشد و باید در جهت گسترش هرچه بیشتر زیرساخت‌های حمل‌ونقل همگانی بود. توابع عملکرد ایمنی ارائه‌شده ابزارهایی مناسب برای پیش‌بینی فراوانی تصادف در نواحی شهری و شناخت متغیرهای مؤثر در میزان فراوانی تصادف هستند. در این مطالعه هدف آن بود که نقش جابه‌جایی و سفرهای روزانه درون‌شهری را در میزان فراوانی تصادفات نواحی شهری بررسی کنیم. برای مطالعات آینده در این زمینه می‌توان نقش دیگر متغیرها مانند سهم هریک از شیوه‌های حمل‌ونقل از سفرهای درون‌شهری و مشخصات بیشتری از نواحی شهری مانند تعداد تقاطع‌های موجود در نواحی شهری و نوع این تقاطع‌ها را در میزان فراوانی تصادفات این نواحی بررسی کرد.

گفته شد که توابع عملکرد ایمنی یک جزء از اجزاء مدل‌های پیش‌بینی تصادفات هستند. ضرایب تعدیل تصادف (CMF) نمایانگر تفاوت نسبی فراوانی تصادفات بر اساس تغییر در یکی از شرایط معبر در صورتی است که دیگر شرایط ثابت باشند. می‌توان برای مطالعات آینده مرتبط با تصادفات نواحی شهری پیشنهاد بررسی این ضرایب برای تصادفات در سطح نواحی شهری را با توجه به متغیرهای مختلفی مانند روشنایی و یا علائم راهنمایی معابر موجود در سطح نواحی ارائه کرد.

٦. پی‌نوشت‌ها

1. World Health Organization
2. Exposure
3. Urban Zone
4. Safety Performance Functions
5. National Research Council
6. Negative Binomial
7. Hakkert
8. Rumar
9. Pulido
10. Quasi Induction
11. Crash Rate
12. Kweon
13. Haque
14. Poulos
15. Crash Estimation Method
16. Highway Safety Manual
17. Empirical Bayes Method
18. Crash Modification Factors
19. Calibration Factor
20. Poisson Regression Model
21. Negative Binomial Regression
22. Overdispersion
23. Hilbe
24. Maximum Likelihood Estimation
25. Pearson Chi–Square

٧. مراجع

– میرابی مقدم، محمدحسن، اکبری، علی (۱۳۹۰). توسعه یک تابع عملکرد ایمنی برای خیابان‌های شهری بر مبنای طول قطعه و حجم ترافیک. یازدهمین اجلاس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، ایران.

– Almasi, S.A. and Behnood, H.R., (2022). Exposure based geographic analysis mode for estimating the expected pedestrian crash frequency in urban traffic zones; case study of Tehran. Accident Analysis & Prevention, 168, p.106576.

– Dabbaghfeizi, Saman and Naderan, Ali and Tavakoli Kashani, Ali, Aggregate Crash

generation concept. Accident Analysis & Prevention, 42(1), pp.339-346.

– National Research Council (US). Transportation Research Board. Task Force on Development of the Highway Safety Manual and Transportation Officials. Joint Task Force on the Highway Safety Manual, 2010. Highway safety manual (Vol. 1). AASHTO.

– Poulos, R.G., Hatfield, J., Rissel, C., Flack, L.K., Murphy, S., Grzebieta, R. and McIntosh, A.S., (2015). An exposure based study of crash and injury rates in a cohort of transport and recreational cyclists in New South Wales, Australia. Accident Analysis & Prevention, 78, pp.29-38.

– Pulido, J., Barrio, G., Hoyos, J., Jiménez-Mejías, E., del Mar Martín-Rodríguez, M., Houwing, S. and Lardelli-Claret, P., (2016). The role of exposure on differences in driver death rates by gender and age: results of a quasi-induced method on crash data in Spain. Accident Analysis & Prevention, 94, pp.162-167.

– Rumar, K. (1999). Road safety and benchmarking. In: Proceedings of the Paris Conference on Transport Benchmarking. November 1999, Paris, France.

– Russo, F. and Comi, A., (2017). From the analysis of European accident data to safety assessment for planning: the role of good vehicles in urban area. European transport research review, 9, pp.1-12.

– Shahi. J, Ahmadinejad. M and Naderan. A. (2009) 'Evaluation of mathematical models used as aggregate crash prediction models'. 8th International congress of civil engineering, Shiraz, Iran.

– World Health Organization, (2015). Global status report on road safety 2015. World Health Organization.

Prediction Model Based on Gravity Model: Introducing Crash Risk Distribution Concept. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4637405 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4637405.

– Dalai, B. and Landge, V.S., (2022). Risky zones in urban area: An analysis using fault tree and risk matrix method. Innovative infrastructure solutions, 7, pp.1-11.

– Gomes, M.J.T.L., Cunto, F. and da Silva, A.R., (2017). Geographically weighted negative binomial regression applied to zonal level safety performance models. Accident Analysis & Prevention, 106, pp.254-261.

– Hakkert, A.S., Braimaister, L. and Van Schagen, I., (2002). The uses of exposure and risk in road safety studies (Vol. 2002, No. 12). SWOV Institute for Road Safety.

– Haque, M.M., Washington, S. and Watson, B., (2013). A methodology for estimating exposure-controlled crash risk using traffic police crash data. Procedia-social and behavioral sciences, 104, pp.972-981.

– Hilbe, J.M., 2011. Negative binomial regression. Cambridge University Press.

– Kweon, Y.J. and Kockelman, K.M., (2003). Overall injury risk to different drivers: combining exposure, frequency, and severity models. Accident Analysis & Prevention, 35(4), pp.441-450.

– Liu, J., Khattak, A.J. and Wali, B., (2017). Do safety performance functions used for predicting crash frequency vary across space? Applying geographically weighted regressions to account for spatial heterogeneity. Accident Analysis & Prevention, 109, pp.132-142.

– Naderan, A. and Shahi, J., (2010). Aggregate crash prediction models: Introducing crash

جدول ۲. معرفی داده‌های مورداستفاده در تحلیل

متغیر	واحد	توضیحات	بیشینه مقدار	انحراف استاندارد	میانگین
Total.C	تعداد	کل تصادفات	٦٨	١٤/٤٢٤٣١	١٥/٦
OD.Crash	تعداد	تصادفات خسارتی	٣٦	٨/٦١٩٤٢٨	٨/٧٨
F&l.Crash	تعداد	تصادفات جرحی و فوتی	٣٥	٦/٦٩٨٩٨٢	٦/٨٢
P.HBED	تعداد	میزان تولید سفر با هدف آموزشی	١٢١٥١/١٥٣	٢٢٩٥/٠٤٧	٢٤٥٨/٣٥
P.HBOM	تعداد	میزان تولید سفر کار شخصی	٣٥١١/٦٨	٧٤٢/٠١	٧٨٥/٢٧
P.HBREC	تعداد	میزان تولید سفر تفریحی	٩٠١٥/٢٦	٢٠٤٩/١٧٣	٢٢٤١/٦٤
P.HBSH	تعداد	میزان تولید سفر با هدف خرید	٩٥٥٢/٢٤	١٨٧٧/٩٦٨	٢١٤٠
P.HBW	تعداد	میزان تولید سفر کاری	٧٨٨١	١٨١٦/٢١١	٢١١٦/٨٢
P.NHB	تعداد	میزان تولید سفر غیر خانه مبنا	٥١٣٠	١٠٥٠/٩٩٥	١٠٩٨/٢٦
PRo	تعداد	کل سفرهای تولیدشده نواحی	٤٤٢٨٦/٦٧	٨٩٧٣/٤٠١	١٠٨٤٠/٣٩
A.HBED	تعداد	میزان جذب سفر باهدف آموزشی	١٥٩٠٨/٣١٢	٢٥٣٥/٨٦٨	٢٤٥٨/٣٥
A.HBOM	تعداد	میزان جذب سفر کار شخصی	١٣١٨٣/٥٧	١٢٩٧/٣٨١	٧٨٥/٢٧
A.HBREC	تعداد	میزان جذب سفر تفریحی	٨٥١٩/٥٣	٢٠٨٦/٣٥٣	٢٢٤١/٦٤
A.HBSH	تعداد	میزان جذب سفر خرید	٢٤٢٦٩/٩٣	٣١٥٧/٥٢٩	٢١٤٠
A.HBW	تعداد	میزان جذب سفر کاری	٧٧٧٥/٥٤	١٥٣٥/٨	٢١١٦/٨٢
A.NHB	تعداد	میزان جذب سفر غیر خانه مبنا	٦٩٥٥/٩	١٠٥٥/٦٦٢	١٠٩٨/٢٦
ATR	تعداد	کل سفرهای جذب‌شده نواحی	٤٠٣٤١/٢٦	٧٥٩٢/٦٠٥	١٠٨٠٤/٣٩
T.RAH	متر	طول معابر تند راه موجود در ناحیه	٦٠٤٧	١٣٤٨/٥٤٢	٦٧٢/٥
Arterial1	متر	طول معابر شریانی درجه‌یک ناحیه	٨١٨٦	١٩٨٥/٦٨٦	١٨٠٦/٧٢
Arterial2	متر	طول معابر شریانی درجه ۲ ناحیه	٩١٦٠	١٩٤٣/٩٣٣	١٩١٧/٩٥
J&P.Kon	متر	طول معابر جمع کننده و پخش‌کننده	٦٣٤٢	١١٧٦/٤٣٤	٤٨٢/٣٥
S.line	متر	طول خطوط ویژه	١٩٥٩	٢٨٣/٧٩١٢	١٠٩/٤٦

جدول ۳. رابطه رگرسیونی مربوط به کل تصادفات

کل تصادفات تولید و جذب‌شده				
متغیر	**ضریب**	**انحراف استاندارد**	**t-stat**	**Sig.**
Intercept	۱/٤٦٤۱۱	۰/۱۷۵۱۰۷	۸/۳٦	۰/۰۰۰
Pro	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۰۰۱	۳/۲۰	۰/۰۰۱
Atr	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۱/۷٤	۰/۰۸۲
Arterial 1	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰٤	۳/۳٤	۰/۰۰۱
Arterial 2	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰٤	۱/۹۲	۰/۰۵۵
نکویی برازش				
No	۱۰۰	Pearson/df		۰/۹۱
Df	۹۵	α		۰/۵۱
Deviance	۱۱۷	2 log likelihood		-۷۰٤/۱۵
Pearson	۸۷/۳۸	AIC		۷/۱
Deviance/df	۱/۲۳			

کل تصادفات تولیدشده				کل تصادفات جذب‌شده			
متغیر	**ضریب**	**انحراف استاندارد**	**t-stata**	**Sig.**	**متغیر**	**ضریب**	**انحراف استاندارد**	**t-stat**	**Sig.**
Intercept	۱/۵۱۳۵۷	۰/۱٦٤۵۸۹۸	۹/۲۰	۰/۰۰۰	Intercept	۱/٦۵۰۸	۰/۱٦۹۵٤۸	۹/۷٤	۰/۰۰۰
P.HBSH	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۵	۳/۷۹	۰/۰۰۰	A.HBREC	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۵	۲/۳۳	۰/۰۲۰
P.NHB	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۸	۲/۳۵	۰/۰۱۹	A.HBW	۰/۰۰۰۱٦	۰/۰۰۰۰٦	۲/۸٤	۰/۰۰۵
Arterial1	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰٤	۳/٤٦	۰/۰۰۱	Arterial1	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۵	۳/۷۷	۰/۰۰۰
Arterial2	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰٤	۱/۸۹	۰/۰۵۸					
نکویی برازش					**نکویی برازش**				
N	۱۰۰				N	۱۰۰			
Df	۹۵				Df	۹٦			
Deviance	۱۱۷/٤				Deviance	۱۱٦/۹			
Pearson	۸٦/۹۷۵۲				Pearson	۹٦/۳۳			
Deviance/df	۱/۲۳				Deviance/df	۱/۲۱			
Pearson/df	۰/۹۱۵۵				Pearson/df	۱/۰۰۳			
α	۰/۵				α	۰/۵۷			
2 log likelihood	-۷۰۲/۹۸				2 log likelihood	-۷۱۳/۱۲			
AIC	۷/۱				AIC	۷/۲۱			
Y= EXP (1.51357 + 0.00018 P.HBSH + 0.00019					Y= EXP (1.6508 + 0.00011 A.HBREC + 0.00016				

A.HBW + 0.00018 Arterial1)	P.NHB + 0.00015 Arterial1 + 0.00008 Arrerial2)

جدول ٤. رابطه رگرسیونی مربوط به تصادفات خسارتی

تصادفات خسارتی تولید و جذب‌شده				
متغیر	**ضریب**	**انحراف استاندارد**	**t-stat**	**Sig**
Intercept	۰/۸۲۹۷٦	۰/۱۹٦٤۲۰۲	٤/۲۲	۰/۰۰۰
Pro	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۲/۵۰	۰/۰۱۲
Atr	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۲/۰۱	۰/۰٤۵
Arterial1	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۵	۳	۰/۰۰۳
Arterial2	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰٤	۲/۲۹	۰/۰۲۲
نکویی برازش				
No	۱۰۰	Pearson/Df		۰/۹٤
Df	۹۵	α		۰/۵۷
Deviance	۱۱٤	2 log likelihood		−۵۵۹/۷۲
Pearson	۸۹/۹۱	AIC		٦
Deviance/Df	۱/۲			

تصادفات خسارتی تولیدشده				تصادفات خسارتی جذب‌شده			
متغیر	**ضریب**	**انحراف استاندارد**	**t-stat**	**Sig**	**متغیر**	**ضریب**	**انحراف استاندارد**	**t-stat**	**Sig**
Intercept	۰/۹۱۹۲۲	۰/۱۸۳۳۵۱	۵/۰۱	۰/۰۰۰	Intercept	۱/۰۵۹۵۵۲	۰/۱۷۹۷٤۵	۵/۸۹	۰/۰۰۰
P.HBSH	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۵	۳/۲۲	۰/۰۰۱	A.HBSH	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰٤	۲/۲۷	۰/۰۲۳
P.NHB	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۹	۲/۱۷	۰/۰۳	A.HBW	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۷	۲/۵۷	۰/۰۱۰
Arterial1	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۵	۳/۱۸	/۰۰۱	Arterial1	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۵	۳/٦۳	۰/۰۰۰
Arterial2	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰٤	۲/۳۹	۰/۰۱۷	Arterial2	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۵	۱/۸۱	۰/۰۷۰
نکویی برازش					S.line	−۰/۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰٤۹	−۲/٦۲	۰/۰۰۹
No	۱۰۰				**نکویی برازش**				
Df	۹۵								
Deviance	۱۱٤/۷				No	۱۰۰			
Pearson	۹۱/٦۵				Df	۹٤			
Deviance/df	۱/۲				Deviance	۱۱۳/۹۲			
Pearson/df	۰/۹٦				Pearson	۱۰۲/۲۸			
α	۰/۵۷				Deviance/df	۱/۲۱			
2 log likelihood	−٦۰۰/۱				Pearson/df	۱/۰۸			

AIC	٦/١	α	٠/٥٨
Y= EXP (0/91922 + 0/00017P. HBSH + 0/00019P. NHB + 0/00015 Arterial1 + 0/00011Arterial2)		2 log likelihood	-٦٠٠/٩
		AIC	٦/١
		Y= EXP (1/059552 + 0/0001A. HBSH + 0/00017 A.HBW + 0/00017 Arterial1 + 0/0009 Arterial2 - 0/00139 S.line)	

جدول ۵. رابطه رگرسیونی مربوط به تصادفات جرحی - فوتی

تصادفات جرحی - فوتی تولید و جذب‌شده				
متغیر	**ضریب**	**انحراف استاندارد**	**t-stat**	**Sig.**
Intercept	۰/۹۵۵٦٦	۰/۱۵۳۵۰۹۲	٦/۲۳	۰/۰۰۰
Pro	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۱	٤/۰۹	۰/۰۰۰
Arterial1	۰/۰۰۰۱٦	۰/۰۰۰۰۵	۳/۲۲	۰/۰۰۱
نکویی برازش				
No	۱۰۰	Pearson/Df		۰/۹۳
Df	۹۷	α		۰/۵۳
Deviance	۱۲۰/٤	2 log likelihood		-۵۵۷/۰۱
Pearson	۹۰/۹	AIC		۵/٦
Deviance/Df	۱/۲			

تصادفات جرحی - فوتی تولیدشده				تصادفات جرحی - فوتی جذب‌شده			
متغیر	ضریب	انحراف استاندارد	t-stat	Sig.	متغیر	ضریب	انحراف استاندارد	t-stat	Sig
Intercept	۰/۸۳۸۷٤	۰/۱٦۰۷۵	۵/۲۲	۰/۰۰۰	Intercept	۱/۰۹۸۰٦	۰/۱۵۱۰۲	۷/۲۷	۰/۰۰۰
P.HBSH	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۵	۳/٦	۰/۰۰۰	A.HBREC	۰/۰۰۰۱٦	۰/۰۰۰۰۵	۳/۰۵	۰/۰۰۲
P.NHB	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۸	۲/٤۷	۰/۰۱۳	Arterial1	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۵	۳/۲۹	۰/۰۰۱
Arterial1	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۵	۳/۱۲	۰/۰۰۲	**نکویی برازش**				
نکویی برازش					No	۱۰۰			
No	۱۰۰				Df	۹۷			
Df	۹٦				Deviance	۱۱۹/۲			
Deviance	۱۲۰/۷				Pearson	۸۸/۳۷			
Pearson	۹٤/٦۸				Deviance/Df	۱/۲			
Deviance/Df	۱/۲				Pearson/Df	۰/۹۱			
Pearson/Df	۰/۹۸				α	۰/٦۱			
α	۰/۵				2 log likelihood	-۵٦٤/٤٦			
2 log likelihood	-۵۵۲/۵۲				AIC	۵/۷			
AIC	۵/٦								
Y=EXP(0/83874+ 0/00019 P.HBSH + 0/00019 P.NHB + 0/00015Arterial1)					Y= EXP (1/09806 + 0/00016 A.HBREC+ 0/00017Arterial1)				