

کاربرد مدل‌های فضایی - مکانی در پیش‌بینی فراوانی تصادفات جاده‌ای (مطالعه موردی: شبکه راه‌های اصلی استان همدان)

مقاله علمی - پژوهشی

حسن خاکسار، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد تهران شمال، تهران، ایران
سید احمد الماسی*، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین، تهران، ایران
علی اصغر گهرپور، دانش آموخته دکتری، دانشکده عمران و معماری دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: s.a.almasi110@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷ - پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

صفحه ۵۸-۴۵

چکیده

شناسایی بخش‌های جاده‌ای با خطر تصادف رویکرد ویژه‌ای برای درک بهتر الگوهای تصادفات و افزایش مدیریت ایمنی جاده‌ای به متخصصان ایمنی ارائه می‌دهد. روش‌های معمول شناسایی مقاطع حادثه‌خیز و الگوهای تصادف آن‌قدر قوی نیستند که خصوصیات مکانی داده‌های تصادف را در مدل لحاظ کنند. حوادث رانندگی دارای خاصیت فضایی تمایل به وابستگی مکانی دارند، پدیده‌ای که به‌عنوان همبستگی مکانی شناخته می‌شود. مدل‌های فضایی مقدار پیش‌بینی‌شده الگوی تصادف در فضا را توصیف می‌کند که می‌تواند ناشی از تغییر در خصوصیات قابل‌توجه محیط محلی باشد با توجه به ماهیت گسسته داده‌های تصادف و دسترسی محدود به مکان‌های دقیق تصادف، یک سطح مداوم که از نقاط گسسته کشیده شده باشد، تراکم تصادف را بهتر منعکس می‌کند و تصویر واقع‌بینانه‌تری از توزیع تصادف ارائه می‌دهد. در این مطالعه کل محورهای اصلی برون‌شهری استان همدان بر اساس داده‌های تصادف مکانمند از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ با استفاده از روش‌های توزیع چگالی کرنل، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، رگرسیون پواسون وزن‌دار جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مدل‌ها نشان می‌دهد که مدل رگرسیون پواسون وزن‌دار جغرافیایی نتایج بهتری برای پیش‌بینی مکان‌های تصادف نسبت به سایر مدل‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی: تصادف، ایمنی، توزیع فضایی، چگالی کرنل، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، رگرسیون پواسون وزن‌دار جغرافیایی

۱- مقدمه

متخصصان ایمنی کمک می‌کند تا بخش‌هایی را که دارای تعداد بیشتری تصادف هستند در مقایسه با سایر مکان‌های مشابه به‌عنوان بخش‌های خطرناک تشخیص دهند. کاوش در چنین مکان‌های پرخطری در مدیریت ایمنی جاده‌ها نقشی

با افزایش وسایل نقلیه تصادف جاده‌ای، یک نگرانی مهم مهندسان راه و حمل‌ونقل تلقی می‌گردد. تجزیه و تحلیل داده‌های ایمنی به جمع‌آوری طولانی مدت اطلاعات لازم و کافی نیاز دارد. درک الگوهای تصادف فضایی - زمانی به

نزدیک بیشتر از چیزهای دور با هم مرتبط هستند" Soroori (et al. 2020). یکی از روش‌های معمول برای مدل‌سازی تصادف که در سطح قطعات راه مورد استفاده قرار می‌گیرد روش مدل‌سازی خطی تعمیم‌یافته است. با این حال، از آنجا که پارامترهای موجود در یک GLM ثابت تصور می‌شوند، GLM نمی‌تواند ناهمگنی فضایی را در روابط بین تصادفات و پیش‌بینی کننده‌های تصادف ایجاد کند. اخیراً، روش جدیدی به نام رگرسیون پواسون با وزن جغرافیایی (GWPR) توسط محققان برای تجزیه و تحلیل ایمنی ترافیک در سطح منطقه تجزیه و تحلیل ترافیک (TAZ) و قطعات راه استفاده شده است (Li et al. 2013, Hadayeghi et al. 2010a; Zhang et al. 2012; Pirdavani et al, 2013).

۲- پیشینه تحقیق

اگرچه ایمنی راه‌ها یکی از مهم‌ترین ابعاد سیستم‌های حمل و نقل است، اما ایمنی هنوز به خوبی در چارچوب استراتژی‌های برنامه‌ریزی آن قرار نگرفته است (Gomes, M. Cunto, F. Silva, A. 2017). از جمله دلایل اصلی عدم وجود روشی جامع برای ایمنی، فقدان مجموعه داده جامع یکپارچه برای تصادفات و سایر ویژگی‌های ترافیکی و داده‌ای مرتبط با تصادفات و دامنه تا حدود محدودی از ابزارهای موجود برای انجام یک مطالعه دقیق است. تجزیه و تحلیل ایمنی در سطح جامع مدیریتی منجر به اعتماد بیشتر به رویکردهای ذهنی جهت اتخاذ استراتژی‌ها یا ارزیابی ایمنی در سناریوهای مختلف حمل و نقل می‌شود. (Chatterjee et al. 2001; Dumbaugh et al. 2004; Tarko. 2006) داده‌های تصادف از نوع داده‌های شمارشی و ناهمگون است روش‌های مختلفی برای پرداختن به ناهمگونی در مدل‌های شمارش وجود دارد. مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با توجه به خاصیت تصادفی بودن داده‌های تصادف و رگرسیون با وزن جغرافیایی پواسن (GWPR) دو روش رایج برای حل این مسئله هستند (Xu and Huang. 2015; Arvin et al. 2019). مدل‌های پارامترهای تصادفی از برخی توزیع‌های تصادفی تهیه شده و فرض می‌شود که به طور تصادفی نسبت به مشاهدات متفاوت است (Huang and Xu. 2015). گزارشات نشان داده است استفاده از مدل GWR در تحلیل داده‌های تصادف تخمین‌های دقیق‌تری نسبت به GLM‌های جهانی ارائه می‌دهد. اخیراً فقط چند مطالعه از GWR برای مدل‌سازی فراوانی تصادف استفاده شده است

اساسی دارد زیرا هرگونه خطا در شناسایی مکان‌های پرخطر ممکن است منجر به شناسایی مکان‌های واقعاً خطرناک به‌عنوان نواحی ایمن یا برعکس، مکان‌های امن به‌عنوان مکان‌های خطرناک گردد و در نتیجه، به تخصیص ناکافی بودجه و منابع منجر شود (Shariat Mohaymany et al. 2013). استفاده از داده‌های جغرافیایی، مانند تصادفات رانندگی، به توجه ویژه‌ای نیاز دارد، زیرا داده‌های فضایی ویژگی‌های متفاوتی را از خود نشان می‌دهند (Haining et al. 2003). مهم‌ترین مسئله وجود اثرات مکانی در بین داده‌های مجاور در طول زمان است - مسئله‌ای که می‌تواند با استفاده از تجزیه و تحلیل الگوی نقطه‌ای به میزان کافی حل شود (Yamada et al. 2003). شایان ذکر است که گزارش تصادف در بیشتر کشورهای در حال توسعه هنوز بر اساس روش‌های سنتی قلم و کاغذ است. هنگام ثبت چنین داده‌های گسسته و بدون اطلاعات دقیق مکانی، خطاها اجتناب ناپذیر هستند. به احتمال زیاد برآورد تراکم با استخراج یک سطح مداوم نه تنها اثرات مکانی الگوی تصادف را به تصویر می‌کشد، بلکه تصویر واقع‌بینانه‌تری از مناطق خطرناک ایجاد می‌کند. چنین مکان‌هایی سپس می‌تواند از نظر عوامل محیطی احتمالی بررسی شود که ممکن است در شناسایی محل‌های تصادف نزدیک به مکان‌های واقعی تصادف کمک کند. مروری بر مطالعات گذشته نشان می‌دهد که تابع چگالی کرنل معمولی در چندین مطالعه ایمنی برای شناسایی مناطق خطر تصادف بر اساس داده‌های مشاهده تصادف استفاده شده است (Anderson et al. 2009, Pulugurtha et al. 2007) تجزیه و تحلیل‌های فضایی - مکانی محققان را قادر می‌سازد تا ساختار همبستگی را بررسی کنند و اگر تصادفات در فضا متمرکز یا خوشه‌ای باشد، مدل‌سازی تغییرات فضایی به‌درستی با استفاده از مدل‌های رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، رگرسیون پواسون وزن‌دار جغرافیایی قابل توضیح است. مدل‌های فضایی الگوی نقطه مورد پیش‌بینی را به دلیل تغییر در خصوصیات اساسی محیط محلی توصیف می‌کنند. در مطالعات ایمنی ترافیک، موقعیت‌ها، نقطه‌ای محل وقوع تصادف را نشان دهند، با توجه به وجود ویژگی‌های خاص محیطی، این موارد تمایل به تصادف خوشه‌ای در مناطق خاص دارند (Shariat Mohaymany et al. 2013).

مدل‌های فضایی به‌عنوان یک مدل محلی دارای مفهوم اساسی مشترک با قانون اول جغرافیا است که بیان می‌کند: "همه چیز مربوط به هر چیز دیگری است، اما چیزهای

GWPR برای یافتن رابطه بین تعداد تصادف منطقه‌ای و ویژگی‌های منطقه‌ای استفاده کرده‌اند (Soroori et al., 2020). همچنین به علاوه، (Brijs, Pirdavani, ۲۰۱۳). عملکرد GWPR را در زمینه تجزیه و تحلیل ایمنی در سطح کلان بررسی و با سایر مدل‌های موجود مقایسه کردند.

به طور کلی می‌توان گفت پارامترهای موجود در GWPR مجاز به تغییر در فضا برای اتخاذ روابط متفاوت فضایی در داده‌ها هستند. با این حال، هیچ یک از مطالعات قبلی متغیرهای موثر در فراوانی تصادف در سطح قطعه و بررسی چگالی تراکم تصادف در قطعات مساوی و شرایط یکسان راه از GWPR برای تجزیه و تحلیل تصادف در استفاده نکرده است. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی کاربرد روش مدل‌سازی GWPR و GWR برای مدل‌سازی فراوانی تصادف در سطح قطعات مشابه راه استان همدان می‌باشد.

۳- داده‌ها و روش تحقیق

۳-۱- داده‌ها و محدوده مورد مطالعه

در این مطالعه از داده‌های جمع‌آوری شده تصادفات برون شهری توسط پلیس راهور استان همدان با همکاری سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استان همدان استفاده گردیده است. تعداد تصادفات ثبت شده در این ۳ سال (از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸) ۲۹۹۵ مورد در ۱۰۷۸ کیلومتر محور برون شهری برداشت شده است. لازم به ذکر است برای تدقیق نتایج مطالعه، موقعیت دقیق تصادفات شناسایی گردیده و تصادفات ثبت شده دارای ابهام اطلاعاتی از مطالعه حذف گردیده است. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این مطالعه به منظور شناسایی مقاطع حادثه‌خیز، کلیه معابر برون شهری استان همدان به ۱۲۹۵ قطعه یک کیلومتری تفکیک شده و تحلیل تصادف روی قطعات انجام خواهد گرفت. همچنین در این مطالعه بر اساس مطالعات قبلی (Liu et al., 2017) از متغیرهای متوسط روزانه حجم ترافیک سالانه (AADT)، درصد وسایل نقلیه سواری از کل وسایل نقلیه عبوری از قطعه، درصد وسایل نقلیه وانت و مینی‌بوس از کل وسایل نقلیه عبوری، درصد وسایل نقلیه اتوبوس و کامیون و تریلر از کل وسایل نقلیه عبوری استفاده گردیده است. همچنین در این مطالعه علاوه بر متغیرهای قبلی متغیر طول قطعه، شیب قطعه، سرعت متوسط ثبت شده، سرعت مجاز در محور، اختلاف سرعت متوسط ثبت شده و سرعت

(Zhang et al. 2012; Hadayeghi et al. 2010a) از آنجا که تصادفات به‌عنوان داده‌های شمارش ارائه می‌شوند، یک رگرسیون پواسون در رابطه با GWR، یعنی یک رگرسیون پواسون با وزن جغرافیایی (GWPR)، معمولاً برای جابه‌جایی داده‌های تصادف مکانی استفاده می‌شود. گزارش شده است که GWPR کالیبره شده روابط مکانی متفاوت بین تصادفات و پیش‌بینی‌کننده‌ها را ضبط کرده و در پیش‌بینی تصادفات سطح TAZ از GLM‌های سنتی بهتر عمل کرده است.

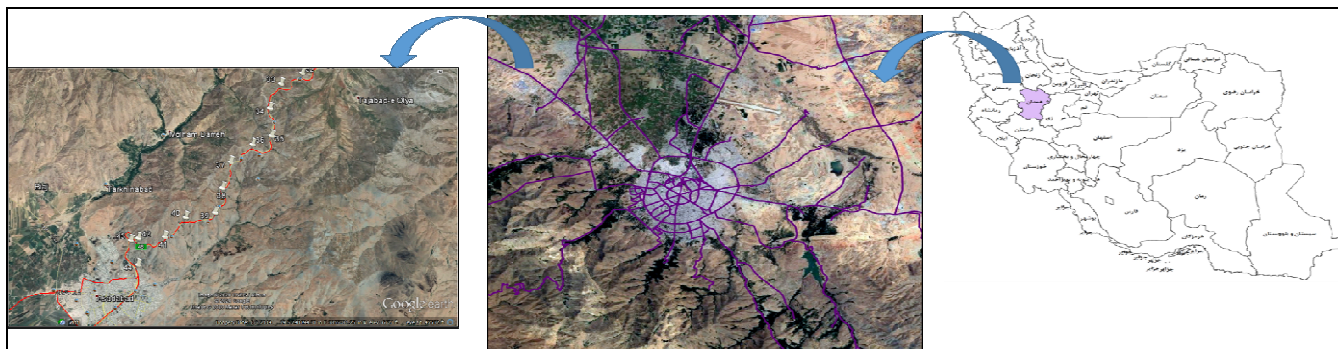
مطالعات متعدد، مزیت مدل GWR-GWPR را در رابطه با بهبود کیفیت مدل از مناسب بودن و قابلیت کشف ارتباط متغیر فضایی در بین متغیرهای وابسته و عوامل مؤثر نشان داده است (Hadayeghi et al., 2010a; Zhang et al., 2013; Xu et al. 2012; Pirdavani et al., 2017). علاوه بر این، پارامترهای تخمین زده شده از GWPR با ایجاد ضرایب مختلف در منطقه مورد نظر، ویژگی‌های محلی را منعکس می‌کند؛ بنابراین، نتایج GWPR می‌تواند به‌عنوان مرجع برای آژانس‌های حمل و نقل با تمرکز بر تفاوت‌های جغرافیایی مورد استفاده قرار گیرد (Chiou, ۲۰۱۵). اگرچه استفاده از متغیرهای وابسته مختلف، محققان را قادر می‌سازد تا رابطه متغیرهای برونزا و نتایج تصادفات رانندگی را بررسی کنند، اما اطلاعاتی در مورد ارتباط متغیر برونزا و نتیجه نهایی - هزینه اجتماعی (هزینه اجتماعی یعنی هزینه جامع تصادفات رانندگی)) در مورد ایمنی جاده ارایه نمی‌دهد. به‌عنوان مثال، میزان تصادفات در یک منطقه شهری از مناطق روستایی بالاتر است؛ اما میزان صدمات و تلفات ناشی از تصادفات در ناحیه شهری پایین‌تر از مناطق روستایی است (Zwerling et al. 2005, NHTSA, 2013). از آنجایی که در همه دنیا اطلاعات تصادف توسط آژانس‌های ملی ثبت و جمع‌آوری می‌گردد لذا خطای اطلاعات در همه این اطلاعات وجود دارد که رسیدگی به این خطاها از دست محققان خارج شده است.

روش GWR به‌عنوان تکنیکی تعریف می‌شود که مدل جهانی سنتی را با اجازه دادن به تغییرات محلی پارامترها گسترش می‌دهد. این عمل نتایج را برای برنامه‌ریزان حمل و نقل قابل تفسیر می‌کند تا آن‌ها بتوانند درک کنند که چگونه رابطه بین دو متغیر در فضا تغییر می‌کند، با این وجود، تعداد کمی از محققان از این روش در مطالعات ایمنی حمل و نقل استفاده کرده‌اند. محققان از روش GWR و

سرعت وسایل نقلیه مربوط مسیر همدان- ملایر با ۱۶ کیلومتر بر ساعت اختلاف نسبت به سرعت مجاز ثبت شده است. همچنین بیشترین شیب مسیر مربوط مسیرهای کوهستانی چون مسیر گنجنامه، مسیر سنندج مسیر اسدآباد ثبت شده است. بیشترین تراکم تصادف در یک قطعه در کیلومتر ۲۰ جاده همدان ملایر و کیلومتر ۱۲ جاده همدان-پلیس راه کرمانشاه (بهار) با ۳۳ مورد تصادف ثبت شده است. براساس اطلاعات جدول ۲ مقادیر همبستگی و معناداری برای کلیه متغیرها غیر از ترافیک روزانه برحسب سال برای انواع وسایل نقلیه در محدوده قابل قبول قرار دارد وجود همبستگی بالا بین انواع وسایل نقلیه به علت ماهیت داده‌ها بوده است. بنابراین، برای حذف خطای ناشی از این همبستگی این متغیرها به صورت جداگانه وارد مدل شده‌اند.

مجاز نیز اضافه شده است و انتظار می‌رود که این متغیرها در رخداد تصادف برون شهری تأثیر گذار باشند جدول ۱ داده‌های جمع‌آوری شده برای این مطالعه را نشان می‌دهد. جدول ۲ همبستگی بین متغیرها به منظور کنترل عدم همبستگی متغیرهای استفاده شده در مدل‌ها را نشان می‌دهد (خروجی نرم افزار SPSS).

براساس جدول شماره ۱ در این مطالعه ۱۰۷۱ قطعه با اندازه متوسط ۱۰۰۰ متری مورد تحلیل قرار گرفته است همچنین با توجه اهمیت راه‌ها میزان روزانه ترافیک سالانه بین ۵۰۰ تا ۲۹۹۳۰ برای قطعات راه متغیر است. بیشترین تردد نوع خودروها به ترتیب وسایل نقلیه سواری، کامیون و تریلر و مینی بوس و تریلی می‌باشد. همچنین، متوسط سرعت ثبت شده بین ۵۲ (مسیر گنجنامه) تا ۱۱۰ (مسیر آزادراه) کیلومتر بر ساعت متغیر است. بیشترین اختلاف



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه و قطعه‌بندی راه

جدول ۱. داده‌های جمع‌آوری شده جهت انجام مطالعه

متغیر توضیحی	تعداد کل	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
L	۱۰۷۱	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰,۱۹۶
AADT	۱۰۷۱	۵۰۰	۲۹۹۳۰	۹۲۰۰	۷۵۴۵
C1	۱۰۷۱	۳۵۰	۲۵۹۱۶	۷۵۹۸	۶۶۷۵
C2	۱۰۷۱	۳	۱۳۱۶	۶۱۲	۴۴۵
C3	۱۰۷۱	۸	۲۱۶۷	۷۹۷	۶۰۷
AV	۱۰۷۱	۵۲	۱۱۰	۸۰	۱۰
DS	۱۰۷۱	۳-	۱۶	۴,۵	۵,۵
S	۱۰۷۱	۰	۱۲	۳,۷	۱,۹۸
AC	۲۹۹۵	۰	۳۳	۲,۶	۴,۰۲۸

L: طول قطعه‌راه AADT: متوسط روزانه ترافیک سالانه C1: درصد سواری از کل AADT C2: درصد وانت و مینی‌بوس از کل AADT C3: درصد اتوبوس و کامیون و تریلی از کل AV: متوسط سرعت ثبت شده کل وسایل نقلیه DS: اختلاف متوسط سرعت از سرعت مجاز S: شیب قطعه‌راه AC: تعداد تصادفات.

L: طول قطعه‌راه AADT: متوسط روزانه ترافیک سالانه C1: درصد سواری از کل AADT C2: درصد وانت و مینی‌بوس از کل AADT C3: درصد اتوبوس و کامیون و تریلی از کل

جدول ۲. همبستگی پیرسون بین متغیرهای توضیحی

S	DS	AV	C3	C2	C1	AADT	L	متغیرهای توضیحی
							۱	همبستگی پیرسون معناداری
						۱	۰/۰۶۶	همبستگی پیرسون معناداری
							۰/۰۳۳	همبستگی پیرسون معناداری
					۱	**۰/۹۹۳	**۰/۰۸۲	همبستگی پیرسون معناداری
						۰۰۰	۰/۰۰۷	همبستگی پیرسون معناداری
				۱	**۰/۴۲	**۰/۷۵۳	**۰/۱۴۹	همبستگی پیرسون معناداری
					۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	همبستگی پیرسون معناداری
			۱	**۰/۵۲۸	**۰/۵۴۱	**۰/۲۷۱	**۰/۱۵۶	همبستگی پیرسون معناداری
				۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	همبستگی پیرسون معناداری
		۱	**۰/۵۰	**۰/۲۶۰	**۰/۲۸۵	**۰/۳۵۱	**۰/۳۰۴	همبستگی پیرسون معناداری
			۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	همبستگی پیرسون معناداری
	۱	**۰/۱۵۱	**۰/۲۶۲	**۰/۱۹۶	**۰/۴۱۲	**۰/۱۱۱	**۰/۲۶۴	همبستگی پیرسون معناداری
		۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	همبستگی پیرسون معناداری
۱	**۰/۱۰۴	**۰/۰۳۴	**۰/۱۰۴	**۰/۱۲۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۱	**۰/۳۷۴	همبستگی پیرسون معناداری
	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰	۰/۰۷۲	۰/۴۲۰	۰۰۰	همبستگی پیرسون معناداری
۱۰۷۱	۱۰۷۱	۱۰۷۱	۱۰۷۱	۱۰۷۱	۱۰۷۱	۱۰۷۱	۱۰۷۱	تعداد کل

*همبستگی با سطح معناداری ۰,۰۵

**همبستگی با سطح معناداری ۰,۰۱

۳-۱- روش تحقیق

در این مطالعه ابتدا کلیه محورهای برون شهری استان همدان به قطعات ۱۰۰۰ متری تقسیم شده و در محیط نرم افزار ArcGis خصوصیات مربوط به هر قطعه‌راه در یک جدول توصیفی مقابل آن درج شده است. همچنین تمامی تصادفات در موقعیت دقیق خود جایگذاری شده‌اند. اخیراً بسیاری از مطالعات به منظور شناسایی نقاط حادثه‌خیز از روش شبکه KDE استفاده شده که توسط محققان (Okabe et al. 2009) توسعه یافته استفاده کرده‌اند. روش فوق با استفاده از بررسی همبستگی مکانی وقایع نقطه در یک شبکه جاده‌ای نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند. در این مطالعه، شبکه چگالی تصادفات (KDE) بر روی قطعات ۱۰۰۰ متری تشکیل شده است که مشابه پیشنهادات محققان (Okabe and Xie, 2008; Yan, Nie, 2015; Sugihara, Okabe, 2012) است. همچنین بر اساس مطالعات (Gomes, et al-2017; Chimba et al, 2018) به منظور دقیق‌تر بودن نتایج شبکه

چگالی تصادفات (KDE) مقدار پهنای باند سه مقدار ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج مقدار ۳۰۰ مدل بهترین چگالی تصادفات را تولید کرده است. شکل ۲ الف تابع چگالی تصادفات (KDE) بر اساس تصادفات مشاهده شده ۳ سال (۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸) را نشان می‌دهد. شکل ۲ ب موقعیت کلیه تصادفات برون شهری، شکل ۲ پ سهم تردد انواع خودروها از هر یک از محورهای اصلی، شکل ۲ ث فراوانی تعداد تصادفات مشاهده شده در هر قطعه‌راه، شکل ۲ ج سهم کل تردد هر یک از محورها، شکل ۲ چ درصد شیب هر یک از محورها، شکل ۲ ح نسبت سرعت ثبت شده به سرعت مجاز هر محور، شکل ۲ خ قطعه‌بندی محورهای برون شهری استان همدان را نشان می‌دهد. تکنیک رگرسیون وزنی جغرافیایی (GWR) ابزاری برای ساخت مدلی است که اگر رابطه بین متغیرهایی با ویژگی‌های مکانی غیر ثابت را نشان دهد، نتایج نسبتاً دقیق‌تری ارائه می‌دهد (Fotheringham, 2002). از آنجا که

$$\begin{bmatrix} w_{i1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_{i2} & \dots & \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & w_{in} \end{bmatrix}$$

در این رابطه w_{ij} وزن متغیر i در محل i است. در این روش، معادله رگرسیون برای هر مکان بر اساس مشاهدات و متغیرهای در معرض در مناطق مجاور بر اساس فاصله از نقطه رگرسیون و وزن هر منطقه (در جایی که مناطقی نزدیکتر هستند وزن بیشتری دارند و بالعکس) برآورد می‌شود. ماتریس W را می‌توان با استفاده از یک هسته مربع تخمین زد که می‌تواند به صورت زیر باشد:

$$w_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{d_{iN}}\right)^2\right)^2 & \text{if } d_{ij} < d_{iN} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

در این رابطه d_{iN} فاصله نزدیکترین منطقه از منطقه i را نشان می‌دهد.

برخلاف پهنای باند کرنل، پهنای باند مربع کرنل با توجه به متفاوت بودن داده‌ها متفاوت است. برای تعیین پهنای باند هسته سازگار، از معیارهای $Akaike (AICc)$ استفاده شده است (Arvin, 2018). بهترین مدل دارای کمترین امتیاز $AICc$ است (Fotheringham, 2002). در این مطالعه از آزمون غیر ثابت بودن برای ارزیابی وجود تغییر در ضرایب برآورد شده در فضا استفاده گردیده است (Liu, 2017, Arvin, 2018).

بنابراین، اگر تفاوت بین دقت فوقانی و تحتانی ($\delta = \text{bupper} - \text{blower}$) از ضرایب برآورد شده از مدل $GWPR$ وجود داشته باشد، تغییرات قابل توجهی در بین ضرایب برآورد شده در فضا وجود دارد که در رابطه ۵ به آن اشاره شده است.

تکنیک GWR ارتباط بین متغیرها با ضریب متفاوت برای هر واحد جغرافیایی را محاسبه می‌کند، امکان تهیه نقشه فضایی درجایی که روابط ضعیف و قوی معنادار و غیر معنادار وجود دارد امکان‌پذیر است. معادله ۱ ماتریس وزنی قطری با ابعاد $(n \times n)$ بعدی را نشان می‌دهد که توسط $(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k)$ تشکیل شده است:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

در این رابطه پارامترهای مدل نشان داده شده توسط تابع $Bk(v_i, u_i)$ با توجه به مقادیر (v_i, u_i) متفاوت هستند که نشانگر مختصات و طول و عرض جغرافیایی برای مشاهده (منطقه) i است و در نتیجه یک مدل متفاوت با توجه به موقعیت مکانی و فضایی برای هر منطقه در مطالعه وجود دارد. همچنین فرضیه‌های مدل رگرسیون خطی کلاسیک برای GWR در جای خود باقی است.

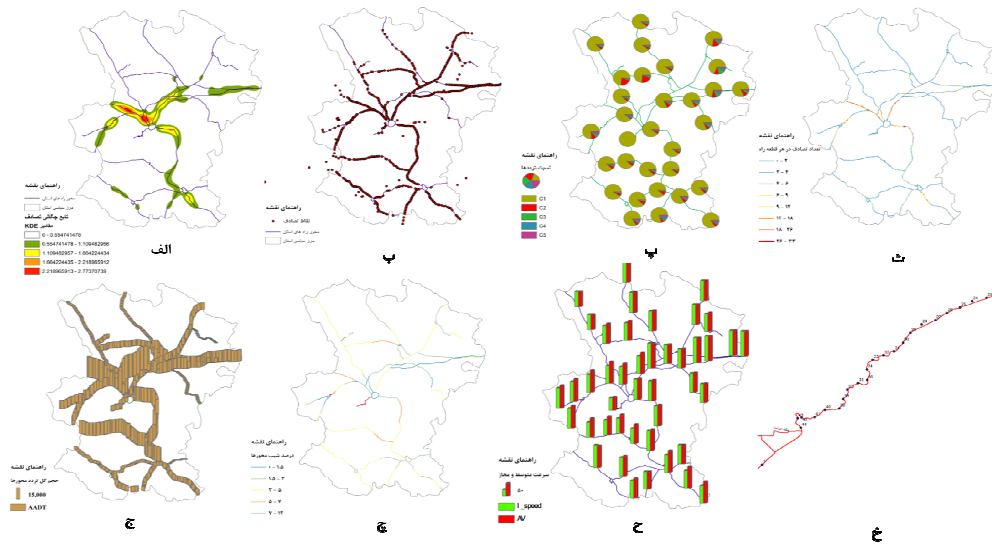
برای هر i ماتریس وزنی تشکیل می‌دهد، این وزن‌ها مطابق با موقعیت هر i متفاوت است. بدین ترتیب، موقعیت‌های نزدیکتر وزن بیشتری کسب می‌کنند. توزیع ناهمگن رابطه بین دو متغیر که مطابق با مکان می‌تواند مثبت یا منفی و قوی یا ضعیف باشد، می‌تواند با استفاده از تکنیک GWR در فضا منعکس شود. در یک $GWPR$ ، تعداد تصادفات توسط مجموعه‌ای از متغیرهای توضیحی پیش‌بینی می‌شود که پارامترها مجاز به تغییر در فضا هستند. این مدل را می‌توان به صورت رابطه ۲ بازنویسی کرد.

$$\ln(\lambda_i) = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i) \ln(E_{v_i}) + \sum_{k=1}^k \beta_k(u_i, v_i) x_{ij}$$

در این رابطه (u_i, v_i) مختصات منطقه i را مشخص می‌کند. لازم به ذکر است که در $GWPR$ ، تابعی از مختصات مرکز قطعه i است. از معادله ۳ می‌توان برای تخمین $Bk(u_i, v_i)$ استفاده کرد:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W (u_i, v_i) X)^{-1} X^T W (u_i, v_i) Y$$

در این رابطه (u_i, v_i) بردار ضرایب برآورد شده در منطقه i است، X ماتریس متغیرهای برونزا است، Y بردار $n \times 1$ متغیر وابسته (فراوانی تصادف) است و $W(u_i, v_i)$ ، ماتریس $n \times n$ وزن مکانی است.



شکل ۲. بررسی تصادفات مشاهده در محورها و پراکندگی متغیرهای توضیحی در قطعات راه

بررسی صحت مدل‌ها از خطای کمترین مربعات (RMSE) و خطای میانگین مطلق (MAD) نیز استفاده گردیده است. روابط مربوط به این دو مدل در زیر آمده است.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |y_{pred} - y_{obs}|}{n} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{pred} - y_{obs})^2}{n}} \quad (8)$$

۴- نتایج مدل‌سازی و بحث

بین سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ در محورهای اصلی برون شهری استان همدان ۲۹۹۵ تصادف گزارش شده است که از این تعداد ۲۴۹۷ تصادف جرحی و ۴۹۶ تصادف فوتی رخ داده است. همچنین در مجموع ۳۵۲۶ نفر مجروح و ۶۲۳ کشته شده‌اند. به طور کلی، راننده و مسافر بیشترین سهم از هزینه جامع تصادفات رانندگی در تصادفات شهری (۹۴٪) را دارند (Hezaveh-2019). با این حال، به طور متوسط هزینه کلی تصادفات رانندگی عابران پیاده و دوچرخه سواران در حومه شهرها به ترتیب ۱۵٫۷ و ۶٫۷ برابر بیشتر از میانگین هزینه تصادف رانندگان بوده است دلیل آن این است که حضور رانندگان در مبادی ورودی شهر و خروجی شهر

$$w_{ij} \begin{cases} \delta > 1.96 * SE \\ 1.96 < Max(|z_i|) \end{cases} \quad (5)$$

که در آن SE خطای استاندارد ضریب در مدل جهانی پواسون و $|z_i|$ مقدار مطلق معناداری z-scor در مدل GWPR برای هر شمارنده i است. اگر شرط بالا برقرار بود ضریب به‌عنوان ضریب محلی و در غیر این صورت، ضریب به‌عنوان ضریب جهانی در نظر گرفته می‌شود که دارای تنوع مکانی قابل توجهی نیست. به منظور برآورد مدل GWPR، از نرم افزار GWR4.0 استفاده شده است که توسط ناکایا و همکاران تهیه شده است. برای ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌ها از سه آماره برای اندازه‌گیری صحت تخمین مدل‌ها استفاده شد. اول، از AIC استفاده شد، مقدار کمتر AIC، (Bozdogan, 1987) نشان دهنده بهتر بودن مدل است و به شرح زیر اندازه‌گیری می‌گردد.

$$AIC = D + 2k \quad (6)$$

که در آن D انحراف مدل را نشان می‌دهد و k تعداد پارامترها است. در GWPR، به دلیل چارچوب غیرپارامتری مدل، تعداد پارامترها بی‌معنی است؛ بنابراین باید تعداد مؤثری از پارامترها در نظر گرفته شود که می‌تواند به‌صورت رابطه ۷ نوشته شود (Nakaya, 2005). علاوه بر مقدار AIC در

و ترافیکی راه و تصادفات با استفاده از دو مدل فضایی- مکانی ارائه می‌دهد. پژوهش جاری بر روی کلیه محورهای اصلی برون شهری استان همدان متمرکز شده است تا ارتباط بین ویژگی ترافیکی و ساختار قطعات محور راه با استفاده از اطلاعات موجود موثر در رخداد تصادف را بررسی نماید. مدل‌های فضایی استفاده شده در این تحقیق بر اساس متغیرهای توضیحی نشان داده شده در جدول ۱ کالیبره شدند. برای هر مدل در ابتدا به دلیل تأثیر پیش‌بینی کننده غالب آن در تصادفات ابتدا فقط AADT در نظر گرفته شده است. متغیرهای دیگر به صورت تحلیلی به فرم مدل انتخاب شده اضافه شدند. در این روش، متغیرهای یکی در مشخصات مدل اضافه می‌شوند، در حالی که اهمیت این متغیرها و AICc مدل را کنترل می‌کند. روش انتخاب متغیر چندین بار تکرار شد. مدل‌های فضایی با کوچکترین AICc به عنوان آخرین مدل در نظر گرفته شد. برآورد پارامترهای در نظر گرفته جهت پیش‌بینی تصادف و شناسایی مقاطع حادثه‌خیز به روش سنتی و فضایی در مطالعات گذشته مقایسه شده است (Li, 2013). تفاوت بین دو مدل این است که در مدل سنتی (GLM) برای هر متغیر یک پارامتر ثابت دارد در حالی که در مدل فضایی (GWR-GWPR) دارای پارامترهای مکانی متفاوت برای هر متغیر است. پارامتر یک متغیر در مدل سنتی در محدوده پارامترهای همان متغیر در مدل فضایی قرار می‌گیرد که نشان دهنده پارامتر برآورد شده در مدل سنتی است. نتایج برآورد مدل‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. مشخص شده است که مدل‌های محلی به دلیل برتری خوب در برازش، عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های جهانی دارند. نتایج نشان داد که استفاده از تکنیک GWPR در مدل جهانی با گرفتن ناهمگنی فضایی قادر به بهبود عملکرد فرایند برآورد با توجه به خوب بودن اندازه‌گیری‌های متناسب (AIC, AICc) است. با این حال، این بهبود در پواسون نسبت به مدل‌های توزیع دوجمله‌ای منفی معقول‌تر است (Soroori, 2020) زیرا تا حدی عدم وجود پارامتر پراکندگی از طریق روش GWPR جبران شده است. اگرچه، وقتی قرار است متغیر پاسخ در مجموعه داده فعلی توضیح داده شود، مدل‌های توزیع دوجمله‌ای منفی عملکرد بهتری دارند، اما آن‌ها نمی‌توانند با یک قابلیت اطمینان بالا از وضع داده‌ها در آینده پیش‌بینی مناسبی انجام دهند و از آنجا که مدل‌های پیچیده‌تری هستند، مقادیر کمتری به آن‌ها داده

نسبت به عابران پیاده و دوچرخه سواران بیشتر است. اما آسیب پذیری دوچرخه سواران و عابران پیاده در این محدوده‌ها بیشتر است. از کل تعداد تصادفات ۱۲۹۵ مورد به علت عدم توجه به جلو، ۸۴ مورد به علت عدم رعایت فاصله طولی، ۳۳ مورد به علت عدم رعایت فاصله عرضی، ۹۹ مورد به علت انحراف به چپ، ۹۶ مورد به علت تجاوز به خط مقابل، ۷۲ مورد به علت نقص فنی، ۹۶ مورد به علت تغییر مسیر، ۵۲۵ مورد به علت حق تقدم، ۲۴۰ مورد به علت سرعت بالا و ۵۵ مورد به علت خستگی رخ داده است. همچنین از بین افراد فوت شده ۳۴۱ مورد فوتی در صحنه تصادف و ۲۶۳ مورد حین انتقال به بیمارستان و ۱۵ مورد در بیمارستان فوت کرده‌اند. بالای ۷۰ درصد از رانندگان مقصر (۲۵۶۴ نفر) دارای تحصیلات زیر دیپلم بوده‌اند. همچنین کلیه محورهای اصلی در محدوده سیاسی استان همدان به ۱۰۷۱ قطعه ۱ کیلومتری تقسیم شده است که از این تعداد ۹۰ قطعه آزادراه و ۳۰۰ قطعه بزرگراه و مابقی راه‌های دوطرفه می‌باشند. بر اساس نتایج جدول حداقل میزان AADT مربوط به راه‌های دوطرفه به میزان ۵۰۰ وسیله نقلیه و حداکثر AADT به میزان ۲۹۹۳۰ مربوط به آزادراه ساوه است همچنین بیشترین تصادفات گزارش شده بر اساس شکل ۲ الف مربوط به محورهای اسدآباد، همدان-ملایر، همدان-کبودرآهنگ، همدان-بهار و همدان-سندج می‌باشد. همچنین مطابق شکل ۲ پ بیشترین تردد وسایل نقلیه سنگین نسبت به سواری در مسیرهای محور قدیم ساوه، نهاوند-بروجرد، ملایر-اراک، اسدآباد-کنگاور مشاهده شده است. بر اساس شکل ۲ چ مسیرهای همدان-شهرستانه (گنجنامه)، دوراهی همدان-اسدآباد، محور سندج دارای بیشترین اختلاف ارتفاع و مسیرهای آزادراه و محور قدیم ساوه کمترین اختلاف ارتفاع را دارند. مطابق شکل ۲ ح بیشترین اختلاف سرعت مجاز و سرعت ثبت شده در محورهای بهار، نهاوند-کرمانشاه، محور اسدآباد، اسدآباد-کنگاور و کمترین اختلاف سرعت در محور آزادراه و بزرگراه ساوه وجود دارد. جدول ۳ الف و ۳ ب به ترتیب نتایج مدل GWR و GWPR را نشان می‌دهد همچنین در جدول ۳ ج مقایسه و صحت سنجی مدل‌های پیش‌بین مقاطع حادثه‌خیز راه آورده شده است. همچنین، در شکل ۳ نقشه خطرپذیری معابر بر اساس مدل بهینه خروجی جدول ۳ ج نشان داده شده است. باید در نظر داشت این مطالعه یک چارچوب داده محور برای درک رابطه بین متغیرهای هندسی

حداکتر = ۳,۱) همچنین نشان می‌دهد که چند خطی بودن در مسئله مورد نظر نیست. نتایج آماری مدل نشان داده شده در مدل GWPR. تمام متغیرهای متغیر در مدل GWPR اثر محلی دارند. شکل ۳ نقشه پیش‌بینی تصادف و اثر مکانی پارامتر تخمین زده شده بر تصادف را نشان می‌دهد (Hezaveh. 2019) فقط آن ضرایب که تأثیر قابل‌توجهی دارند در شکل ۴ آورده شده است. ضرایب ناچیز با رنگ سفید ارایه شده‌اند. شایان ذکر است که ضرایب برآورد شده در مدل‌های ثابت سنتی در محدوده مقادیر مشابه در مدل‌های فضایی قرار می‌گیرند (Hezaveh. 2019) که این نشان می‌دهد که پارامترهای تخمین زده شده در مدل‌های جهانی (مدل‌های ثابت) در تمام متغیرهای مدل GWPR از منفی تا مثبت تغییر می‌کند که در برخی موارد غیر متظره است.

می‌شود. پیچیدگی این مدل‌ها برای داده‌های فعلی مناسب‌تر است اما دقت آن‌ها را برای داده‌های جدید کمتر می‌کند. روابط فضایی بین بسیاری از قطعات راه با چگالی تصادف بالا که دارای همبستگی زیاد هستند نشان می‌دهد که موقعیت‌های تصادف که با تخمین تراکم به طور مناسب‌تری منتقل شده‌اند، در طول سه سال ثابت مانده‌اند. این خروجی‌ها ما را به این نتیجه می‌رساند که وقوع تصادف ممکن است تحت تأثیر همان عوامل محیطی ناشی از خصوصیات هندسی و ترافیکی قطعات راه باشد. مطالعه (ShariatMohaymany. 2013). این موضوع را تأیید می‌کند. جدول ۳ نتیجه مدل‌های رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و رگرسیون پواسون وزن جغرافیایی با هسته مربع تطبیقی برای پیش‌بینی تصادف را ارایه می‌دهد. مقایسه AIC، MAE، RMSE و ارایه شده در جدول ۳ ج همچنین نشان می‌دهد که مدل GWPR در مقایسه با مدل GWR مناسب‌تر است. مقادیر کران بالا و پایین (میانگین = ۱,۴،

جدول ۳. نتایج مدل‌سازی شناسایی قطعات پر تصادف راه به روش فضایی- مکانی

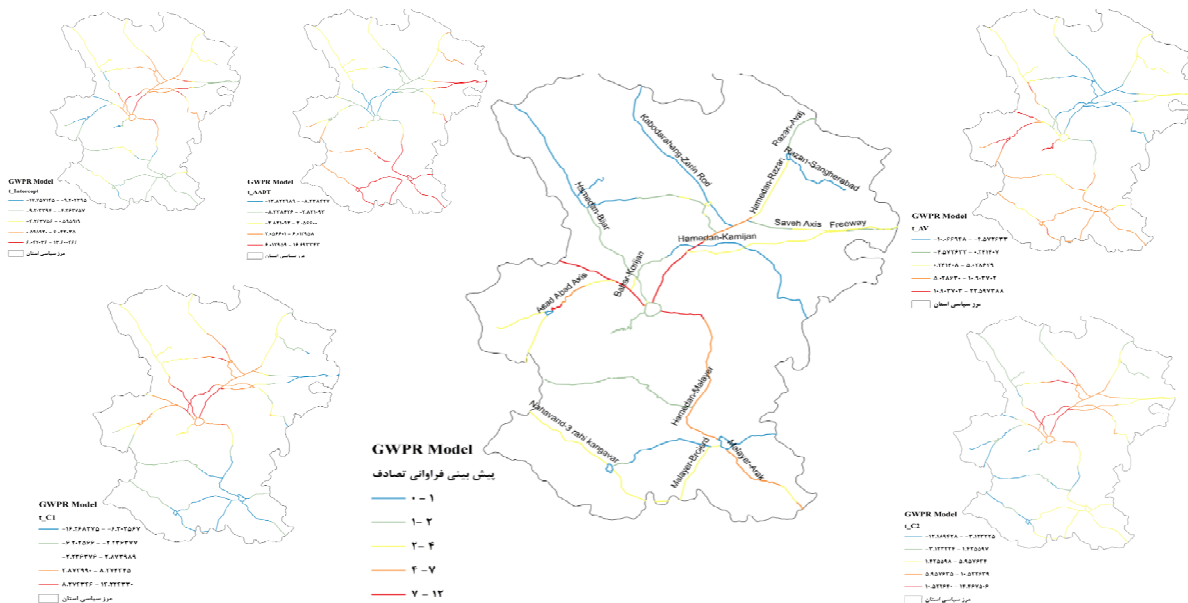
الف) نتایج مدل‌سازی به روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR)											
Local	Upr Quartile	lwr Quartile	Median	Max	Min	STD	Mean	z	Stand Error	Estimate	متغیرها
بله	۲۱,۸۶۱	۱۸,۵۴۷	۲۱,۵۴۱	۲۵,۶۵۸	۱۷,۰۲۱۵	۱۵,۳۶۸	۰,۷۹۰	۶,۵۲۴	۴,۱۳	۲۶,۹۸	Intercept
بله	۰,۰۰۲۶	۰,۰۰۳	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۸۵	۰,۰۹۵۱	۰,۰۰۴۸	۰,۰۰۱	۱,۵۵۴	۰,۰۰۹	۰,۰۰۱	AADT
بله	۰,۰۰۲۹	-۰,۰۰۲۴	۰,۰۰۰۱	۰,۰۹۲۵	-۰,۰۰۷۸	۰,۰۰۴۶	۰,۰۰۱	۱,۶۴۲	۰,۰۰۹	۰,۰۰۱	C1
بله	۰,۰۱۱۳	-۰,۰۰۹۱	۰,۰۰۱۵	۰,۲۹۳	-۰,۰۴۱۲	۰,۰۱۷۸	۰,۰۰۱	۲,۹۷۵	۰,۰۰۲	۰,۰۰۸	C2
بله	۰,۰۲۵۱	-۰,۰۰۷۱	۰,۰۰۲۵	۰,۵۱۴	-۰,۰۱۵۲	۰,۰۲۵۴	۰,۰۰۱	۰,۷۵۴	۰,۰۳	۰,۰۵۱	C3
بله	۰,۰۷۵۱	-۰,۰۰۴۲	۰,۰۲۷	۱,۱۲۴	-۶,۵۲۷	۰,۲۲۸	۰,۰۲۱	-۶,۵۳۸	۰,۰۵۱	-۰,۰۰۱	AV
بله	۱,۳۱۳	۰,۱۸۱	۱,۱۰۹	۳,۷۹۸	۰,۸۴۳	۰,۳۸۶	۰,۱۰۰	۰,۰۵۱	۰,۱۰۸	۰,۰۰۶	DS
بله	۰,۶۳۲۱	۰,۲۴۳	۱,۰۳۴۵	۱۴,۶۱۸	۰,۵۴۷	۰,۵۲۶	۰,۱۰۱	۰,۶۴۶	۰,۲۶۸	۰,۰۱۷	S

ب) نتایج مدل‌سازی به روش رگرسیون پواسون وزن‌دار جغرافیایی (GWPR)											
Local	Upr Quartile	lwr Quartile	Median	Max	Min	STD	Mean	z	Stand Error	Estimate	متغیرها
بله	۱,۱۱۹	-۹,۱۵۶	-۳,۶۰۴	۵,۵۷۱	-۲۱,۵۵۷	۷,۵۸۹	-۵,۳۳	۶۶,۶۳۹	۰,۰۵۲	۳,۶۶۸	Intercept
بله	۰,۰۰۲۵	-۰,۰۰۰۸	۰,۰۰۲۲	۰,۰۰۶۲	۰,۰۰۲۱	۰,۰۰۲۴	۰,۰۰۱	۵,۸۹۹	۰,۰۰۱	۰,۰۰۰۱	AADT
بله	۰,۰۰۰۸	-۰,۰۰۲۶	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۲۱	-۰,۰۰۷۹	۰,۰۰۳۰	۰,۰۰۱	۶,۸۵۱	۰,۰۰۱	۰,۰۰۲۳	C1
بله	۰,۰۰۶۶	-۰,۰۰۰۵	۰,۰۰۳۲	۰,۰۲۴۲	-۰,۰۱۱۱	۰,۰۰۷۳	۰,۰۰۴	۱۹,۶۴۶	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱۹	C2

بله	۰,۰۰۲۴	-۰,۰۰۰۴۱	۰,۰۰۰۲۱	۰,۰۰۵۱۴	۰,۰۰۵۸۲	۰,۰۰۰۴۸	۰,۰۰۰۷	۱۷,۵۴۷	۰,۰۰۱	۰,۰۰۸۵	C3
بله	۰,۰۹۳۵	-۰,۰۲۳۸	۰,۰۳۵۶	۰,۳۳۸	۰,۰۹۴۹	۰,۰۹۲۸	۰,۰۰۱	۵۳,۴۱۴	۰,۰۰۱	-۰,۰۵۳	AV
بله	۰,۱۳۲	-۰,۰۱۷۴	۰,۰۱۵	۰,۸۶۶	۰,۵۲۲	۰,۲۷۷	۰,۰۶۰	۷,۱۸۰	۰,۰۰۴	۰,۰۲۸۹	DS
بله	۰,۰۸۵	-۰,۰۸۷	۰,۰۰۱۷	۰,۶۱۵	۰,۶۰۴	۰,۰۱۹۱	۰,۰۳۳	۱۲,۳۷۲	۰,۰۰۷	۰,۰۹۸۸	S

جدول ۳. (ج) - صحت سنجی مدلها

GWR	GWPR	Models
۳,۸۹۲۱	۲,۶۴۵	Based Sigma Estimate
۳,۹۴۳۹	۲,۳۲۵	UnBased Sigma Estimate
۲۳۴۷,۷۲۳۷	۳۱۸۹,۲۵۱۴	-2 log-likelihood
۲۵۴۱,۵۱۴۷	۲۹۵۴,۲۱۵۴	AIC
۲۵۳۴,۷۲۳۹	۲۸۱۲,۱۲۵	AICc
۲۸۵۴,۴۸۲۸	۲۵۴۸,۱۲۴۵	BIC/MDL
۶,۰۵۴	۷,۰۲۱	CV
۰,۴۲	۰,۶۱	R square
۰,۴۷	۰,۵۷	Adjusted R square
۰,۷۸	۰,۴۲۵	MAD
۱,۴۵	۰,۵۹۱	RMSE
۰,۰۸۴	۰,۰۳۱	Moran's Index
<۰,۰۰۱	<۰,۰۰۱	p-value



شکل ۳. نقشه پیش‌بینی تصادف و اثر مکانی پارامتر تخمین زده شده

سرعت مجاز موجب عدم کنترل وسیله نقلیه خواهد شد. چنین یافته‌هایی به متخصصان ایمنی راه کمک می‌کند تا منابع مالی، از جمله بودجه و زمان را با قرار دادن در قطعات پرخطر راه برای پروژه‌های بهبود ایمنی راه اختصاص دهند. برای الگوهای زمانی تصادف، مطالعات گزارش شده بیشتر بر روی نوسان مقدار و میزان تصادفات، جراحات و مرگ‌ومیر بر اساس مقیاس‌های زمانی مختلف متمرکز شده است (Erdogan, 2008, Li, 2007). در بیشتر مطالعات، فقط تعداد تصادفات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند که غیرمنطقی به نظر می‌رسد به‌ویژه در صورت عدم دسترسی به مکان‌های دقیق تصادف مقایسه تراکم برآورد شده ممکن است تصویری واقع‌بینانه‌تر از مکان‌های با چگالی تصادف بالا ایجاد کند. نتیجه همبستگی مکانی - زمانی که نشانه‌ای از تأثیرات درجه اول داده‌های تصادف است، ما را به این نتیجه می‌رساند که وقایع تصادف ممکن است تحت تأثیر همان عوامل محیطی باشد. سپس چنین مکان‌هایی را می‌توان از نظر عوامل مکانی یا فضایی در امتداد بخش‌های جاده بررسی کرد.

بر اساس نتایج جدول ۳ شدت ترافیک دارای ضرایب مثبت است که حاکی از آن است که میزان ازدحام ترافیک با فراوانی تصادف ارتباط مثبت دارد که در برخی مطالعات نیز گزارش شده است (Huang, 2010). اگرچه در چند مطالعه همبستگی منفی گزارش شده است و (Hedayeghi et al., 2013, Li, 2003, Noland and Oh, 2013)، یعنی درصد ترافیک با تصادفات مرگبار رابطه منفی دارد. ضرایب درصد کامیون‌ها/تریلرها از منفی به مثبت متفاوت است. تغییر علامت ضریب معمولاً در کاربرد GWR یا GWPR مشاهده شده است (Hadayeghi et al. 2010a; Xu, 2015). وجود وسایل نقلیه سنگین تأثیر مثبت در فراوانی تصادف دارد بنابراین در محورهایی که تردد وسایل نقلیه سنگین بیشتر فراوانی تصادف بیشتر است (Li, 2013).

نتایج مدل نشان داده است که اختلاف سرعت خودروها از سرعت مجاز و شیب قطعه‌راه، تأثیر مثبت بر فراوانی تصادف دارد. در سرعت‌های پایین‌تر از سرعت مجاز باعث ایجاد شوک موج در ترافیک و کاهش سرعت ناگهانی ترافیک باعث بروز تصادف شده همچنین اختلاف سرعت بیشتر از

۵- نتیجه‌گیری

طی دهه‌های گذشته، محققان رویکردهای مختلفی را برای توسعه دانش و دستورالعمل‌های ایمنی راه‌ها اتخاذ کرده‌اند. اخیراً، بسیاری از محققان با شناسایی عوامل خطر بر ایمنی وسایل نقلیه تحقیقاتی انجام داده‌اند. با این حال، بسته به تعداد تصادفات بدون در نظر گرفتن عوامل محیطی اساساً ممکن است اطلاعات محدود و حتی مغرضانه‌ای در مورد مکان‌هایی که اقدامات ایمنی مورد نیاز هستند ارائه دهد و اینکه چه تدابیری بهتر است برای بهبود ایمنی راه‌ها انجام گیرد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد دستورالعمل‌های موجود در کتاب آئین‌نامه ایمنی راه‌های آمریکا موقعیت مکانی تصادف را در نظر نمی‌گیرد و ارتباط فضایی تصادفات در موقعیت‌های خاص تأثیری در شناسایی مقاطع حادثه‌خیز ندارد از این‌رو در چند سال اخیر محققان با استفاده از مدل‌های فضایی-مکانی مدل‌های سنتی را توسعه داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد بین متغیرهای مؤثر در ایجاد تصادف ارتباط فضایی وجود دارد ضمن کنترل همبستگی بین متغیرها در گام اول مطالعه مدل رگرسیون پواسن وزن‌دار جغرافیایی نسبت به رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی به علت

ماهیت شمارشی بودن داده‌های تصادف برآورد قابل‌قبول‌تری ارائه می‌کند.

۶- مراجع

-Anderson, T.K. Kernel Density Estimation and K-Means Clustering to Profile Road Accident Hotspots. *Accid. Anal. Prev.* 41 (3), pp.359-364.

-Arvin, R., Kamrani, M., Khattak, A.J., Rios-Torres, J., (2018), "Safety impacts of automated vehicles in mixed traffic. Paper Presented at the Transportation Research Board 97th Annual Meeting", Washington DC.

-Chatterjee, A., Wegmann, F., Fortey, N., Everett, J., (2001), "Incorporating safety and security issues in urban transportation planning. In: A Paper Presented at the 80th Annual TRB Meeting. Washington, D.C.

- geographically weighted poisson regression”, *Accid. Anal. Prev.* 42 (2), pp.676–688.
- Haining, R., (2003), “Spatial Data Analysis: Theory and Practice; Cambridge University Press: Cambridge”.
- Hezaveh, A., Arvin, R., Cherry, C., (2019), “A geographically weighted regression to estimate the comprehensive cost of traffic crashes at a zonal level”, *Accident Analysis and Prevention* 131, pp.15–24.
- Huang, H., Abdel-Aty, M., Darwiche, A., (2010), “County-level crash risk analysis in Florida: bayesian spatial modeling. *Transp*”, *Res. Rec.: J. Transp. Res. Board*, pp.27–37.
- Li, L.; Zhu, L.; Sui, D., (2007), “A GIS-based Bayesian Approach for Analyzing Spatial–Temporal Patterns of Intra-City Motor Vehicle Crashes”, *Accid. Anal. Prev.*, 15 (4), pp.274–285.
- Li, Z., Wang, W., Liu, P., Bigham, J. M., & Ragland, D. R., (2013), “Using Geographically Weighted Poisson Regression for county-level crash modeling in California”, *Safety Science*, 58, pp.89–97.
- Li, Z., Wang, W., Liu, P., Bigham, J., Ragland, D., (2013), “Using Geographically Weighted Poisson Regression for county-level crash modelin in California” *Safety Science* 58 (2013) pp.89–97.
- Liu, J., Khattak, A., Wali, B., (2017), “Do safety performance functions used for predicting crash frequency vary across space?” Applying geographically weighted regressions to account for spatial heterogeneity.
- Nakaya, T., Fotheringham, A.S., Brunson, C., Charlton, M., (2005), “Geographically weighted poisson regression for disease association mapping”, *Stat. Med.* 24 (17), pp.2695–2717.
- Chimba, D., Musinguzi, A., Kidando, E., 2018. Associating pedestrian crashes with demographic and socioeconomic factors. *Case Studies on Transport Policy* <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.01.006>.
- Chiou, Y.-C., Jou, R.-C., Yang, C.-H., (2015), “Factors affecting public transportation usage rate: geographically weighted regression”, *Transp. Res. Part a Policy Pract.* 78, pp.161–177.
- Dumbaugh, E., Meyer, M.D., Washington, S., (2004), “Incorporating state highway safety agencies into safety-Conscious planning process”, In: A Paper Presented at the 83th Annual TRB Meeting. Washington, D.C.
- Erdogan, S.; Yilmaz, I.; Baybura, T.; Gullu, M. (2008), “Geographical Information System Aided Traffic Accident Analysis System Case Study: City of Afyonkarahisar, *Accid., Anal., Prev.* 40 (1), pp.174–181.
- Fotheringham, S., Brunson, C., Charlton, M., (2002), “Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships”, John Wiley & Sons.
- Gomes, M., Cunto, F., Silva, A., (2017), “Geographically weighted negative binomial regression applied to zonal level safety performance models”, *Accident Analysis and Prevention* 106 (2017), pp. 254–261.
- Hadayeghi, A., Shalaby, A., Persaud, B., (2010a), “Development of planning-level transportation safety models using full Bayesian semiparametric additive techniques”, *Journal of Transportation Safety and Security* 2, pp.45–68.
- Hadayeghi, A., Shalaby, A.S., Persaud, B.N., (2010b), “Development of planning level transportation safety tools using

- 1943-9970 (Online) Journal homepage, <https://www.tandfonline.com/loi/utss20>.
- Tarko, A.P., (2006), "Calibration of safety prediction models for planning transportation networks", *Transp. Res. Rec., J. Transp. Res. Board* 1950 (1), pp.83-91.
- Xie, Z., Yan, J., (2008), "Kernel density estimation of traffic accidents in a networkspace Computers", *Environ. Urban Syst.* 32 (5), pp.396-406.
- Xu, P., Huang, H., (2015), "Modeling crash spatial heterogeneity: random parameter versus geographically weighting", *Accid. Anal. Prev.* 75, pp.16-25.
- Xu, P., Huang, H., Dong, N., Wong, S., (2017), "Revisiting crash spatial heterogeneity: a Bayesian spatially varying coefficients approach. *Accid. Anal. Prev.* 98, pp.330-337.
- Yamada, I.; Rogerson, P. (2003), "An Empirical Comparison of Edge Effect Correction Methods Applied to K-Function Analysis", *Geog. Anal.* 35, pp.97-109.
- Zhang, Y., Bigham, J., Li, Z., Ragland, D., Chen, X., (2012), "Associations between road network connectivity and pedestrian-bicyclist accidents", In: *The 91th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, DC*.
- Zwerling, C., Peek-Asa, C., Whitten, P., Choi, S.-W., Sprince, N., Jones, M.P., (2005), "Fatal motor vehicle crashes in rural and urban areas: decomposing rates into contributing factors", *Inj. Prev.* 11 (1), pp.24-28.
- Nhtsa, (2013), "Traffic Safety Facts Department of Transportation", National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC.
- Nie, K., Wang, Z., Du, Q., Ren, F., Tian, Q., (2015), "A network-constrained integrated method for detecting spatial cluster and risk location of traffic crash: a case study from Wuhan", *China Sustainability* 7 (3), pp.2662-2677.
- Okabe, A., Satoh, T., Sugihara, K., (2009), "A kernel density estimation method for networks", its computational method and a GIS-based tool. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 23 (1), pp.7-32.
- Pirdavani, A., Brijs, T., Bellemans, T., Wets, G., (2013), Spatial analysis of fatal an injury crashes in Flanders, Belgium: Application of geographically weighted regression technique. In: *The 92th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, DC*.
- Pulugurtha, S.S.; Krishnakumar, V.K.; Nambisan, S.S. (2007), "New Methods to Identify and Rank High Pedestrian Crash Zones: An Illustration", *Accid. Anal. Prev.*, 39 (4), pp.800-811.
- Shariat Mohaymany, A., Shahri, M., Mirbagheri, B., (2013), "GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation", ISSN: 1009-5020 (Print) 1993-5153 (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/tgsi20>.
- Soroori, A., Mohammadzadeh Moghaddam, A., Salehi, M., (2020), "Modeling spatial nonstationary and overdispersed crash data: Development and comparative analysis of global and geographically weighted regression models applied to macrolevel injury crash data", ISSN: 1943-9962 (Print)

Application of Geographical-Spatial Models in Predicting the Frequency of Road Crash

(Case Study: Main Road Network of Hamadan Province)

Hassan Khaksar, Assistant Professor, Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

Seyed Ahmad Almasi, Ph.D., Student, Roads and Transportation Planning, Faculty of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Qazvin Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Ali Asghar Goharpoor, Ph.D., Grad., Department of Engineering, Malayer University, Malayer, Iran

E-mail: s.a.almasi110@gmail.com

Received: August 2021-Accepted: February 2022

ABSTRACT

Identifying road segment at risk of accidents offers a special approach to safety professionals to better understand crash patterns and enhance road safety management. Conventional methods for identifying accident hotspots and crash patterns are not strong enough to take into account the spatial properties of crash data in the model. Traffic accidents with a spatial nature tend to be spatially dependent, Spatial models describe the predicted value of the crash pattern in space, which can be due to changes in the remarkable properties of the local environment Reflects crash densities better and provides a more realistic picture of crash distribution. In this study, all the main suburban axes of Hamedan province based on spatial accident data from 2017 to 2019 using kernel density distribution methods, geographical weighted regression, (GWR) geographical weighted Poisson regression (GWPR) have been studied. The results of the models show that the geographically weighted Poisson regression (GWPR) model has better results for predicting crash locations than other models.

Keywords: Crash, Safety, Spatial Distribution