تخمین تعداد تصادفات ترافیکی در مناطق شهری به کمک مدلهای هم‌فزون

علی نادران، دکتری راه و ترابری، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
E-mail: ali@naderan.com

تاریخ دریافت:۹۰/۸/۲٤ تاریخ پذیرش:۹۰/۱۰/۱۲

چکیده

توجه به ایمنی در برنامه ریزی حمل و نقل، راهبرد جدیدی در برخورد کنشی با تصادفات است. به این منظور باید ابزارهای مناسبی در سطح کلان برنامه‌ریزی تهیه شود تا بتوان تاثیر طرحهای حمل و نقل را بر ایمنی به صورت هم‌فزون ارزیابی کرد. هدف پژوهش حاضر، تدوین مدلهای هم‌فزون پیش‌بینی تصادفات به گونه‌ای سازگار با مدلهای تولید سفر در فرآیند چهار مرحله‌ای برآورد تقاضای سفر است. مفهوم مدلهای ایجاد تصادف بر اساس استفاده از نتایج مدلهای ایجاد سفر و برازش خطی تعمیم‌یافته با توزیع دوجمله‌ای منفی، به این منظور معرفی شده است. در این مدلها، رابطه تعداد تصادفات در ناحیه‌های ترافیکی شهری با تعداد سفرهای ایجاد (تولید/جذب) شده در آن ناحیه مورد ارزیابی قرار گرفته است. به این ترتیب ابزاری برای بررسی تاثیر سناریوهای مختلف حاصل از برنامه‌ریزی حمل و نقل و مدیریت تقاضای سفر بر کاهش هم‌زمان ازدحام و تصادفات در مطالعات جامع حمل و نقل فراهم می‌شود. نتایج نشان داده اند رابطه معنی‌داری بین تعداد تصادفات و تعداد سفرها به تفکیک هدف در ناحیه‌های ترافیکی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ایمنی، ایجاد سفر، ایجاد تصادف، مدل هم‌فزون، مدل دوجمله‌ای منفی

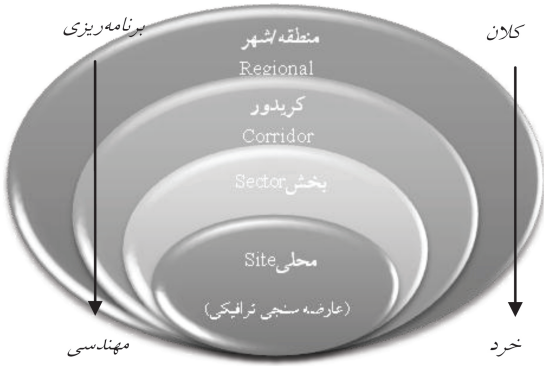
۱. مقدمه

مدلهای هم‌فزون پیش‌بینی تصادفات هنوز در مراحل بسیار مقدماتی بوده و جایگاه آنها در برنامه‌ریزی ایمنی شهری هنوز به خوبی تدوین نشده است. امروزه ایمنی ترافیک به صورت یک مشکل در مهندسی ترافیک و در قالب مطالعات کوتاه مدت ۳ تا ۵ ساله مورد توجه قرار می‌گیرد، نه به عنوان یک مشکل برنامه‌ریزی بلندمدت ۱۰ تا ۲۰ ساله. به عبارت دیگر، مساله ایمنی معمولاً در برنامه‌ریزیهای بلندمدت و کلان حمل و نقل مورد توجه قرار نمی‌گیرد و توجه بسیار کمی به جایگاه آن در فرآیند برنامه‌ریزی حمل و نقل می‌شود [Washington et al., 2006]و [Mashad Municipality, Org. Transport and Traffic, 2009]. شرح خدمات مطالعات جامع حمل و نقل [Ministry of Interiors, 1996a] و مطالعات ساماندهی ترافیک [Ministry of Interiors, 1996b] در کشور نمونه‌ای از این مساله است. یک دلیل این است که بسیاری از مسولین، عامل انسانی و نامناسب بودن وضعیت راهها را علت اصلی تصادفات می‌دانند. عامل انسانی نیازمند آموزش و فرهنگ‌سازی و عامل راه نیازمند سرمایه‌گذاری‌های عظیمی است تا در قالب طرحهای شناسایی و حذف نقاط حادثه‌خیز مورد توجه قرار گیرد. به علاوه بسیاری از پژوهشهای مرتبط با تصادفات به راههای برون شهری اختصاص یافته است [Ayati, et al. 2009]. با این حال، برنامه‌ریزی ایمنی‌گرا[1] امروزه در بسیاری از پژوهشهای مرتبط با تصادفات شهری مورد توجه جدی قرار گرفته است.

در رویکرد روندگرا[2] به تصادفات، تعداد تصادفات سالهای گذشته برای پیش‌بینی تعداد تصادفات در آینده بکار می‌رود که امروزه روشی نامناسب ارزیابی می‌شود [Washington et al., 2006]، به ویژه هنگامی که تاریخچه داده‌ها به اندازه کافی در سالهای گذشته امتداد نیافته باشد و یا تغییرات قابل توجهی در اوضاع اجتماعی- اقتصادی کشور رخ داده باشد. علت ضعف مدلهای روندگرا این است که متغیرهای موثر در بروز تصادفات را در نظر نمی‌گیرد، بلکه فرض می‌کند عوامل موثر در رشد تصادفات، همگی دارای روند رشد متناسب و یکنواختی هستند.

در حالی که به کمک مدلهای هم‌فزون ، پیش‌بینی تصادفات[3] که در این مقاله ارایه خواهند شد، می‌توان تاثیر تغییرات متغیرهای موثر در بروز تصادفات را در نظر گرفت. افزون بر این، ضمن پیش‌بینی تصادفات آتی با توجه به رشد متغیرهای مستقل، تاثیر طرحهای مختلف بر ایمنی ترافیک در آینده نیز ارزیابی شود. رویکرد پیش‌بینی در این مدلها مشابه مدلهای پیش‌بینی تقاضای سفر و بر مبنای رشد و تغییر متغیرهای مستقل در آینده است.

شکل ۱، تفاوت مدلهای هم‌فزون و ناهم‌فزون[4] را نشان می‌دهد. مدلهای هم‌فزون از داده‌های کلان و هم‌فزون استفاده کرده و بنابراین برای ارزیابی یک پروژه یا کریدور خاص مناسب نیستند (زیرا سطح دقت داده‌ها در این حد نیست)، بلکه تاثیر کلان طرحهای حمل و نقلی را بر کل شهر نشان می‌دهند. از سوی دیگر، مدلهای ناهم‌فزون که در اغلب مطالعات مربوط به تصادفات بکار می‌روند، برای ارزیابی یک کریدور یا پروژه مناسب هستند. به عنوان مثال، در مدلهای ناهم‌فزون، از مشخصات هندسی و حجم تردد رویکردهای تقاطع برای ساخت مدل پیش‌بینی تصادف در تقاطع‌ها استفاده می‌شود [Miaou and Lum, 1993] و [Greibe, 2003]، در حالی که در یک مدل هم‌فزون، تعداد تصادفات در ناحیه ترافیکی و رابطه آن با ویژگیهای کلی آن ناحیه مانند تعداد تقاطعها، جمعیت، اشتغال، طول معابر و غیره ملاک عمل خواهد بود [Hadayeghi et al., 2003]. به عبارت دیگر، مدلهای هم‌فزون (کلان)، برای برنامه‌ریزی (ایمنی) حمل‌ونقل و مدل‌های ناهم‌فزون (خرد) برای مهندسی (ایمنی) ترافیک مناسب هستند.



شکل ۱. سطوح برنامه ریزی حمل و نقل و ایمنی [Bellomo-McGee Inc.]

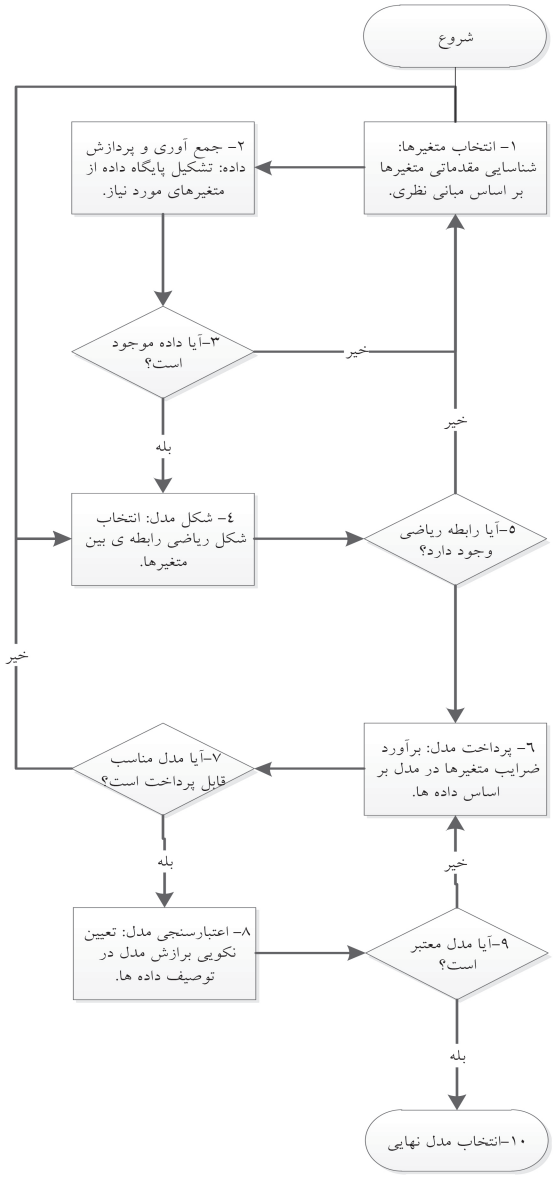
در صورتی که فرآیند ساخت مدلهای هم‌فزون پیش‌بینی تصادفات با موفقیت همراه باشد، می‌توان از آن برای تدوین مدلهای چهار مرحله‌ای برنامه‌ریزی ایمنی در تعامل با مدلهای چهار مرحله‌ای برآورد تقاضای سفر استفاده کرد. به این مفهوم که هر سفر ایجاد (تولید یا جذب) شده در یک ناحیه ترافیکی، در معرض خطر۵ تصادف قرار دارد. در واقع، علت ریشه‌ای بروز تصادف، سفر است: اگر سفری انجام نشود، تصادفی هم رخ نخواهد داد! مفهوم مدل‌سازی چهار مرحله‌ای ایمنی که در شکل ۲ ارایه شده، نیازمند پژوهش بیشتری است، اما گام اول آن یعنی مدلهای ایجاد تصادف در مقاله حاضر به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.

شکل ۲. فرآیند چهار مرحله‌ای برنامه‌ریزی حمل و نقل و ایمنی [Nad-eran and Shahi, 2010]

مدل ایجاد تصادفات بر اساس نتایج مدلهای ایجاد سفر که تعداد سفرهای تولید/ جذب شده به/ از یک ناحیه ترافیکی را به تفکیک هدف سفر برای سال پایه و سالهای افق آینده برآورد می‌کنند، ساخته می‌شود. از آنجا که بسیاری از سیاستهای مدیریت تقاضای سفر، به محدود یا منحرف کردن سفرها با هدفی خاص مربوط می‌شود (مانند کاهش سفرهای خرید به مرکز شهر از طریق چند هسته‌ای کردن مراکز خرید شهر)، استفاده از این متغیرها، حساسیت مدل را به نتایج راهبردهای برنامه‌ریزی حمل و نقل افزایش داده و تاثیر این طرحها را بر تعداد تصادفات برآورد می‌کند.

۲. روش ساخت مدل

فرآیند ساخت مدل‌های هم‌فزون پیش‌بینی تصادفات از پنج گام اصلی مطابق شکل ۳ تشکیل شده است [Cameron and Trivedi, 1998] و [Washington et al., 2003]. هر گام یک حلقه بازخورد به کلیه گام‌های قبل از خود دارد. به عنوان مثال، اگر در گام ۲ امکان دستیابی به برخی از متغیرهای پیشنهادی در گام ۱ فراهم نشود، یک حلقه بازخورد برای انتخاب متغیرهای جدید از گام ۲ به گام ۱ وجود خواهد داشت. این گامها در ادامه مورد اشاره قرار می‌گیرد.



شکل ۳. فرآیند ساخت مدلهای هم‌فزون پیش‌بینی تصادفات

۲-۱ انتخاب متغیر مناسب

شناسایی متغیرهای اولیه بر اساس هدف مدل‌سازی و مبانی نظری، اولین گام در روش مدل‌سازی اکونومتریک[۶] است [OECD, 1997]. مرور مطالعات قبلی نشان می‌دهد متغیرهایی در دسته‌های زیر برای ساخت مدلهای کلان پیش‌بینی تصادفات بکار رفته‌اند:

• کاربری زمین مانند تعداد مدارس، خانه‌ها [Hadayeghi et al., 2007]، [Kim et al., 2006]؛

• مشخصات شبکه مانند طول راههای مختلف (اصلی، فرعی)، تراکم تقاطعها [de Guevara et al., 2004]، [Noland, 2002]، انحنای متوسط معابر [Quddus, 2008]؛

• شرایط جوی مانند روزهای بارانی در طول سال [Aguero-Valverde and Jovanis, 2006]؛

• متغیرهای ترافیکی مانند سرعت مجاز، خودرو- کیلومتر طی شده [Hadayeghi et al., 2003]، متوسط سرعت تردد [Quddus, 2008]؛

روزهای خاص سال مانند تعطیلات، آخر هفته [Qadeer M -mon, 2006]؛

• ویژگیهای اقتصادی- اجتماعی مانند گروههای سنی جمعیت [Washington et al., 2006]، نوع اشتغال [Hadayeghi et al., 2007]، جمعیت زیر خط فقر [Kim et al., 2006]، مالکیت خودرو [Quddus, 2008]؛

متغیرهای جایگزین[۷] برای نظارت پلیس [Qadeer M -mon, 2006]، پیشرفتهای پزشکی [Noland and Quddus, 2004]، استفاده از کمربند ایمنی [Noland, 2002].

این متغیرها در سطوح مختلفی هم‌فزون شده‌اند، از جمله: ایالت [Noland, □]، بخش[۸] [Aguero-Valverde and J -vanis, 2006] ، ناحیه ترافیکی [Hadayeghi et al., 2007]، حوزه آماری [Quddus, 2008]، بلوک آماری [Levine et al., 1995]، و حتی شبکه‌ای شطرنجی به مساحت ۰/۲۵ کیلومترمربع [Kim et al., 2006]. علیرغم تنوع نسبی متغیرهای مورد استفاده در پیش‌بینی تصادفات، باید تاکید شود که مبانی نظری و منطق انتخاب متغیرها بسیار مهم‌تر از توجه صرف به نتایج آزمون‌های نکویی برازش است. برای مثال، اگر هدف از ساخت مدل، تدوین اقدامات اصلاحی ایمنی در سطح کلان باشد، باید از متغیرهایی در مدل استفاده کرد که نسبت به مهندسی یا سیاست‌گذاری حساس باشند. از سوی دیگر اگر هدف از ساخت مدلها پیش‌بینی تعداد تصادفات در آینده باشد، متغیرهای جمعیتی و اقتصادی-اجتماعی مناسب‌تر خواهند بود.

هدف اصلی پژوهش حاضر، ساخت مدلهای ایجاد تصادف برای تخمین (پیش‌بینی) میزان تصادفات ترافیکی در مناطق ترافیکی شهری در آینده است. به این ترتیب، ویژگیهای زیر را می‌توان برای متغیرهای مستقل مدل متصور شد:

۱) شاخصی از تعداد سفرها باشد،

۲) الگوی سفرهای روزانه را توصیف کند،

۳) ماهیت (علت انجام) سفرها را توصیف کند،

٤) رشد آینده تعداد سفرها را در نظر بگیرد،

۵) پیش‌بینی مقدار آن در آینده آسان باشد،

٦) به عنوان عامل در معرض بودن۹ قابل استفاده باشد،

۷) با فرآیند برآورد/ مدیریت تقاضای سفر سازگار باشد،

۸) هزینه اضافی زیادی به فرآیند جمع‌آوری داده‌ها در مطالعات جامع حمل و نقل تحمیل نکند،

۹) نتایج آن را بتوان به سادگی با فرآیند برنامه‌ریزی حمل ونقل تلفیق کرد.

متغیرهایی که برای ورود به مدلهای ایجاد تصادف، واجد کلیه صفات فوق باشند، نتایج مدلهای ایجاد سفر هستند که به تفکیک هدف سفر تولید شده در یک ناحیه ترافیکی یا جذب شده به آن ناحیه برای ساخت مدل بکار خواهند رفت. به این ترتیب، مفهوم مدلهای ایجاد تصادف به صورت موازی و کاملاً مرتبط با ایجاد سفر شکل می‌گیرد. البته پس از این مرحله، باید امکان حضور و معنی‌داری متغیرها در مدل به کمک آزمونهای نکویی برازش ارزیابی شود.

در این پژوهش، تصادفات به دو دسته جرحی و خسارتی طبقه‌بندی شده‌اند، زیرا مطالعات قبلی نشان داده عوامل موثر بر تصادفات با توجه به شدت تصادف، متفاوت هستند [Hadayeghi et al., 2007]و [Quddus, 2008]. از آنجا که طبق قانون کلیه

تصادفات جرحی توسط پلیس گزارش می‌شوند، داده‌های آنها از دقت بیشتری برخوردارند.

۲-۲ جمع‌آوری و پردازش داده

جمع‌آوری پایگاه داده‌ها شامل متغیرهای احتمالی مورد استفاده در مدل‌سازی، گام دوم در فرآیند ساخت مدل‌های ایجاد تصادف است. این داده‌ها معمولاً از سازمانهای مختلف که داده‌ها را با سطوح دقت متفاوت و در محیط‌های نرم‌افزاری گوناگون نگهداری می‌کنند، به دست می‌آیند. برخی از این منابع عبارتند از: پلیس، سازمان ملی آمار، شهرداری، سازمان حمل و نقل و ترافیک، نتایج مطالعات جامع حمل و نقل و غیره.

داده‌های پژوهش حاضر بر مبنای نتایج مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد مقدس جمع‌آوری شده است [Mashad M – nicipality, Org. Transport and Traffic, 2009] که در محیطهای Access/Excel و GIS تهیه شده بودند. نتایج مدلهای ایجاد سفر و داده‌های تصادفات برای سال ۱۳۸۵ موجود است. کلیه این داده‌ها ابتدا در قالب لایه‌های مختلف وارد محیط GIS شده و سپس بین ۱۴۱ ناحیه‌ی ترافیکی شهر تقسیم شدند. در نهایت، این ۱۴۱ ناحیه به ۱۵ منطقه ترافیکی تجمیع شد، تا سطح هم‌فزونی مناسبی از داده‌ها برای ارزیابی مدل‌ها و ارایه راهبردهای مدیریتی و طرح‌های کلان اصلاحی در آینده فراهم شود. خلاصه ویژگیهای آماری متغیرها در جدول ۱ ارایه شده است. توزیع مکانی کل سفرهای تولید/جذب شده و تعداد تصادفات در ناحیه‌های ترافیکی شهر مشهد در سال ۱۳۸۵ در شکل‌های ٤ تا ۷ ارایه شده است.

جدول ۱. ویژگیهای متغیرهای جمع‌آوری شده در شهر مشهد برای ساخت مدل

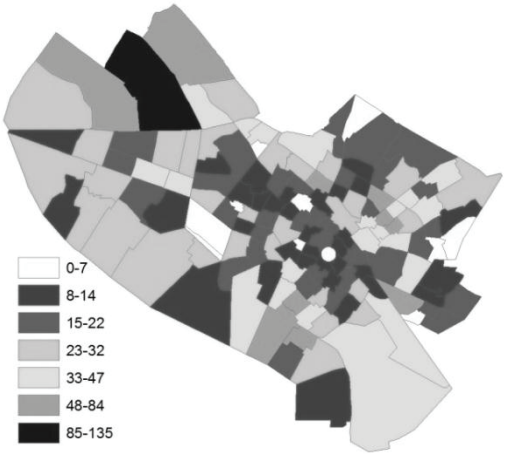
گروه	نام متغیر	شرح	کمینه	بیشینه	متوسط	انحراف معیار	جمع کل در سال		
							۱۳۸۵	۱۳۹۰	۱۳۹۵
	*PDO	خسارتی	۰	۱۱۵۷	۱۵٤/۷۰	۱۵۰/٦۹	۲۱۸۱۳	–	–
	Injury	جرحی	۰	۱۳۵	۲۲/۱٦	۱۷/۱۵	۳۱۲۵	–	–
تعداد تصادفات	Fatality	فوتی	۰	۳	۰/۳٤	۰/٦۱	٤۸	–	–
	severe	تعداد شدید (فوتی+جرحی)	۰	۱۳۵	۲۲/۵۰	۱۷/۳۱	۳۱۷۳	-	-
	total	تعداد کل تصادفات	۰	۱۲۹۲	۱۷۷/۲۱	۱٦۳/۱۱	۲٤۹۸٦	-	-
	pw	با هدف شغلی	۰	۲۳۰۸۰	۵۱۹۵/۲٤	۳۷٤۹/۸۸	۷۳۲۵۲۹	۸٤۰۸٦۱	۹۷٤٦۲۳
	pedu	با هدف تحصیلی	۰	۱٦۷۹۳	۲۲۸۱/۲۱	۲۲٤۹/۱۳	۳۲۱٦۵۰	۳٦٤٤٤۲	٤۳٦۱۱۰
	peduu	با هدف تحصیلی دانشگاهی	۰	۱۱٤۲	۲۳۰/۸۱	۲۰۸/۱۹	۳۲۵٤٤	۳٦۷۳۳	٤۱۵۲۸
تعداد	psh	با هدف خرید	۰	٤۸۷۳	۱۲٤۳/۲۱	۹۰۷/۰۹	۱۷۵۲۹۳	۱۹۵۹۰۹	۲۲۲٤۸۲
تولید سفر	pre	با هدف تفریحی	۰	۸۳۳۸	۲۰۷۵/۹۵	۱۵۱٤/۹۹	۲۹۲۷۰۹	۳۲۷٦۸۱	۳۷۳۳۳۲
	pper	با هدف شخصی	۰	۵٦۱۸	۱۰٦۲/۸۵	۸۵۸/۲۹	۱٤۹۸٦۲	۱٦۹۰٤۷	۱۹۷۱٤۵
	ppilg	با هدف زیارتی	۰	٦۲٦	۲۵۵/٤۸	۱٤٦/۰۸	۳٦۰۲۳	۳۹٤۳۳	٤۲٦٤٦
	pnhb	غیرخانه–مبنا	۰	۱٤۸۱۰	۱۳٤۸/۱۰	۱٦۲٦/۰۲	۱۹۰۰۸۳	۲۰۷٤۷٦	۲۲۸۲٦٦
	aw	با هدف شغلی	۰	۲۲۸۳۹	٤۸۳۳/۷۵	۳٦۷۲/۱٤	٦۸۱۵۵۹	۷٤۳۰٦٦	۸۱۸۹٦۸
	aedu	با هدف آموزشی	۰	۱۵۳۵۷	۲۱۵۳/٦۵	۲۱۰۳/۲۳	۳۰۳٦٦۵	۳٤۱۸۰۷	۳۸۷۱۸۹
تعداد	ash	با هدف خرید	۰	۲۳۸٦۸	۱۰۰۵/٦۰	۲۰۸۵/۳۷	۱٤۱۷۹۰	۱۵۳۷۹٦	۱٦۹۵۱۰
جذب سفر	are	با هدف تفریحی	۰	۱۳٤۱۷	۱۸۵۸/۲۸	۲۱۷۹/۰۱	۲٦۲۰۱۸	۳۲۷۱۲٤	۳۸٦۲۷۸
	aper	با هدف شخصی	۰	۱۰٦۹۵	۸۰۰/۳۸	۱۱۸٤/۰۲	۱۱۲۸۵٤	۱۲۱۰٦۳	۱۳۰۱٤٤
	anhb	غیرخانه–مبنا	۰	۱٤۸۹٤	۱۳۳۲/۹۲	۱۵٦۵/۳۱	۱۸۷۹٤۲	۲۰٤۷٤۸	۲۲۵۱۱۹
	awa	با هدف شغلی	۵	۳۹٤۵۸	۱۱۳۲۳/۸٤	۷٦٤۹/۲۱	۱۵۹٦٦٦۱	۸۱۰۷٦۳	۸۸۱۹۹۷
	aedua	با هدف آموزشی	۰	۵۱٤۷۸	۵۳۹٤/٤۰	٦۹۲۲/٤٤	۷٦۰٦۱۱	۳۲٤۲۳٦	۳۵٦۸۲۹
تعداد	asha	با هدف خرید	۰	۱۵۱۸۷	۲۱۰۸/۵٦	۲٤۱۳/۱٤	۲۹۷۳۰۷	۱۸٤۳۱۷	۲۰۰۹۲۵
جذب سفر	area	با هدف تفریحی	۰	٤۱۱۱۹	۱۲۳۳/۰۱	۳٦۷۵/۷۳	۱۷۳۸۵۵	۳۰۱۵۵٦	۳۵۸۷۰۰
در واحد سطح	apera	با هدف شخصی	۱۰	۱۵۸۸٦	۱۷٦۲/۰۱	۲٤٤۲/۵٤	۲٤۸٤٤٤	۱۳۳٤۹٤	۱٤۱۳۹۸
	anhba	غیرخانه–مبنا	۰	۱۰۵۷۷	۸۹۷	۱۵۳۳/۵۱	۱۲٦٤۷۷	۲۳۲۸٤۵	۲۵۲۹۵۲

* *Property Damage Only (PDO)*

شکل ٤. توزیع مکانی کل سفرهای تولید شده در هر ناحیه ترافیکی

شکل ٥. توزیع مکانی کل سفرهای جذب شده به هر ناحیه ترافیکی

شکل ٦. توزیع مکانی تصادفات خسارتی در هر ناحیه ترافیکی



شکل -۷ توزیع مکانی تصادفات جرحی در هر ناحیه ترافیکی

۲-۳ انتخاب شکل ریاضی مدل

انتخاب شکل ریاضی رابطه بین متغیرهای مستقل با تعداد تصادفات در ناحیه‌های ترافیکی، زیربنای مدل‌سازی آماری را تشکیل می‌دهد. هدف از مدل‌سازی، نوع داده‌های موجود، بسته نرم‌افزاری و مهارت محاسباتی مورد نیاز برای ساخت مدل آماری، تاثیر زیادی در انتخاب شکل ریاضی مدل در پژوهشهای قبلی دارد. کلارک [Clark and Cushing, 2004] از مدلهای برازش خطی برای برآورد تاثیر تراکم جمعیت، سرانه خودرو-کیلومتر طی شده، و وجود مرکز فوریتهای پزشکی استفاده کرد. اما میاو و لرد [Miaou and Lord, 2003] استفاده از مدلهای خطی را به دلیل آنکه توزیع تصادفات را به درستی توصیف نمی‌کنند، مناسب نمی‌دانند. از آنجا که تعداد تصادفات از نوع اعداد غیرمنفی صحیح است، مدلهای پواسون در سطوح خرد و کلان پیش‌بینی تصادفات توسط پژوهشگران بکار رفته‌اند [Greibe, 2003] و [Chatterjee et al., 2003]. یکی از الزامات مدلهای پواسون این است که میانگین و واریانس با هم برابر باشند. هنگامی که واریانس از میانگین بزرگ تر باشد، داده‌ها پراکنده بوده و با توزیع دوجمله‌ای منفی بهتر مدل می‌شوند [Washington et al., 2003].

کاربرد موفق مدلهای دوجمله‌ای منفی برای پیش‌بینی تصادفات به صورت هم‌فزون و در سطح کلان توسط پژوهشگران بسیاری گزارش شده است [Qadeer, Hadayeghi et al., 2007]، [Memon, 2006]، [Miaou and Lord, 2003]، [Maher and Summersgill, 1996]، [Abdel-Aty and Radwan, 2000]. توانایی مدلهای کلان برای پیش‌بینی

تعداد تصادفات در آینده نیز بر اساس مجموعه‌ای از داده‌های سال‌های مختلف ارزیابی و تایید شده است [Hadayeghi et al., 2006]. البته برخی پژوهشگران نیز از مدلهای لگاریتم خطی که از روش حداقل مربعات برآورد می‌شوند در برآورد تصادفات ناحیه‌های ترافیکی با موفقیت استفاده کرده‌اند [Washington et al., 2006]، [Chatterjee et al., 2003]، [Wier et al., 2009]. مدلهای پواسون یا دوجمله‌ای منفی با صفر آماسیده نیز اگر چه نکویی برازش مدلها را بهبود می‌دهند [Shankar et al., 1997] و [Qin et al., 2004]، اما برخی پژوهشگران کاربرد آنها را به لحاظ مفهومی برای مدلهای توصیفی مناسب نمی‌دانند [Lord et al., 2005] و [Lord et al., 2007].

در مدل دوجمله‌ای منفی، تفاوت واریانس و میانگین توسط رابطه ۱ بیان می‌شود:

$$V[u] = u + \alpha u^2 \qquad (۱)$$

که در آن V[u]= واریانس تصادفات؛ u= میانگین تصادفات؛ α= ضریب پراکندگی[۱۰]. در صورتی که α صفر باشد، مدل دوجمله‌ای منفی به مدل پواسون تبدیل خواهد شد.

شکل کلی توزیع دوجمله‌ای منفی در رابطه ۲ ارایه شده که در آن Γ(.) تابع گاماست [Washington et al., 2003].

$$P(y_i) = \frac{\Gamma((1/\alpha)+y_i)}{\Gamma(1/\alpha)y_i!}\left[\frac{1/\alpha}{(1/\alpha)+\lambda_i}\right]^{1/\alpha}\left[\frac{\lambda_i}{(1/\alpha)+\lambda_i}\right]^{y_i} \qquad (۲)$$

پس از بررسی و مرور منابع مختلف، در این پژوهش برای برآورد تعداد تصادفات در ناحیه‌های ترافیکی و ساخت مدلهای ایجاد تصادفات از مدلهای دوجمله‌ای منفی با تبدیل لگاریتمی با شکل کلی رابطه‌ی ۳ استفاده شده است.

$$y = \exp\sum_{i=1}^{n} b_i X_i \qquad (۳)$$

که در آن y= برآورد تعداد تصادفات؛ X_i= متغیرهای مستقل؛ b_i=ضرایب مدل.

٤-۲ پرداخت مدل

پرداخت یا برآورد مدل، شامل برآورد ضرایب مدل بر اساس شکل ریاضی و داده‌های مشاهده شده است. به این منظور نرم‌افزارهای مختلفی از جمله SAS [Hadayeghi et al., 2007]، Gen-Stat [Maher and Summersgill, 1996] و Qadeer [Memon, 2006]، STATA [Noland, 2002] و Wier [et al., 2009]، LIMDEP [Washington et al., 2006]، R [de Guevara et al., 2004]، aML [verde and Jovanis, 2006]، WinBUGS [Quddus, 2008]، SPSS، S-Plus قابل استفاده هستند. کلیه این نرم‌افزارها قادر به برآورد ضرایب مدل با توزیع دوجمله‌ای منفی و ارایه آزمون‌های آماری مختلف هستند. در این پژوهش، ضرایب مدل از روش بیشینه احتمال و به کمک نرم‌افزار STATA محاسبه خواهد شد [STATA, 2007]. به این منظور، ابتدا یک مدل پایه و صرفاً با عدد ثابت برآورد می‌شود، سپس متغیرهای مستقل دیگر یکی پس از دیگری وارد مدل می‌شود و شرط باقی‌ماندن آنها در مدل، بهبود کیفیت و نکویی برازش مدل است. تصمیم‌گیری در مورد کیفیت مدل و نکویی برازش آن بر اساس معیارهای زیر صورت گرفته است [Cameron and Trivedi, 1998]، [Washington et al., 2003] و [Shahi et al., 2009]:

۱. ضرایب مدل در سطح اطمینان ۹۵٪ با حداکثر ۵٪ خطا معنی‌دار باشند؛

۲. نسبت دویانس یا کای‌دو پیرسن به درجه آزادی نزدیک به ۱ و بین ۰/۸ تا ۱/۲ باشد؛

۳. علامت و بزرگی ضرایب مدل باید با مبانی نظری تاثیر متغیر بر فرآیند تصادفات سازگار باشد؛

٤. اگر هدف از ساخت مدل صرفاً پیش‌بینی تعداد تصادفات در آینده باشد، مسایلی مانند همبستگی چندگانه متغیرها اشکالی در فرآیند پیش‌بینی ایجاد نمی‌کند [Washington et al., 2006]، اما اگر مدلها با هدف توصیف علت وقوع تصادف و رابطه‌ی علت و معلولی بین متغیرهای وابسته و مستقل ساخته شود، لازم است تحلیل همبستگی متغیرهای مستقل برای اطمینان از استقلال آنها انجام شود [Hadayeghi et al., 2003]. در پژوهش حاضر، هدف از ساخت مدل ایجاد تصادف، پیش‌بینی تصادفات در سال‌های آینده همگام با مدل‌های ایجاد سفر است.

۲-۵ اعتبارسنجی مدل

اعتبارسنجی مدل آماری، توانایی مدل در توصیف داده‌های مشاهده شده را بر اساس نتایج آزمونهای نکویی برازش نشان می‌دهد. گاهی این گام به عنوان بخشی از گام پرداخت مدل در نظر گرفته می‌شود. خطای استاندارد ضرایب مدل، تحلیل باقی‌مانده‌ها، همخوانی برآورد مدل از متغیر وابسته با مقادیر مشاهده شده، روشهایی برای ارزیابی اعتبار مدل است.

۳. نتایج مدل‌سازی

به منظور پیش‌بینی تعداد تصادفات ناحیه‌های ترافیکی در آینده و بررسی تاثیر اهداف سفر مختلف بر وقوع تصادف، مدل‌هایی برای برآورد تعداد کل تصادفات و تعداد تصادفات شدید ارایه شده است. مدلهای مشابهی با همین رویکرد برای پیش‌بینی تعداد تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی قابل برآورد است [Naderan and Shahi, 2010]. در این مدلها از تعداد سفرهای تولید/ جذب شده با اهداف سفر مختلف، استفاده شده است. این مدلها تاثیر مشترک و همزمان تولید و جذب سفر به یک ناحیه ترافیکی را بر تعداد تصادفات و ایمنی هر ناحیه ترافیکی برآورد می‌کند و در صورت تغییر آنها، تغییر تصادفات در آینده نیز قابل پیش‌بینی خواهد بود. این مدلها، مدلهای ایجاد تصادف[11] نام‌گذاری شده‌اند.

۳-۱ مدل ایجاد تصادفات خسارتی

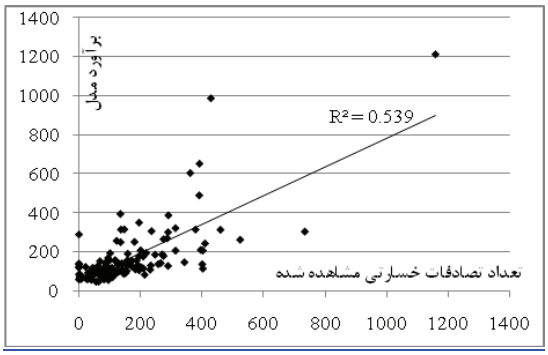
نتایج برازش مدلهای ایجاد تصادف برای برآورد تعداد تصادفات خسارتی سالانه در ناحیه‌های ترافیکی شهر مشهد در جدول ۲ مشاهده می‌شود. ضریب پراکندگی ۰/۶۹ برآورد شده که نشانگر درستی انتخاب مدل دوجمله‌ای منفی و برتری آن نسبت به مدل پواسون است. کلیه متغیرهای مدل، در سطح ۵٪ معنی‌دار هستند. نسبت کای‌دو پیرسن و دویانس به درجه آزادی در محدوده‌ی مجاز ۰/۸ تا ۱/۲ قرار دارد که نشان می‌دهد نتایج مدل معتبر خواهد بود. به عنوان شاخصی از اعتبار نتایج مدل، شکل ۸ مقادیر مشاهده شده و مقادیر برآورد شده توسط مدل را نشان می‌دهد که مقادیر برآوردی پوشش مناسبی نسبت به مقادیر مشاهده‌ای دارند. ضریب همبستگی[12] (R^2) مقادیر مشاهده و برآورد شده از مدل ایجاد تصادف در سطح ناحیه ۰/۵۳۹ و در سطح منطقه که هدف اصلی پیش‌بینی‌هاست، ۰/۸۲۷ است، که بیانگر دقت نسبتا خوب مدل برای پیش‌بینی تصادفات در سطح کلان است [Hadayeghi et al., 2003]. رابطه ٤، شکل مدل نهایی را نشان می‌دهد.

$$C_{PDO} = \exp(٤/٣٨١٥٥٧ - ٠/٠٠٠٢٤٥٨pedu + ٠/٠٠١٢٤٨٧psh - ٠/٠٠٢٥٢١١ppilg - ٠/٠٠٠٨٠٢٥pnhb - (٠/٠٠٠٣٣٨٩ash + ٠/٠٠١١٦٥٣anhb) \quad (٤)$$

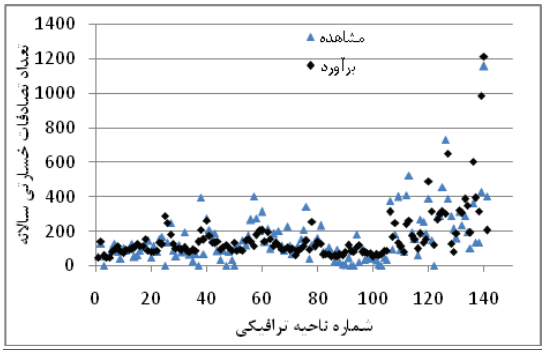
جدول ۲. نتایج برآورد مدل ایجاد تصادف خسارتی

متغیر	ضریب	انحراف استاندارد	t-stat.	Sig.
cons.	۴/۳۸۱۵۵۷	۰/۱۷۳۸۶۷۲	۲۵/۲۰	۰/۰۰۰
pedu	-۰/۰۰۰۲۴۵۸	۰/۰۰۰۰۹۵۶	-۲/۵۷	۰/۰۱۰
psh	۰/۰۰۱۲۴۸۷	۰/۰۰۰۲۸۰۳	۴/۴۶	۰/۰۰۰
ppilg	-۰/۰۰۲۵۲۱۱	۰/۰۰۰۶۶۱۴	-۳/۸۱	۰/۰۰۰
pnhb	-۰/۰۰۰۸۰۲۵	۰/۰۰۰۲۷۵۸	-۲/۹۱	۰/۰۰۴
ash	-۰/۰۰۰۳۳۸۹	۰/۰۰۰۱۱۳۶	-۲/۹۸	۰/۰۰۳
anhb	۰/۰۰۱۱۶۵۳	۰/۰۰۰۳۸۸۳	۳/۰۰	۰/۰۰۳

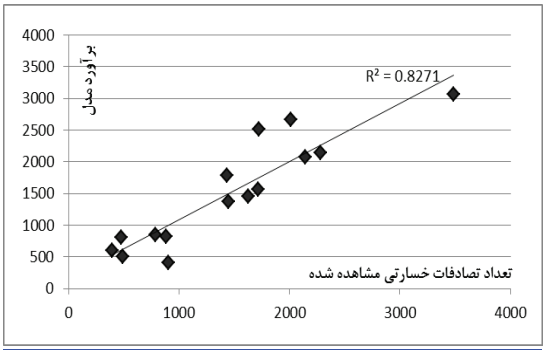
نکویی برازش	
تعداد مشاهدات	۱۴۱
تعداد متغیرهای مدل	۶
درجه آزادی	۱۳۴
نسبت دویانس به درجه آزادی	**۱/۲۰**
نسبت پیرسن به درجه آزادی	۰/۶۲
α	**۰/۶۹**
Log-likelihood	**-۸۲۲/۵**
Log-likelihood مدل بدون متغیر	-۸۵۲/۲
-2Log-likelihood ratio	**۵۹/۴**
Log-likelihood مدل پواسون	-۴۴۰۹/۱
AIC	۱۱/۷



الف- دقت در سطح ناحیه



ب- همپوشانی در سطح ناحیه



پ- دقت در سطح منطقه

شکل۸. مقایسه مشاهده و برآورد مدل تصادفات خسارتی

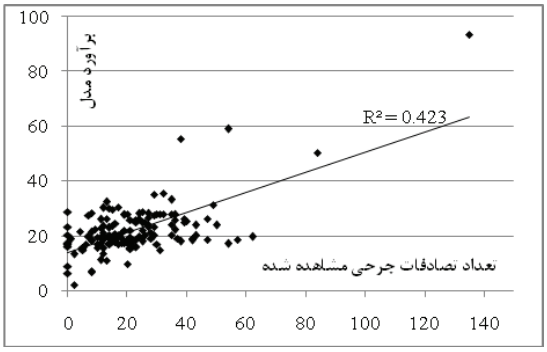
۳-۲ مدل ایجاد تصادفات جرحی

نتایج برازش مدلهای ایجاد تصادف برای برآورد تعداد تصادفات جرحی سالانه در ناحیه‌های ترافیکی شهر مشهد در جدول ۳ ارایه شده است. همان‌طور که از مقایسه مقادیر لگاریتم احتمال و AIC[۱۳] مشاهده می‌شود، این مدل‌ها در مقایسه با مدل‌های ایجاد تصادفات خسارتی، از نکویی برازش بسیار بهتری برخوردارند. یکی از دلایل این موضوع، دقیق‌تر بودن آمار مرتبط با تصادفات جرحی نسبت به خسارتی است. ضریب پراکندگی برآورد شده برای این مدلها نیز در حدود ۰/٤۰، یعنی کمتر از مقدار مشابه در مدل‌های مربوط به تصادفات خسارتی است که باز هم دقت داده‌ها و پراکندگی کمتر آنها را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۹، ضریب همبستگی مقادیر مشاهده و برآورد شده از مدل ایجاد تصادف ۰/٤۲۳ است، که بیانگر دقت متوسط مدل برای پیش‌بینی تصادفات است [Hadayeghi et al., 2003]. رابطه ۵، شکل مدل نهایی را نشان می‌دهد.

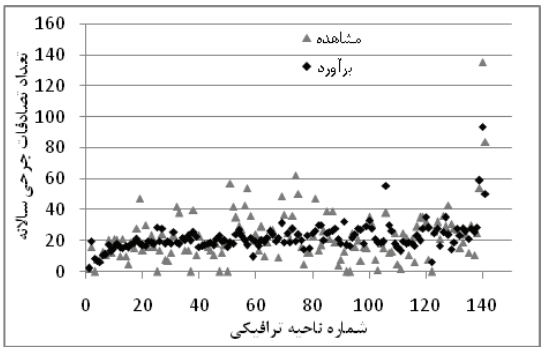
$$C_{INJURY} = \exp(۲/۵۸٤۲۷۸ - ۰/۰۰۰۲۲۳۸pedu + ۰/۰۰۱٦۵٤۸psh + ۰/۰۰۱٤۷۰۵pre - ۰/۰۰۱۰٦٤۵pnhb - ۰/۰۰۰۳۷۵۸ash - ۰/۰۰۰۰۸۲are + ۰/۰۰۱٤۳۸۸anhb) \quad (۵)$$

جدول ۳. نتایج برآورد مدل ایجاد تصادف جرحی

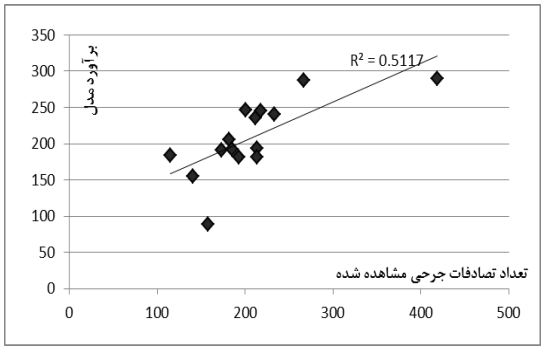
متغیر	ضریب	انحراف استاندارد	t-stat.	Sig.
cons.	۲/۵۸٤۲۷۸	۰/۱۲٦۱٤۰٤	۲۰/٤۹	۰/۰۰۰
pedu	-۰/۰۰۰۲۲۳۸	۰/۰۰۰۰۷۸۳	-۲/۸٦	۰/۰۰٤
psh	-۰/۰۰۱٦۵٤۸	۰/۰۰۰۹۳٦	-۱/۹٦	۰/۰۵۰
pre	۰/۰۰۱٤۷۰۵	۰/۰۰۰۵۳٤۹	۲/٤۹	۰/۰۱۳
pnhb	-۰/۰۰۱۰٦٤۵	۰/۰۰۰۳۱۲۹	-۳/٤۰	۰/۰۰۱
ash	-۰/۰۰۰۳۷۵۸	۰/۰۰۰۱۱۹۲	-۳/۱۵	۰/۰۰۲
are	-۰/۰۰۰۰۸۲	۰/۰۰۰۰۳۷٦	-۲/۱۸	۰/۰۲۹
anhb	۰/۰۰۱٤۳۸۸	۰/۰۰۰٤۳۳۱	۳/۳۲	۰/۰۰۱
نکویی برازش				
تعداد مشاهدات			۱٤۱	
تعداد متغیرهای مدل			۷	
درجه آزادی			۱۳۳	
نسبت دویانس به درجه آزادی			۱/۶۰	
نسبت پیرسن به درجه آزادی			**۱/۱٤**	
α			**۰/٤۰**	
Log-likelihood			**-۵۵۲/۵**	
Log-likelihood مدل بدون متغیر			-۵۷۲/۶	
-2Log-likelihood ratio			**٤۰/۲**	
Log-likelihood مدل پواسون			-۸۷۱/۹	
AIC			۸/۰	



الف- دقت در سطح ناحیه



ب- همپوشانی در سطح ناحیه



پ- دقت در سطح منطقه

شکل۹. مقایسه مشاهده و برآورد مدل تصادفات جرحی

۳-۳ ارزیابی مدلها

در این بخش، همخوانی علامت متغیرهای مدلها با مفهوم و مکانیزم وقوع تصادف بررسی شده است. دسته‌بندی تصادفات بر اساس شدت باعث می‌شود بتوان تاثیر هر متغیر را بر اساس علامت آن مورد تحلیل قرار داد. لازم به ذکر است هدف اولیه از ساخت این مدلها، پیش بینی تعداد تصادفات در آینده است، اما در هر حال، وجود یک رابطه منطقی (علت و معلولی) بین متغیرهای مستقل و وابسته ضروری است.

۱) عدد ثابت: مقدار عدد ثابت در مدلها مثبت است. با توجه به این‌که متغیرهای مورد استفاده در پرداخت مدلها از نوع تعداد سفر به تفکیک هدف سفر است، وجود عدد ثابت برای در نظر گرفتن اثر آن دسته از اهداف سفر که وارد مدل نشده‌اند، ضروری است. علامت مثبت هم بیانگر آن است که سایر سفرها، اثر افزاینده‌ای بر تعداد تصادفات دارند. به بیان بهتر، هر چه تعداد سفرها بیشتر باشد، احتمال قرارگیری در معرض تصادف بیشتر شده و در نتیجه انتظار می‌رود تعداد تصادفات افزایش یابد.

۲) تعداد سفرهای تولید شده در هر ناحیه با هدف تحصیلی (pedu): مقدار متوسط این متغیر ۲۲۸۱ سفر در هر ناحیه و انحراف معیار استاندارد آن ۲۲٤۹ است. علامت این متغیر در مدل‌ها منفی است، به این مفهوم که تاثیری کاهشی بر تعداد تصادفات دارد. علت این تاثیر منفی را می‌توان از چند جنبه بررسی کرد: نخست ویژگی مسافر که دانش آموز است و عموماً رانندگان بیشتر به آن‌ها توجه می-کنند. دوم ویژگی وسیله‌ی سفر که دانش آموزان بیشتر از خودروی همگانی شامل اتوبوس یا تاکسی استفاده می‌کنند و در نتیجه شاخص میزان در معرض بودن برای آن‌ها نسبت به خودروی شخصی کمتر است. سوم ویژگی مبدا سفر که معمولاً از مناطق مسکونی و کم ترافیک آغاز می‌شود و احتمال وقوع تصادف در آن کم‌تر است.

۳) تعداد سفرهای تولید شده در هر ناحیه با هدف خرید (psh): مقدار متوسط این متغیر ۱۲٤۳ سفر در هر ناحیه و انحراف معیار استاندارد آن ۹۰۷ است. علامت این متغیر در مدل تصادف خسارتی، مثبت یعنی دارای تاثیر افزایشی و در مدل تصادف جرحی، منفی یعنی دارای تاثیر کاهشی بر تعداد تصادفات است. تولید سفر با هدف خرید معمولاً از مناطق مسکونی و کم تردد آغاز و در ساعات غیر اوج، با عجله و اضطراب کمتری نسبت به سایر اهداف سفر انجام می‌شود. به همین دلیل در آغاز سفر، انتظار می‌رود تاثیر آنها بر تصادفات جرحی، اثری کاهشی باشد. از سوی دیگر، این سفرها به طور منظم (روزانه یا با بسامد منظم دیگری) تکرار و اغلب توسط خودروی سواری انجام می‌شوند، در نتیجه

ریسک درگیر شدن آنها با تصادفات خسارتی افزایش می‌یابد. بنابراین علامت آنها در هر دو مدل‌ها منطقی به نظر می‌رسد.

٤) تعداد سفرهای جذب شده به هر ناحیه با هدف خرید (ash): مقدار متوسط این متغیر ۱۰۰۵ سفر در هر ناحیه و انحراف معیار استاندارد آن ۲۰۸۵ است. علامت این متغیر در مدل منفی است یعنی افزایش تعداد سفرهای خرید ورودی (جذب شده) به یک ناحیه، با کاهش تعداد تصادفات خسارتی و جرحی همراه است. این سفرها در ساعات غیر اوج، با عجله و اضطراب کمتری نسبت به سایر اهداف سفر انجام می‌شود. به همین دلیل به نظر می‌رسد رابطه معکوس آنها با وقوع تصادف قابل توجیه باشد.

۵) تعداد سفرهای تولید شده در هر ناحیه با هدف زیارت (ppilg): مقدار متوسط این متغیر ۲۵۵ سفر در هر ناحیه و انحراف معیار استاندارد آن ١٤٦ است. علامت این متغیر در مدل‌های تصادفات خسارتی و کل تصادفات مثبت است یعنی با افزایش تعداد سفر شهروندان با هدف زیارت، تعداد تصادفات افزایش می‌یابد. مشاهده شد که تعداد سفرهای تولید شده با هدف زیارت در ناحیه‌های حاشیه‌ای، بیش از ناحیه‌های مرکزی است. در این نواحی، دسترسی به حمل و نقل همگانی کمتر بوده و تعداد سفر با خودروی شخصی افزایش می‌یابد. به همین دلیل احتمال قرار گرفتن در معرض تصادفات خسارتی بیشتر خواهد بود.

٦) تعداد سفرهای غیرخانه مبنای تولید شده در هر ناحیه (pnhb): مقدار متوسط این متغیر ١٣٤٨ سفر در هر ناحیه و انحراف معیار استاندارد آن ١٦٢٦ است. علامت این متغیر در مدل‌ها منفی است یعنی در ناحیه‌هایی که تعداد سفرهای غیر خانه مبنای خروجی زیادتر است، شاهد تعداد کمتری تصادف خواهیم بود.

۷) تعداد سفرهای غیرخانه مبنای جذب شده در هر ناحیه (anhb): مقدار متوسط این متغیر ۱۳۳۲ سفر در هر ناحیه و انحراف معیار استاندارد آن ١٥٦٥ است. علامت این متغیر در مدل‌ها مثبت است یعنی انتظار می‌رود تعداد تصادفات در ناحیه‌هایی که سفرهای غیرخانه مبنای بیشتری به آنها وارد می‌شود، زیادتر باشد. با توجه به اینکه پراکندگی سفرهای غیرخانه مبنای تولید/ جذب شده به نواحی مختلف تقریباً یکسان است. بنابراین به نظر می‌رسد اختلاف علامت این دو متغیر در مدل‌ها برای بهبود برازش مدل بوده است نه به لحاظ تفاوت منطقی آنها. در عین حال، همان‌طور که قبلاً بیان شد، این مدل‌ها برای پیش‌بینی آینده پرداخت شده‌اند و نکویی برازش در آنها مهم‌تر است. بنابراین، هر دو متغیر در مدل نگه داشته شده‌اند.

۸) تعداد سفرهای تولید شده در هر ناحیه با هدف تفریحی (pre): مقدار متوسط این متغیر ۲۰۷۵ سفر در هر ناحیه و انحراف معیار استاندارد آن ١٥١٤ است. علامت این متغیر در مدل تصادفات جرحی مثبت است یعنی در ناحیه‌هایی که تعداد سفرهای تفریحی خروجی زیادتر است، شاهد تعداد بیشتری تصادف جرحی هستیم. سفرهای تفریحی بیشتر در ناحیه‌های حاشیه‌ای تولید می‌شوند که در آن‌ها معمولاً سرعت تردد در شبکه زیادتر بوده و در صورت بروز حادثه، شدت تصادف بیشتر خواهد بود. به همین دلیل علامت متغیر در مدل منطقی به نظر می‌رسد.

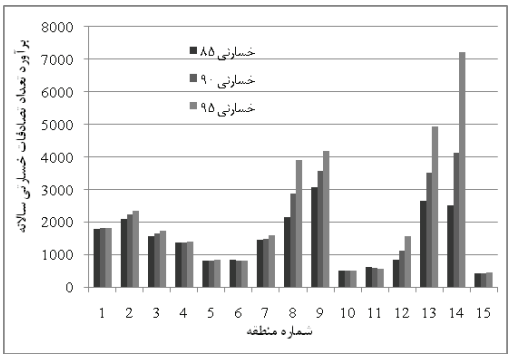
۹) تعداد سفرهای جذب شده به هر ناحیه با هدف تفریحی (are): مقدار متوسط این متغیر ۱۸۵۸ سفر در هر ناحیه و انحراف معیار استاندارد آن ۲۱۷۹ است. علامت این متغیر در مدل تصادفات جرحی منفی است یعنی در ناحیه‌هایی که پذیرای تعداد بیشتری سفر تفریحی باشند، تصادفات جرحی کمتری رخ می‌دهد. علت این موضوع ممکن است ویژگیهای بصری و محیطی در ناحیه‌ی جاذب سفر باشد که باعث کاهش شتاب‌زدگی رانندگان و متعادل‌تر شدن سرعت حرکت می‌شود و در نتیجه سرعت تردد و شدت برخوردها پایین می‌آید.

٤. بحث

به منظور تخمین میزان تصادفات ترافیکی در مناطق شهری، مجموعه‌ای از مدلهای هم‌فزون ایجاد تصادفات در سطح ناحیه‌های ترافیکی تدوین شد. به کمک این مدلها می‌توان تعداد تصادفات آینده در هر یک از نواحی ترافیکی شهر مشهد را تخمین زد. با توجه به تغییرات تعداد سفر با اهداف مختلف، تعداد تصادفات برآورد شده برای هر ناحیه ممکن است نسبت به سال پایه (۱۳۸۵)، کاهش یا افزایش یابد. برآورد تعداد تصادفات

خسارتی در مناطق ۱۵ گانه شهر مشهد برای سالهای ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ در شکل ۱۰-الف ارایه شده است. مشاهده می‌شود که تعداد تصادفات خسارتی در منطقه ۱ که مرکز تجاری شهر است و در مناطق ٤، ٥ و ٦ و نیز در مناطق ۱۰ و ۱۱ که امکان رشد چندانی در آینده ندارند، تقریبا ثابت مانده است. در مورد مرکز شهر، می‌توان به اشباع رسیدن تعداد سفرهای تولید و جذب شده، ازدحام، کاهش سرعت و مسایلی از این دست را دلیل عدم افزایش تعداد کل تصادفات دانست. در عوض تعداد تصادفات در مناطق ۹ و ۱۰ و نیز ۱۳ و ١٤ به شدت افزایش خواهد یافت و ضروری است اقدامات پیشگیرانه لازم برای جلوگیری از این مساله در یک افق ۱۰ ساله (از ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵) تعریف شود. توجیه مشابهی نیز می‌توان برای کاهش تعداد تصادفات جرحی در مناطق ۱ و ۲ از شکل ۱۱-الف ارایه کرد.

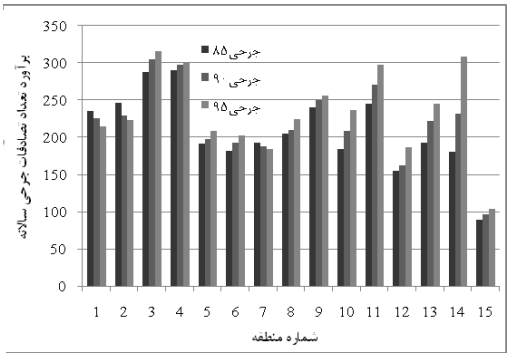
خطای زیر برآورد و رو برآورد مدلهای هم‌فزون در ۱٤۱ ناحیه ترافیکی شهر مشهد برای پیش‌بینی تصادفات خسارتی در شکل ۱۰-ب و برای تصادفات جرحی در شکل ۱۱-ب ارایه شده است. این خطا با هم‌فزون کردن داده‌ها خنثی می‌شود، به طوری که در سال ۱۳۸۵ تعداد کل تصادفات خسارتی مشاهده شده ۲۱۸۱۳ فقره و تعداد برآورده شده به وسیله مدل ۲۲٦۳۸ فقره است. یعنی مدل ایجاد تصادف، تعداد تصادفات خسارتی شهر را در حدود ۸۲۵ فقره روبرآورد می‌کند. به طور مشابه، در سال ۱۳۸۵ تعداد کل تصادفات جرحی مشاهده شده ۳۱۲۵ فقره و تعداد برآورد شده به وسیله مدل ۳۱۱۹ فقره است. یعنی مدل، تعداد تصادفات جرحی در کل شهر را در حدود ٦ فقره زیربرآورد می‌کند. با افزایش تعداد سفرها، تعداد تصادفات نیز روندی افزایشی دارد. به این ترتیب، در حالی که تصادفات خسارتی گزارش شده به پلیس در سال ۱۳۸۵ حدود ۲۲٦۳۸ فقره بوده، پیش بینی می‌شود این تعداد در سال ۱۳۹۰ به ۲٦۸۹۷ و در سال ۱۳۹۵ به ۳۳۸۳٤ فقره برسد. تعداد تصادفات جرحی گزارش شده در سال ۱۳۸۵ نیز حدود ۳۱۱۹ فقره بوده،که پیش‌بینی می‌شود این تعداد در سال ۱۳۹۰ به ۳۲۸۵ و در سال ۱۳۹۵ به ۳۵۰٤ فقره برسد.



۱۰-الف) برآورد تعداد تصادفات در مناطق ۱۵ گانه در سال‌های ۹۰ و ۹۵

۱۰-ب) اختلاف برآورد و مشاهده در سال ۸۵

شکل ۱۰. پیش‌بینی تعداد تصادفات خسارتی به کمک مدل ایجاد تصادف



۱۱-الف) برآورد تعداد تصادفات در مناطق ۱۵ گانه در سال‌های ۹۰ و ۹۵

۱۱-ب) اختلاف برآورد و مشاهده در سال ۸۵

شکل ۱۱. پیش‌بینی تعداد تصادفات جرحی به کمک مدل ایجاد تصادف

کاربرد اصلی این مدل‌ها، هدف گذاری مناسب برای کاهش تعداد تصادفات در سال‌های آینده است. به عنوان نمونه، اگر هدف برنامه کاهش تصادفات، کاهش ۱۰ درصدی تصادفات خسارتی تا سال ۱۳۹۵ باشد، باید تعداد آنها را ۳۳۸۳ فقره (=۱۰٪×۳۳۸۳٤) کاهش داد تا رشد طبیعی تعداد تصادفات در نظر گرفته شود. این در حالی است که در برخی مطالعات گذشته، هدف گذاری برای کاهش تعداد تصادفات معادل ۲۲٦٤ فقره (=۱۰٪×۲۲۸۳٦) در نظر گرفته می‌شد. یعنی در صورتی که طرحهای پیشنهادی برای کاهش تصادفات ۱۰۰٪ موثر باشند، هنوز ۱۱۱۹ فقره (=-۲۲٦٤ ۳۳۸۳) تصادف که ناشی از رشد طبیعی تعداد سفرهاست باید تصادفات را کاهش داد تا به هدف اولیه کاهش ده درصدی تعداد تصادفات دست یافت.

۵. نتیجه‌گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر، تخمین تعداد تصادفات ترافیکی در مناطق شهری با استفاده از مدلهای هم‌فزون بود. به این منظور، مجموعه‌ای از مدل‌های ریاضی با عنوان «مدل‌های ایجاد تصادف» با استفاده از تعداد سفرهای ایجاد شده در ناحیه‌های ترافیکی به تفکیک هدف سفر، ساخته شد. این مدلها ابزار لازم را برای پیش‌بینی تعداد تصادفات در سالهای آینده بر اساس افزایش تعداد سفرهای ایجاد شده در نواحی ترافیکی فراهم می‌کنند. به علاوه به کمک این مدلها می‌توان تاثیر سناریوهای مختلف مدیریت تقاضای سفر را بر ایمنی ارزیابی کرد. دیگر نتایج این پژوهش عبارتند از:

۱. شکل ریاضی دوجمله‌ای منفی برای مدلهای هم‌فزون ایجاد تصادف، سازگاری مناسبی با مدل‌های ایجاد سفر که به صورت خطی و به روش حداقل مربعات برآورد می‌شوند، دارد؛

۲. مدلهای هم‌فزون پیش‌بینی تصادفات باید صرفاً برای اهداف کلان مورد استفاده قرار گیرند و کاربرد آنها برای بررسی یک پروژه یا یک ناحیه ترافیکی خاص، مناسب و معنی‌دار نیست؛

۳. اصلی‌ترین کاربرد مدلهای ایجاد تصادف، پیش‌بینی تعداد تصادفات آینده از نوع یا شدتی خاص است. به این ترتیب هدف‌گذاری واقعی‌تر، علمی‌تر و عملی‌تر برنامه‌های بلندمدت مدیریت ایمنی و کاهش تصادفات ترافیکی امکان‌پذیر خواهد بود؛

٤. با توجه به آن‌که فرآیند نظری تدوین مدلهای ایجاد تصادف تا حد زیادی مشابه مدلهای ایجاد (تولید/جذب) سفر است، قابلیت آنها در پیش‌بینی تعداد تصادفات آینده مورد تایید خواهد بود.

٦. سپاسگزاری

از نظرات ارزشمند آقایان دکتر جلیل شاهی و دکتر محمود صفارزاده قدردانی می شود. بخشی از داده‌ها توسط سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد و مهندسین مشاور طرح هفتم فراهم شده بود که به این وسیله از این سازمانها سپاسگزاری می‌شود.

۷. پی نوشتها

1- Safety conscious planning
2- Trend-based forecasting
3- Aggregate crash prediction models (ACPM)
4- Disaggregate models
5- Risk
6- Econometric modeling technique
7- Proxy variables
8- County
9- Exposure
10- Dispersion parameter
11- Crash generation models
12- Coefficient of Correlation
13- Akaike's Information Criteria

۸. مراجع

آیتی، الف، قدیریان، ف. و احدی، م. (۱۳۸۷) "محاسبه هزینه‌های آسیب به وسایل نقلیه در تصادفات جاده‌ای ایران در سال ۱۳۸۳". پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره اول، ص. ۱٦۱-۱٤۹

سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد (۱۳۸۸) "بهنگام‌سازی مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد". مهندسین مشاور طرح هفتم، سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد.

وزارت کشور (۱۳۷۵a) "شرح خدمات مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک در شهرها". دفتر حمل و نقل و ترافیک، دبیرخانه شورای عالی هماهنگی ترافیک شهرهای کشور، وزارت کشور.

وزارت کشور (۱۳۷۵b) "شرح خدمات مطالعات ساماندهی حمل و نقل و ترافیک در شهرهای کشور"، دفتر حمل و نقل و ترافیک، سازمان شهرداری ها و دهیاری های کشور، وزارت کشور.

Abdel-Aty, M. A. and Radwan, A. E. (2000) "Modeling traffic accident occurrence and involvement". Accident Analysis and Prevention, 32, pp.633–642.

Aguero-Valverde, J. and Jovanis, P. P. (2006) "Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania". Accident Analysis and Prevention 38, pp.618–625.

Bellomo-Mcgee INC., A. C. T. G., Ned Levine & Associates (2003) "Considering safety in the transportation planning process". U.S. Department of Transportation, FHWA.

Cameron, A. C. and Trived, P. K. (1998) "Regression analysis of count data", New York, Cambridge University Press.

Chatterjee, A., Everett, J. D., Reiff, B., Schwetz, T. C., Seaver, W. L. and Wegmann, F. J. (2003) "Tools for assessing safety impact of long-range transportation plans in urban areas". Office of Metropolitan Planning and Programs, Federal Highway Administration, US Department of Transportation.

Clark, D.E. and Cushing, B. M. (2004) "Rural and urban traffic fatalities, Vehicle miles, and population density". Accident Analysis and Prevention, 36, pp.967–972.

De Guevara, F.L., Washington, S.P. and OH, J. (2004) "Forecasting crashes at the planning level: A simultaneous negative binomial crash model applied in Tucson, Arizona", Transportation Research Record 1897, TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Greibe, P. (2003) "Accident prediction models for urban roads", Accident Analysis and Prevention, 35 (2), pp. 273-85

Hadayeghi, A., Shalaby, A.S. and Persaud, B. (2003) Macro-Level Accident Prediction Models for Evaluating Safety of Urban Transportation Systems. Transportation Research Record, 1840, TRB, National Research Council, Washington D.C.

Hadayeghi, A., Shalaby, A. S. and Persaud, B. N. (2007) "Safety prediction models: A proactive tool for safety evaluation in urban transportation planning applications", Transportation Research Record, vol.2019, pp. 225-236.

Hadayeghi, A., Shalaby, A. S., Persuad, B. N. and Cheung, C. (2006) "Temporal transferability and updating of zonal-level accident prediction models", Accident Analysis and Prevention, 38 , pp.579–589.

Kim, K., Brunner, I.M. and Yamashita, E.Y. (2006) "The influence of land use, population, employment and economic activity on accidents", Transportation Research Record, 1953, pp. 56-54, TRB, National research Council, Washington DC.

Levine, N., Kim, K.E. and Nitz, L.H. (1995) "Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes: II. Zonal generators", Accident Analysis and Prevention, 27, pp. 675-685.

Lord, D., Washington, S.P. & Ivan, J.N. (2005) Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory. Accident Analysis and Prevention, 37, pp.35–46.

Lord, D., Washington, S.P. and Ivan, J.N. (2007) "Further notes on the application of zero-inflated models in highway safety", Accident Analysis and Prevention 39, pp.53–57.

Maher, M. J. and Summersgill, I. (1996) "A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models", Accident Analysis and Prevention, 28, pp. 281-296.

Miaou, S. P. and Lord, D. (2003) "Modeling traffic crash-flow relationships for intersections: Dispersion parameter, functional form, and Bayes versus empirical Bayes", Transportation Research Record 1840, TRB, National Research Council, Washington D.C.

Miaou, S.P. and Lum, H. (1993) "Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships", Accidents Analysis and Prevention, 25(6), pp. 689-709.

Naderan, A. and Shahi, J. (2010) "Aggregate crash prediction models: Introducing crash generation concept", Accident Analysis and Prevention, 42 (1), pp. 339-346.

Noland, R.B. (2002) "Traffic fatalities and injuries: The effect of changes in infrastructure and other trends", Center for Transport Studies, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Imperial College of Science, Technology and Medicine.

Noland, R.B. and Quddus, M.A. (2004) "Improvements in medical care and technology and reductions in traffic-related fatalities in Great Britain", Accident Analysis and Prevention, 36 (1), pp. 103–113.

OECD (1997) "Road safety principles and models: Review of descriptive, predictive, risk and accident consequence models", Paris, OECD.

Qadeer Memon, A. (2006) "Road accident prediction models developed from a national database: Poisson and negative binomial regressions", Transportation Research Board, TRB.

Qin, X., Ivan, J.N. and Ravishanker, N. (2004) "Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments", Accident Analysis and Prevention 36, pp. 183–191.

Quddus, M.A. (2008) "Modeling area-wide count outcomes with spatial correlation and heterogeneity: An analysis of London crash data", Accident Analysis and Prevention, 40, pp. 1486–1497.

Shahi, J., Ahmadinezhad, M. and Naderan, A. (2009) "Evaluation of mathematical models used as aggregate crash prediction models", 8th International Congress of Civil Engineering, Shiraz, Iran.

Shankar, V., Milton, J. and Mannering, G, F. (1997) "Modeling accident frequencies as zero-altered probability processes: an empirical inquiry", Accident Analysis and Prevention 29, pp. 829–837.

STATA (2007) "STATA Users Manual", Stata Corp LP.

Washington, S., Schalwyk, I.V., Meyer, M., Dumbaugh, E. and Zoll, M. (2006) "Incorporating safety into long-range transportation planning", NCHRP Report 546, TRB, National Cooperative Highway Research Program, Washington D.C.

Washington, S.P., Karlaftis, M.G. and Mannering, F.L. (2003) "Statistical and econometric methods for transportation data analysis, Chapman & Hall/CRC".

Wier, M., Weintraub, J., Humphreys, E.H., Seto, E. and Bhatia, R. (2009) "An area-level model of vehicle-pedestrian injury collisions with implications for land use and transportation planning", Accident Analysis and Prevention, 41 (1), pp. 137–145.