ارایه مدل ترکیبی به منظور پیش‌بینی تصادفات شهری بر اساس پارامترهای ساختار مکانی شبکه معابر (رویکرد مطالعه موردی)

مقاله علمی- پژوهشی

سید احمد اسلامی نژاد*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ahmad.eslami73@ut.ac.ir

دریافت: ١٤٠٠/٠٢/٢٧- پذیرش: ١٤٠٠/٠٨/٠٥

صفحه ١٣٠-١١٥

چکیده

امروزه ایمنی جاده‌ای یکی از دغدغه‌های بزرگ مهندسان ترافیک است، زیرا تصادفات اثرات زیادی روی زندگی مردم داشته‌اند. بنابراین پیش‌بینی قطعات حادثه‌خیز شبکه معابر جهت جلوگیری از وقوع تصادفات آتی و بهبود ایمنی ترافیک بسیار حائز اهمیت است. یکی از مهم‌ترین عواملی که باعث بروز تصادفات می‌شود، ساختار مکانی شبکه معابر است. ساختار مکانی شبکه معابر مرتبط با آرایش و چیدمان اجزای شبکه معابر است که به عنوان یک قید مکانی بر جریانات شهری بسیار تأثیرگذار است. نوآوری تحقیق حاضر ارایه یک رویکرد ترکیبی جدید جهت تعیین پارامترهای ساختار مکانی مؤثر در پیش‌بینی قطعات حادثه‌خیز (منطقه سه شهر تهران) است. در این راستا از ترکیب رگرسیون وزن‌دار مکانی (کرنل‌های نمایی و مربع دوگانه) و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات گسسته استفاده گردید. روش ترکیبی پیشنهادی مناسب برای مسائل رگرسیون مکانی است، زیرا این روش با دو خواص منحصر به فرد داده‌های مکانی یعنی خودهمبستگی مکانی و ناایستایی مکانی سازگار است. بهترین مقدار تابع برازش ($1-R^2$) برای کرنل‌های نمایی و مربع دوگانه به ترتیب ٠/٠٦٤ و ٠/٠٠٣ به دست آمد. هم‌چنین مشخص شد که پارامترهای ساختار مکانی تأثیر قابل توجهی بر پیش‌بینی قطعات حادثه‌خیز در منطقه موردمطالعه دارند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات گسسته، رگرسیون وزن‌دار مکانی، ساختار مکانی، شبکه معابر

١-مقدمه

امروزه نقش حمل‌ونقل و شبکه معابر در ارتباطات و جابجایی افراد بسیار حائز اهمیت است (مومنی‌مژده و همکاران، ١٣٩٥). متأسفانه کشور ما یکی از کشورهایی است که بیشترین تلفات ناشی از تصادفات را دارد (کاشانی و سامی، ١٣٩٥). از این‌رو شناسایی نقاط حادثه‌خیز جهت بهبود ایمنی ترافیک بسیار مؤثر است. سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)[1]، تحلیل‌های مکانی را در اختیار متخصصین قرار داده است که کمک شایانی در شناسایی نقاط حادثه‌خیز می‌کند (Thakali et al., 2015). در تحقیقات پیشین از روش‌های تک‌معیاره فرکانس، شدت و نرخ تصادفات جهت شناسایی نقاط حادثه‌خیز تصادفات استفاده شده است (Afghari et al., 2020; Wang et al., 2020). در بروز تصادفات عوامل مختلفی نقش دارند که به علت پیچیدگی آن‌ها نمی‌توان به روش‌های تک‌معیاره اکتفا کرد. از ویژگی‌های یک محیط شهری که نقش مهمی در شکل‌گیری رویدادهای اجتماعی ایفا می‌کند، ساختار مکانی محیط شهری است (Jiang and Claramunt, 2002). در واقع منظور از ساختار مکانی، آرایش و چیدمان مکانی مشخص اجزا با یکدیگر است که بر جریانات شهری تأثیرگذار هستند

(Pan et al., 2020; Koohsari et al., 2019; Sharmin and Kamruzzaman, 2018). معابر بخش‌های مختلف شهری نقش مهمی در رفت‌وآمدهای افراد دارند که موقعیت خاص مکانی برخی از خیابان‌ها (ویژگی‌های ساختاری) سبب می‌شود تا افراد جهت دسترسی به مقاصد خود، به طور طبیعی بیشتر این معابر را انتخاب کنند (Sharmin and Kamruzzaman, 2018). در واقع ساختار مکانی عبارت است از مجموعه فن‌های رایانه‌ای برای مدل‌سازی شهرها، به طوری‌که مدل به وجود آمده از سیستمی شامل اجزای مرتبط به یکدیگر تشکیل شده است (Koohsari et al., 2019; Mansouri and Ujang; 2017). داشتن اطلاعاتی در مورد ساختار مکانی معابر در شهرها، کلید اساسی برای پاسخ‌گویی به پرسش‌هایی در مورد نحوه تعامل بین ساختار شهری و الگوهای رفت‌وآمد است، به‌طوری‌که تغییر در ساختار مکانی خیابان‌ها در یک شهر می‌تواند اثرات زیادی بر روی سیستم حمل‌ونقل، وقوع تصادفات و ... داشته باشد (Attig, 2019; Hamzah and Ebraheem, 2020). در واقع مختصصین با شناسایی ارتباط بین قطعات حادثه‌خیز قطعات و روابط ساختار مکانی می‌توانند هر گونه اصلاح شبکه معابر شهری را از منظر ساختار مکانی به گونه‌ای به اجرا درآورند تا از بروز تصادفات جلوگیری شود (Attig, 2019).

۲-پیشینه تحقیق

در ارتباط با رویکردهای تک‌معیاره و چندمعیاره (مرتبط با ساختار مکانی شبکه معابر) شناسایی نقاط حادثه‌خیز تصادفات مطالعاتی انجام گرفته که اهم آن‌ها در ذیل ارایه شده است.

۲-۱-رویکردهای تک‌معیاره

استرین‌برگن و همکاران روش برآورد چگالی کرنل مسطح (PKDE)[۲] و شاخص محلی خودهمبستگی مکانی گتیس ارد جی استار مسطح را در راه‌های کشور بلژیک مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که روش PKDE، مناطق حادثه‌خیز را بدون هیچ‌گونه اهمیت آماری ارایه می‌دهد، در حالی‌که شاخص محلی گتیس ارد جی استار مسطح مناطق حادثه‌خیز تصادفات را بر اساس اهمیت آماری شناسایی می‌کند (Steenberghen et al., 2004). اردوغان و همکاران ترکیب روش PKDE با شاخص‌های محلی خودهمبستگی مکانی گتیس ارد جی استار و انسلین موران مسطح را در راه‌های کشور ترکیه مورد آزمایش قرار دادند. نتیجه‌ی ارزیابی نشان داد که ترکیب روش PKDE با شاخص محلی انسلین موران مسطح برای راه‌های مستقیم و ترکیب روش PKDE با شاخص محلی گتیس ارد جی استار برای تقاطع‌ها کارایی بهتری دارد (Erdogan et al., 2015). اونی و بلومی از شاخص‌های محلی گتیس ارد جی استار و انسلین موران مسطح جهت اولویت‌بندی آماری مناطق حادثه‌خیز تصادفات در سه منطقه کشور تونس استفاده کردند. محققان فوق هم‌چنین از شاخص سراسری موران استفاده کردند که مشخص شد تصادفات از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کنند (Ouni and Belloumi, 2019).

۲-۲-رویکردهای چندمعیاره مرتبط با ساختار مکانی

گائو و همکاران از معیار میانه جهت پیش‌بینی جریان ترافیک شهر چینگ‌دائو در کشور چین استفاده کردند. آن‌ها از دو گراف مزدوج و اصلی جهت مدل‌سازی جریان ترافیک استفاده کردند و این دو گراف را از لحاظ میزان همبستگی جریان ترافیک با پارامتر میانه مقایسه کردند. نتیجه نشان داد که گراف مزدوج همبستگی بیشتری با جریان ترافیک دارد (Gao et al., 2013). داساناياکا و جایاسینگه به شناسایی روابط بین شدت تصادفات و الگوی شبکه معابر کشور سریلانکا با تمرکز بر پارامترهای ساختار مکانی پرداختند. آن‌ها پارامترهای درجه، ادغام محلی، ادغام سراسری و میانه را در نظر گرفتند و با استفاده از رگرسیون چندگانه خطی روابط بین پارامترهای ساختار مکانی و شدت تصادفات را به دست آوردند که مشخص شد پارامتر ادغام محلی همبستگی بیشتری با شدت تصادفات دارد (Dasanayaka and Jayasinghe, 2014). اوبیدت و همکاران جهت بررسی روابط توپولوژیک ساختار مکانی (پارامترهای اتصال، ادغام سراسری و میانه) بر تصادفات کشور اردن از رگرسیون چندگانه خطی استفاده کردند که مشخص شد پارامترهای میانه و ادغام سراسری در شناسایی مناطق حادثه‌خیز مؤثرتر بوده‌اند (Obeidat et al., 2017).

بررسی ساختار مکانی موضوعی است که تاکنون زیاد بدان پرداخته شده است. اما در میان مطالعات صورت پذیرفته، سه نکته وجود دارد که کم‌تر بدان توجه شده است؛ اول این‌که در هیچ یک از این مطالعات ترکیب مناسب و کافی از پارامترها برای بیان اهمیت ساختاری معابر در نظر گرفته نشده است. دوم

این‌که ابزار مورد استفاده برای بررسی میزان تأثیرگذاری اهمیت ساختاری هر خیابان با توجه به پیچیدگی‌های شهری در شکل‌گیری تصادفات مناسب نبوده است. پارامترهای ساختار مکانی برای ارتباط بین الگوی حرکتی افراد در تئوری گراف (غالباً شبکه‌های اجتماعی) مورد استفاده قرار می‌گرفته است، اما به نوعی از این پارامترها می‌توان جهت پیش‌بینی حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر استفاده کرد که اهمیت این تحقیق را بالا می‌برد (Rahmani et al., 2020). نکته سوم این است که در این مطالعات از مدل‌هایی استفاده شده است که رابطه بین تصادفات و عوامل مؤثر را به صورت خطی و بدون در نظر گرفتن تأثیرات مکانی داده‌ها فرض می‌کند و می‌تواند منجر به تخمین نادرستی از قطعات حادثه‌خیز گردد. بنابراین در این تحقیق سعی شد تا ضمن برطرف کردن کاستی‌های مطالعات پیشین، به معرفی روشی مناسب جهت ایجاد ارتباط معنی‌دار بین روابط ساختار مکانی و قطعات حادثه‌خیز پرداخته شود.

۳-روش تحقیق

این تحقیق با هدف پیش‌بینی میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر بر مبنای روابط ساختار مکانی و تعیین پارامترهای ساختار مکانی مؤثر صورت گرفته است. در این راستا ابتدا رویکرد ترکیبی روش برآورد چگالی کرنل شبکه-مقید (NKDE)[۳] و شاخص محلی خودهمبستگی مکانی گتیس ارد جی استار شبکه-مقید جهت ایجاد لایه حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر بررسی گردید. در نهایت روش چندمعیاره رگرسیون وزن‌دار مکانی (GWR)[۴] و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات گسسته (BPSO)[۵] جهت پیش‌بینی میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر و تعیین پارامترهای ساختار مکانی مؤثر بررسی شدند.

۳-۱-روش‌های مختلف مدل‌سازی ساختار مکانی

به طور کلی از دو روش هندسی و توپولوژیک جهت مدل‌سازی شبکه معابر استفاده می‌شود (Hillier and Iida, 2005). مدل‌سازی توپولوژیک به کشف الگوهای ساختاری شبکه معابر کمک می‌کند. در مقابل مدل‌سازی هندسی نمایش ساده‌شده‌ای از معابر است که برای اهدافی مانند اندازه‌گیری مسافت، مسیریابی و ... مناسب است. بنابراین در این تحقیق از مدل‌سازی توپولوژیک جهت محاسبه روابط ساختار مکانی شبکه معابر استفاده شد تا بررسی شود معابر تا چه اندازه در معرض وقوع تصادفات هستند. مدل‌سازی توپولوژی شبکه معابر حمل‌ونقل، به دو صورت گراف‌های اصلی و مزدوج انجام می‌گیرد (Jiang and Claramunt, 2002). در گراف اصلی از خطوط مستقیم به‌جای شکستگی‌های معابر استفاده می‌گردد، در حالی‌که در گراف مزدوج، روابط توپولوژیک بین اجزای شبکه معابر به صورت واقعی مدل‌سازی می‌شوند (Jiang and Claramunt, 2002). از این‌رو در این تحقیق از گراف مزدوج جهت مدل‌سازی توپولوژیک شبکه معابر استفاده شد. با محاسبه روابط ساختار مکانی می‌توان گره‌های مهم شبکه معابر را شناسایی کرد (Du, 2019). در ادامه برخی از پارامترهای مهم ساختار مکانی با توجه به نتایج تحقیقات پیشین بیان شده است (Gao et al., 2013; Dasanayaka and Jayasinghe, 2014; Obeidat et al., 2017; Du, 2019; Qi et al., 2013; Sen and Chaudhary, 2017).

پارامتر درجه[۶]

درجه یک گره تعداد گره‌هایی است که با گره موردنظر در همسایگی مستقیم قرار دارد و از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌گردد (Jiang and Claramunt, 2002):

$$deg_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \quad (۱)$$

در رابطه (۱) n تعداد کل گره‌ها و a_{ij} درایه‌های ماتریس همسایگی است.

پارامتر کنترل[۷]

کنترل یک گره مجموع معکوس درجات تمام گره‌های همسایه به گره موردنظر در گراف است که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Jiang and Liu, 2009):

$$Con_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{deg_j} \quad (۲)$$

در رابطه (۲) n تعداد کل گره‌ها و deg_j درجه j امین همسایه متصل به گره موردنظر i است.

عمق گره[۸]

عمق یک گره به کمترین گام گفته می‌شود که برای رسیدن از یک گره به سایر گره‌های موجود در گراف طی می‌شود. مفهوم گام معادل تعداد گره‌های عبوری در انتقال از یک گره به گره دیگر است. برای مفهوم عمق، دو پارامتر عمق محلی و عمق سراسری تعریف می‌شود (Jiang and Claramunt, 2002). در محاسبه مقدار عمق سراسری، حداکثر تعداد گام‌ها

در گراف در نظر گرفته می‌شود، در حالی‌که حداکثر تا تعداد سه گام برای محاسبه عمق محلی در نظر گرفته می‌شود. پارامترهای عمق محلی و سراسری به ترتیب از روابط (۳) و (٤) محاسبه می‌گردند (Jiang and Claramunt, 2002):

$$LD = \sum_{s=1}^{m} s \times N_s \quad 1 < m < l \tag{۳}$$

$$GD = \sum_{s=1}^{m} s \times N_s \qquad m = l \tag{٤}$$

در روابط (۳) و (٤) s تعداد گام تا گره موردنظر، N_s تعداد گره‌ها با گام s از گره موردنظر و l حداکثر گام است.

ادغام گره[۹]

ادغام یک گره میانگین تعداد گره‌هایی که بتوان توسط آن‌ها از گره موردنظر به تمامی گره‌های دیگر دست پیدا کرد، است و از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Jiang and Liu, 2009):

$$Int_i = \frac{2(n\left[log_2\left(\frac{n+2}{3}\right)-1\right]+1)}{(n-1)(n-2)} \Big/ \frac{2(\frac{GD}{n-1}-1)}{n-2} \tag{۵}$$

در رابطه (۵) n تعداد گره‌های گراف، GD مقدار عمق سراسری و RA_i مقدار عدم تقارن نسبی است. در ادغام سراسری، n تعداد کل گره‌ها و در ادغام محلی، n تعداد گره‌هایی با فاصله دو گام از گره موردنظر است.

نزدیکی گره[۱۰]

نزدیکی یک گره مجموع معکوس فاصله ژئودزیک گره موردنظر تا تمام گره‌های موجود در گراف است که از رابطه (٦) محاسبه می‌گردد (Du, 2019):

$$Cls_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n} d_{ij}} \tag{٦}$$

در رابطه (٦) d_{ij} فاصله ژئودزیک بین دو گره موردنظر در گراف و n تعداد کل گره‌ها است.

میانه گره[۱۱]

میانه یک گره عبارت است از نسبت تعداد دفعاتی که یک گره بر روی کوتاه‌ترین مسیر میان گره‌های مختلف یک گراف قرار می‌گیرد و از رابطه (۷) محاسبه می‌گردد (Du, 2019):

$$Btw_i = \frac{1}{(n-1)(n-2)} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{j-1} \frac{p_{ikj}}{p_{ij}} \tag{۷}$$

در رابطه (۷) p_{ij} تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای موجود بین دو گره، p_{ikj} تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای موجود بین دو گره i و j عبوری از گره k و n تعداد کل گره‌ها است.

لاپلاسین گره[۱۲]

لاپلاسین یک گره به عنوان افت نسبی انرژی لاپلاسین ناشی از حذف کردن گره موردنظر در گراف است که از رابطه (۸) محاسبه می‌شود (Qi et al., 2013):

$$Lap_i = deg_i{}^2 + deg_i + 2\sum_{j=1}^{n} deg_j \tag{۸}$$

در رابطه (۸) deg_i مقدار درجه گره i، n تعداد کل گره‌ها و deg_j مقدار درجه گره‌های همسایه گره i است.

رتبه صفحه گره[۱۳]

این پارامتر بر اساس یک گراف جهت‌دار از رابطه (۹) به دست می‌آید (Sen and Chaudhary, 2017):

$$Pr_i = \frac{1-d}{n} + d\sum_{j \in L_i} \frac{Pr_j}{n_j} \tag{۹}$$

در رابطه (۹) n تعداد کل گره‌ها، L_i گره‌های همسایه در جهت گره i، n_j تعداد اتصالات خروجی از گره j، d فاکتور میرایی (۰/۸۵) و Pr_j رتبه صفحه گره j است.

ضریب خوشه‌بندی گره[۱٤]

ضریب خوشه‌بندی گره میزان تمایل گره‌های موجود در شبکه جهت تشکیل گره‌های متراکم با اتصالات بالا است که از رابطه (۱۰) به دست می‌آید (Jiang and Liu, 2009):

$$Cl_i = \frac{m_i}{n(n-1)} \tag{۱۰}$$

در رابطه (۱۰) m_i تعداد اتصالات موجود و n تعداد اتصالات ممکن است.

۳-۲-بررسی روش‌های تک‌معیاره

در راستای هدف تحقیق از رویکرد ترکیبی روش NKDE و شاخص محلی گتیس ارد جی استار شبکه-مقید استفاده شد.

روش برآورد چگالی کرنل شبکه-مقید

در روش برآورد چگالی کرنل مسطح فضا به عنوان یک فضای دوبعدی شناخته می‌شود. اما در تحلیل رویدادهای شبکه، این روش نمی‌تواند نتایج منطقی را ارایه دهد (Harirforoush and Bellalite, 2019). در روش NKDE، چگالی فضای شبکه در کنار چگالی رویدادهای

نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین در این روش پارامترهای شعاع جستجو و تابع کرنل بر اساس فاصله شبکه‌ای محاسبه می‌گردند (Harirforoush and Bellalite, 2019). رابطه (۱۱) جهت برآورد چگالی کرنل شبکه-مقید استفاده می‌شود (Xie and Yan, 2009):

$$\lambda(s) = \sum_{q=1}^{n} \frac{1}{r} k\left(\frac{d(q,p)}{r}\right) \quad (۱۱)$$

در رابطه (۱۱) r شعاع جستجو، d(q,p) فاصله شبکه‌ای بین مرکز کرنل و نقطه موردنظر و k تابع کرنل پایه (کرنل درجه چهارم) است که از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود (Erdogan et al., 2015; Harirforoush and Bellalite, 2019):

$$k\left(\frac{d(q,p)}{r}\right) = K\left(1 - \frac{d(q,p)^2}{r^2}\right) \quad (۱۲)$$

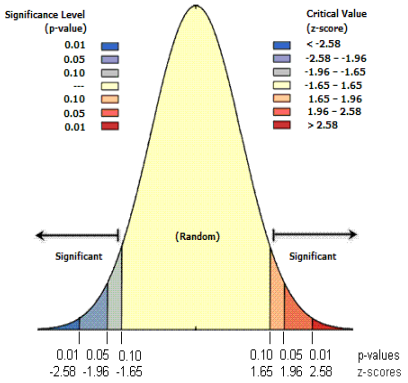
در رابطه (۱۲) مقدار K ضریب مقیاس است که معمولاً ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود. ویژگی اساسی روش NKDE این است که شبکه معابر به واحدهای خطی پایه‌ای به نام لیکسل تقسیم می‌شوند. استفاده از لیکسل نه تنها در انتخاب مکان‌هایی با فاصله منظم در امتداد شبکه مناسب است، بلکه بهبود کارایی محاسبات را امکان‌پذیر می‌سازد (Okabe et al., 2009). نکته مهم این است که تعداد اتصال‌ها اغلب در گره‌ها افزایش پیدا می‌کند و سبب می‌شود اطمینان از صحت برآورد میزان چگالی دشوار گردد. بنابراین در این تحقیق چگالی اطراف گره‌ها بر اساس تابع کرنل گسسته با تقسیم برابر از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود (Okabe et al., 2009):

$$K_q(p) = \begin{cases} \dfrac{k(d_s(q,p))}{(n_{i1}-1)(n_{i2}-1)\dots(n_{ik-1})} \\ for\ d_s(q,v_{ik-1}) \le d_s(q,p) < d_s(q,v_{ik}) \\ 0 \\ for\ d_s(q,p) > h \end{cases} \quad (۱۳)$$

در رابطه (۱۳) K_q تابع کرنل، q مرکز کرنل، $d_s(q,p)$ کوتاه‌ترین فاصله شبکه‌ای بین مرکز کرنل (q) و نقطه مشاهده شده (p)، h شعاع جستجو، n تعداد گره‌های خطوط بر روی شبکه، v رئوس شبکه و k تابع کرنل پایه درجه چهارم است.

شاخص محلی گتیس ارد جی استار شبکه-مقید

شاخص محلی گتیس ارد جی استار جهت مطالعه الگوهای محلی داده‌های مکانی معرفی شد و قادر به تمیز دادن محدوده‌های محلی با مقادیر بالا و پایین است (Steiger et al., 2015). خروجی این شاخص دارای مقادیر Z-Score و P-Value است. مقدار Z-Score یک انحراف معیار است که نشان‌دهنده نقاط بحرانی است و مقدار P-Value نیز نشان‌دهنده احتمال تولید الگوی مکانی توسط فرآیندهای تصادفی است (Griffith, 2008). طبق شکل (۱) مقدار Z-Score بزرگ و مقدار P-Value کوچک، نشان‌دهنده خوشه‌بندی مکانی مقادیر با ارزش‌های بالا و مقادیر Z-Score و P-Value کوچک، نشان‌دهنده خوشه‌بندی مکانی مقادیر با ارزش‌های پایین است.



شکل ۱. بررسی حالات مختلف P-Value و Z-Score (Mitchell, 2005)

شاخص گتیس ارد جی استار و مقدار Z-Score از روابط (۱۴) تا (۱۶) محاسبه می‌شود (Getis and Ord, 1996):

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^{n} W_{ij}x_j - \bar{X}\sum_{j=1}^{n} W_{ij}}{S * \sqrt{\frac{[n\sum_{j=1}^{n} W_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^{n} W_{ij})^2]}{n-1}}} \quad (۱۴)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} x_j^2}{n} - \bar{X}^2} \quad (۱۵)$$

$$z_{G_i} = \frac{G_i^* - E[G_i^*]}{\sqrt{V[G_i^*]}} \quad (۱۶)$$

در روابط (۱۴) تا (۱۶) x_j ویژگی مربوط به لیکسل j، W_{ij} ماتریس قطری وزن مکانی بین دو لیکسل i و j شامل دو مقدار صفر و یک، $\bar{X}$ متوسط مقادیر ویژگی لیکسل‌ها، n تعداد کل لیکسل‌ها و $E[G_i^*]$ و $V[G_i^*]$ نیز به ترتیب امید ریاضی و

واریانس شاخص محلی گتیس ارد جی استار است. ماتریس وزن مکانی این شاخص به دو صورت مبتنی بر گره و مبتنی بر فاصله است (Liu et al., 2019). در ماتریس مبتنی بر گره، اگر دو لیکسل یک گره را به اشتراک بگذارند، دو لیکسل موردنظر همسایه یکدیگر هستند و وزنی برابر یک خواهند گرفت. در ماتریس مبتنی بر فاصله نیز اگر مراکز دو لیکسل در حد آستانه تعریف شده قرار بگیرند، دو لیکسل موردنظر همسایه یکدیگر هستند و وزن برابر با یک خواهند گرفت.

۳-۳-رگرسیون وزن‌دار مکانی

با توجه به این‌که داده‌های مکانی دارای ویژگی‌های خودهمبستگی مکانی و ناایستایی مکانی هستند، از این‌رو کم‌تر می‌توان از رگرسیون‌های پایه استفاده کرد (Tobler, 1970). در روش GWR، وابستگی‌های مکانی مشاهدات به‌صورت ماتریس‌های وزن در نظر گرفته می‌شوند و به دلیل ناهمگونی محیط و وجود ناایستایی مکانی، ضرایب رگرسیون به صورت محلی به دست می‌آیند (Wheeler, 2014). معادله روش GWR از رابطه (۱۷) محاسبه می‌گردد (Wheeler, 2014):

$$y_i = \sum_{j=1}^{m} \beta_j(u_i,v_i)x_j + \varepsilon_i \quad (۱۷)$$

در رابطه (۱۷) y_i متغیر وابسته (میزان حادثه‌خیزی گره‌های گراف مزدوج)، x_j متغیرهای مستقل (پارامترهای ساختار مکانی)، m تعداد متغیرهای مستقل (تعداد گره‌های گراف مزدوج)، ε_i باقیمانده مدل و β_j ضرایب رگرسیون هستند. در این روش، جهت محاسبه ماتریس وزن مکانی نیاز به مشخص کردن تابع کرنل است. بر اساس نتایج تحقیقات پیشین، در این تحقیق از دو کرنل نمایی و مربع دوگانه استفاده شد که به ترتیب از روابط (۱۸) و (۱۹) محاسبه می‌شوند (Fotheringham and Oshan, 2016; Oshan et al., 2019):

$$W(u_i,v_i) = exp(-(\frac{|d_{ij}|}{b})) \quad (۱۸)$$

$$W(u_i,v_i) = \begin{cases} (1-(\frac{d_{ij}}{b})^2)^2 & |d_{ij}| < b \\ 0 & Otherwise \end{cases} \quad (۱۹)$$

در روابط (۱۸) و (۱۹) d_{ij} فاصله دو نقطه i و j و b پهنای باند است. در روش GWR، تغییرات محلی و ناایستایی مکانی ضرایب توسط آماره انحراف استاندارد از رابطه (۲۰) به دست می‌آید (Wheeler, 2014):

$$v_j = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\beta_{ij} - \beta_j)^2/n} \quad (۲۰)$$

در رابطه (۲۰) β_{ij} ضریب رگرسیون عامل j ام در مشاهده i ام، β_j میانگین ضریب رگرسیون عامل j ام در کل مشاهدات و n تعداد مشاهدات است. خروجی GWR شامل پارامترهای متعددی است که از آن میان معمولاً پارامتر ضریب تشخیص R^2 برای سنجش مناسبت برازش مدل و پارامتر خطای جذر میانگین مربعات[۱۰] (RMSE) جهت سنجش توزیع باقیمانده‌های مدل به کار می‌روند که به ترتیب، طبق روابط (۲۱) و (۲۲) محاسبه می‌شوند (Wheeler, 2014):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \overline{y})^2} \quad (۲۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (۲۲)$$

در روابط (۲۱) و (۲۲) n تعداد مشاهدات، y_i مشاهده i ام، $\hat{y}_i$ مقدار پیش‌بینی شده مشاهده i ام و $\overline{y}$ میانگین مشاهدات است.

۳-٤-الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات گسسته

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) یک الگوریتم جستجوی جمعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان و ماهی‌ها مدل شده است (Kennedy and Eberhart, 1995). الگوریتم PSO یک الگوریتم بهینه‌سازی تصادفی مبتنی بر جمعیت است که باعث می‌شود کمتر در مینیمم محلی گرفتار شود می‌شود (Abed and Ahmad, 2020). در این الگوریتم کیفیت جواب مسیر پیشنهادی به جمعیت اولیه وابسته نیست و با شروع از هر نقطه در فضای جستجو، جواب مسئله به جواب بهینه همگرا می‌شود (Abed and Ahmad, 2020). بنابراین با توجه به فضای مسئله، این الگوریتم می‌تواند در دو حالت پیوسته و گسسته تعریف شود. با توجه به هدف این تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات گسسته (BPSO) استفاده شده است. در حالت گسسته این الگوریتم ذرات به داشتن متغیرهای صفر و یک محدود

می‌شوند که بردار سرعت و موقعیت ذرات از طریق روابط (٢٣) و (٢٤) به روزرسانی می‌شوند (Kennedy and Eberhart, 1997):

$$V_i(t+1) = wV_i(t) + c_1 r_1\left(\text{Pbest} - X_i(t)\right) + c_2 r_2\left(\text{Gbest} - X_i(t)\right) \quad (٢٣)$$

$$X_i(t+1) = \begin{cases} 1 & if\ \rho \le \dfrac{1}{1+e^{-V_i(t+1)}} \\ 0 & Otherwise \end{cases} \quad (٢٤)$$

در روابط (٢٣) و (٢٤) $V_i(t)$ سرعت ذره i ام، $X_i(t)$ موقعیت ذره i ام، $V_i(t+1)$ سرعت ذره i ام در موقعیت بعدی، $X_i(t+1)$ موقعیت ذره i ام در موقعیت بعدی، Pbest بهترین موقعیت تجربه شده برای ذره i ام، Gbest بهترین موقعیت تجربه شده در کل ذرات، c_1 ضریب یادگیری شخصی، c_2 ضریب یادگیری جمعی، w وزن داخلی و r_1، r_2 و ρ اعداد تصادفی در محدوده $[0,1]$ هستند. مراحل الگوریتم BPSO به شرح ذیل است (Zhu et al., 2011):

-در ابتدا مقداردهی اولیه ذرات صورت می‌گیرد.

-سپس ذرات از نظر تابع برازندگی مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند.

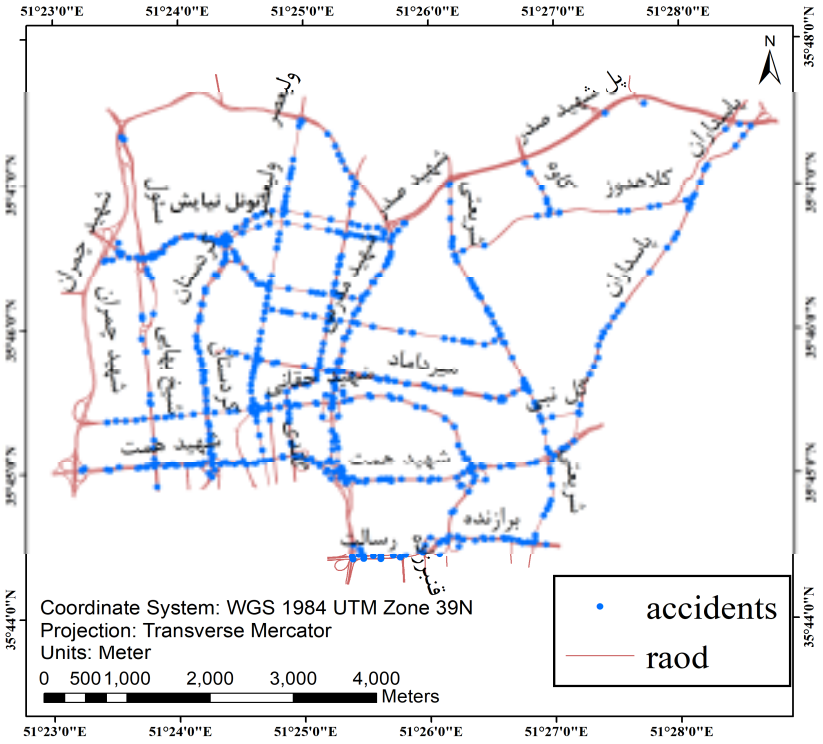
-در مرحله سوم، بهترین موقعیت شخصی و سراسری برای هر ذره شناسایی می‌شود.

-سپس سرعت و موقعیت ذرات به روزرسانی می‌شود.

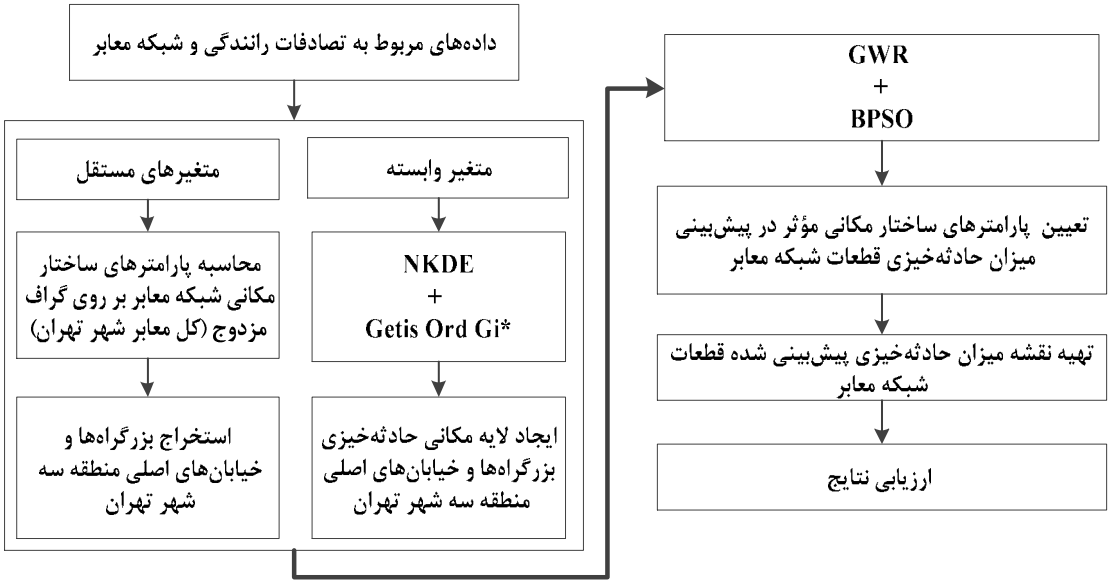
-در مرحله آخر، شرایط خاتمه بررسی می‌گردد. در غیر این صورت مراحل ٢ تا ٤ ادامه پیدا می‌کند تا این‌که مسئله به همگرایی برسد.

٤-پیاده‌سازی و ارزیابی

شکل (٢) موقعیت تصادفات منطقه سه شهر تهران را در بازه زمانی ١٣٩٢ تا ١٣٩٦ نشان می‌دهد که از شرکت کنترل ترافیک شهر تهران اخذ شده است. این منطقه بر اساس آمارهای شرکت کنترل ترافیک شهر تهران، یکی از مناطق پر تصادف شهر تهران به شمار می‌آید. بر اساس این آمار، تعداد ١٠٥٣٨ تصادف رانندگی در سال‌های ١٣٩٢ تا ١٣٩٦ در منطقه سه شهر تهران رخ داده است. بنابراین در این تحقیق، این منطقه به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شده است. با توجه به این‌که اکثر تصادفات بر روی بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی ثبت شده است، از این‌رو در این تحقیق از بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی منطقه سه شهر تهران جهت پیاده‌سازی تحلیل‌های ذکر شده استفاده گردید. هم‌چنین در شکل (٣) فلوچارت روش پیشنهادی تحقیق نشان داده شده است.



شکل ٢. موقعیت تصادفات منطقه سه شهر تهران در بازه زمانی ١٣٩٢ الی ١٣٩٦



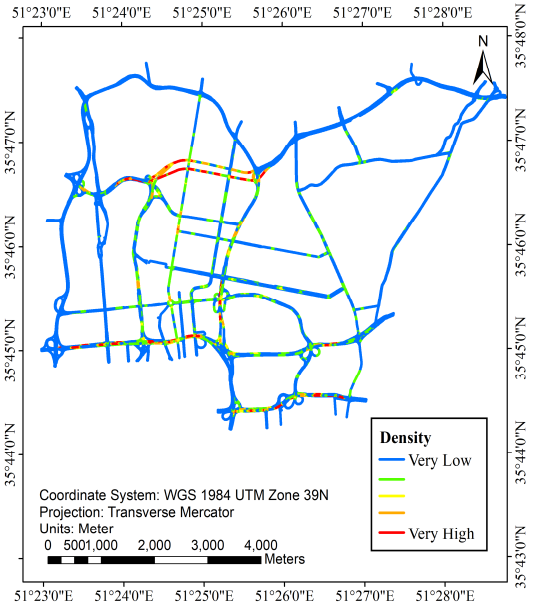
شکل ٣. فلوچارت روش پیشنهادی تحقیق

جهت شناسایی قطعات حادثه‌خیز شبکه معابر بر اساس پارامتر چگالی تصادفات، از روش NKDE استفاده شد. با توجه به نتایج تحقیقات پیشین، در این تحقیق به منظور ایجاد محدوده دید مناسب از شعاع جستجوی ١٠٠ متری (طول لیسکل ١٠ متر) استفاده شد که قادر به شناسایی خوشه‌ها در قطعاتی با طول بیشتر از ٢٠٠ متر است (Harirforoush and Bellalite, 2019; Erdogan et al., 2015). جهت پیاده‌سازی روش NKDE از نرم‌افزار SANET استفاده گردید (Okabe et al., 2009). طبق جدول (١) خروجی روش NKDE بر اساس پارامتر چگالی تصادفات نشان داده شده است.

جدول ١. خروجی روش NKDE با شعاع جستجوی ١٠٠ متر و کرنل گسسته با تقسیم برابر

شعاع (متر)	اندازه لیکسل (متر)	میانگین چگالی	انحراف معیار
١٠٠	١٠	٦/١٥	٣٤/٤٣

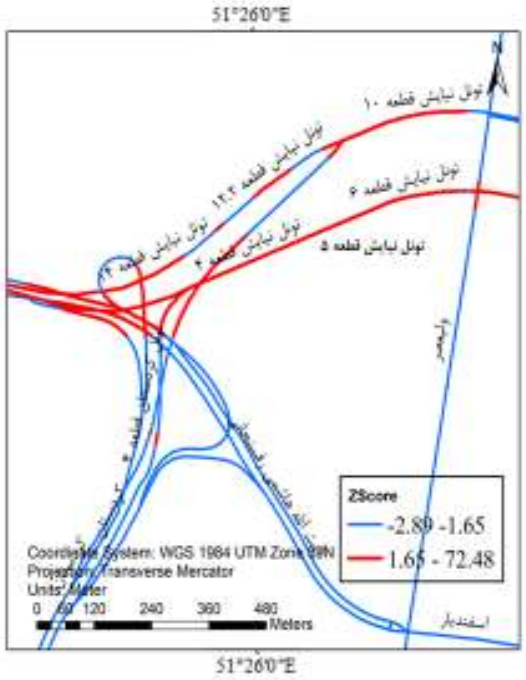
شکل (٤) نقشه آسیب‌پذیری لیکسل‌های قطعات شبکه معابر را با روش NKDE با کرنل گسسته با تقسیم برابر و شعاع جستجوی ١٠٠ متری بر اساس پارامتر چگالی تصادفات نشان می‌دهد. با توجه به عدم وجود پارامتر آماری مناسب در روش NKDE، نقشه خروجی در ٥ کلاس برابر بر اساس روش Equal Interval تهیه شد.



شکل ٤. نقشه آسیب‌پذیری لیکسل‌های قطعات شبکه معابر به روش NKDE با کرنل گسسته با تقسیم برابر

در ادامه لایه خطی لیکسل‌های حاصل شده از NKDE به عنوان ورودی در شاخص محلی گتیس ارد جی استار شبکه-مقید استفاده شد تا لیکسل‌ها بر مبنای پارامتر آماری Z-Score اولویت‌بندی شوند. جهت تعریف ارتباط مکانی در ماتریس وزن، از حالت وزن مبتنی بر گره استفاده شد که در

تحقیقات پیشین بیشتر استفاده شده است (Xia et al., 2017; Liu et al., 2019). پس از اولویت‌بندی آماری لیکسل‌ها بر اساس پارامتر آماری Z-Score در سطح اطمینان ۹۰ درصد (شکل (۵))، از ابزار Spatial join نرم‌افزار ArcMap جهت اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز شبکه معابر بر اساس میانگین پارامتر آماری Z-Score لیکسل‌های حادثه‌خیز استفاده گردید که در جدول (۲) ۵ قطعه حادثه‌خیز بر اساس میانگین پارامتر Z-Score لیکسل‌ها در سطح اطمینان ۹۰ درصد (Z-Score>۱/٦٥) اولویت‌بندی شده‌اند.



شکل ۵. اولویت‌بندی آماری لیکسل‌های حادثه‌خیز قطعات شبکه معابر به روش *NKDE- Getis Ord Gi

جدول ۲. ۵ قطعه حادثه‌خیز روش *NKDE- Getis Ord Gi

تعداد لیکسل	میانگین Z-Score	موقعیت قطعات
۲۹	٥٤/۰۹	تونل نیایش قطعه ٦
۲٦	۳٤/۳۱	تونل نیایش قطعه ٥
۲٥	۲۱/۷٥	تونل نیایش قطعه ٤
۲۳	۲۰/۱٥	تونل نیایش قطعه ۷
۲۰	۱٥/۲۲	تونل نیایش قطعه ۳

طبق جدول (۳) متغیر وابسته بر اساس میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر (گره‌ها در گراف مزدوج) در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد در نظر گرفته شد.

جدول ۳. تعریف متغیر وابسته بر اساس میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر

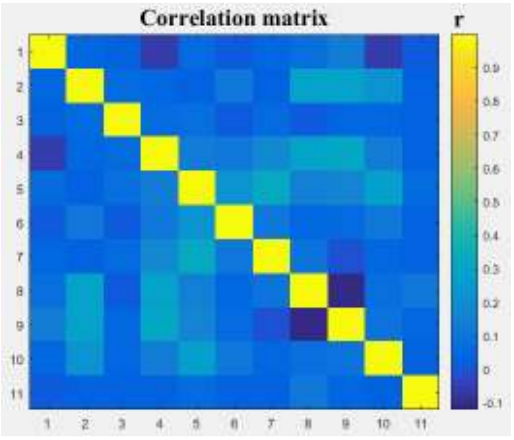
مقدار	محدوده میانگین پارامتر Z-Score قطعات شبکه معابر
۱	mean (Z-Score) >۲/٥۸
۰/۸	۱/۹٦ < mean (Z-Score) <۲/٥۸
۰/٦	۱/٦٥< mean (Z-Score) <۱/۹٦
۰	۰< mean (Z-Score) <۱/٦٥

در ادامه طبق جدول (٤) پارامترهای ساختار مکانی شبکه معابر از طریق نرم‌افزارهای Axwoman و Pajec اندازه‌گیری و به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند (Jiang, 2015; Batagelj and Mrvar, 2003). این پارامترها به ترتیب ارایه شده، ابعاد ذرات الگوریتم BPSO را جهت تعیین پارامترهای ساختار مکانی مؤثر در پیش‌بینی میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر تشکیل می‌دهند. بنابراین ابتدا برای کل معابر شهر تهران، پارامترهای ساختار مکانی در فضای گراف مزدوج محاسبه شدند. سپس بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی منطقه سه شهر تهران از بین کل معابر استخراج شدند تا ماهیت ساختاری شبکه معابر حفظ شود (Jiang and Liu, 2009).

جدول ٤. متغیرهای مستقل (پارامترهای ساختار مکانی شبکه معابر) مورد استفاده در این تحقیق

ترتیب	پارامتر	ترتیب	پارامتر
۱	کنترل	۷	رتبه صفحه
۲	ادغام سراسری	۸	لاپلاسین
۳	ادغام محلی	۹	درجه
٤	میانه	۱۰	عمق سراسری
٥	ضریب خوشه‌بندی	۱۱	عمق محلی
٦	نزدیکی		

در ادامه به دلیل تعداد بالای خطوط بزرگراهی و خیابان‌های اصلی (حدود ۱۰۰۰۰ قطعه)، ۱۰۰۰ قطعه شبکه معابر (گره در گراف مزدوج) به روش نمونه‌برداری تصادفی ساده و بر اساس حداقل مقدار نمونه جهت استفاده در تحلیل‌ها انتخاب شدند (Rao, 2012). در این نوع نمونه گیری هر یک از قطعات شبکه معابر شانس برابر و مستقلی برای قرار گرفتن در نمونه دارند. شکل (٦) ماتریس همبستگی (همبستگی پیرسون) پارامترهای ساختار مکانی شبکه معابر را به ترتیب ذکر شده در جدول (٤) نشان می‌دهد (Aad et al., 2014).



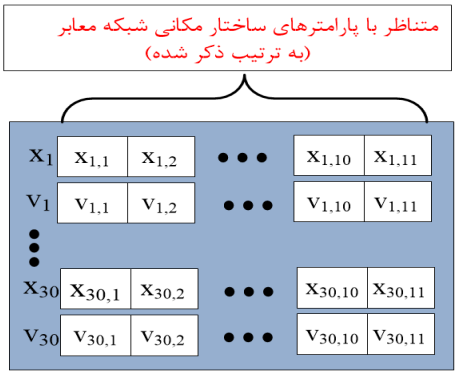
شکل ٦. ماتریس همبستگی پارامترهای ساختار مکانی شبکه معابر

طبق شکل (٦) پارامترهای ساختار مکانی شبکه معابر همبستگی قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر ندارند. از این‌رو تمامی متغیرها وارد الگوریتم شدند. جهت پیاده‌سازی ترکیب روش GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه و الگوریتم BPSO، از ٧٠ درصد داده‌ها برای آموزش و ٣٠ درصد داده‌ها برای آزمایش استفاده گردید و کلیه داده‌ها قبل از ورود به الگوریتم نرمال شدند. با توجه به این‌که یکی از مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی روش‌های چندمعیاره، پارامتر ضریب تشخیص (R^2) است، از این‌رو تابع برازش الگوریتم BPSO، کمینه کردن مقدار $1\text{-}R^2$ انتخاب شده است (Wheeler, 2014). طبق جدول (٥) مقادیر بهینه پارامترهای اولیه‌ی الگوریتم BPSO، بر اساس روش سعی و خطا انتخاب شد. شرط توقف جهت ساده‌سازی روند پیاده‌سازی، تعداد اجرای خاص در نظر گرفته شده است.

جدول ٥. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم BPSO

پارامتر	مقدار
اندازه ذرات	٣٠
تعداد اجرا (شرط خاتمه)	١٠٠
ضریب یادگیری شخصی و جمعی	٢
وزن داخلی	١
بیشترین و کمترین سرعت	[-٤،٤]

هم‌چنین با توجه به ذات تصادفی بودن الگوریتم BPSO و بر اساس تحقیقات پیشین، این الگوریتم (با تعداد اجرای موردنظر)، ١٠ مرتبه تکرار شد و میانگین این ١٠ تکرار به عنوان خروجی نهایی در نظر گرفته شد (Zhu et al., 2011; Saeidian et al., 2018). شکل (٧) ساختار ازدحام الگوریتم BPSO را نشان می‌دهد که پارامترهای ساختار مکانی ذکر شده در جدول (٤)، ابعاد آن را تشکیل می‌دهند.



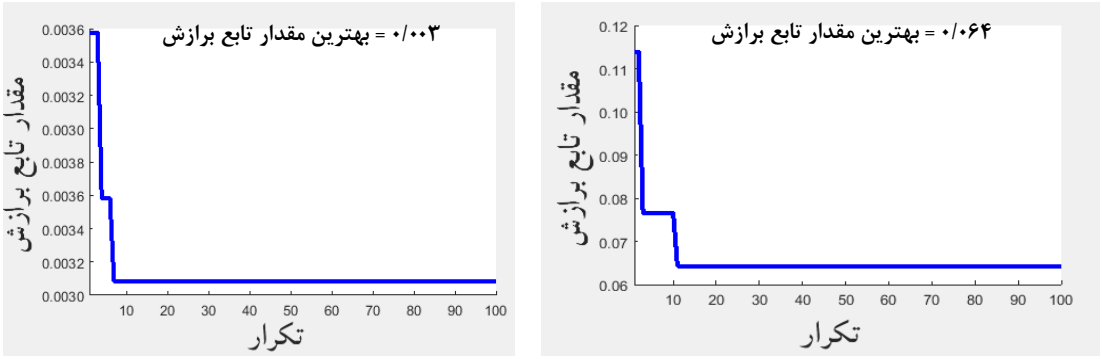
شکل ٧. ساختار ازدحام الگوریتم BPSO در این تحقیق

جدول (٦) پارامترهای ساختار مکانی مؤثر در پیش‌بینی میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر را برای ترکیب روش GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه و الگوریتم BPSO نشان می‌دهد.

جدول ٦. پارامترهای مؤثر تعیین شده توسط ترکیب روش GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه و الگوریتم BPSO

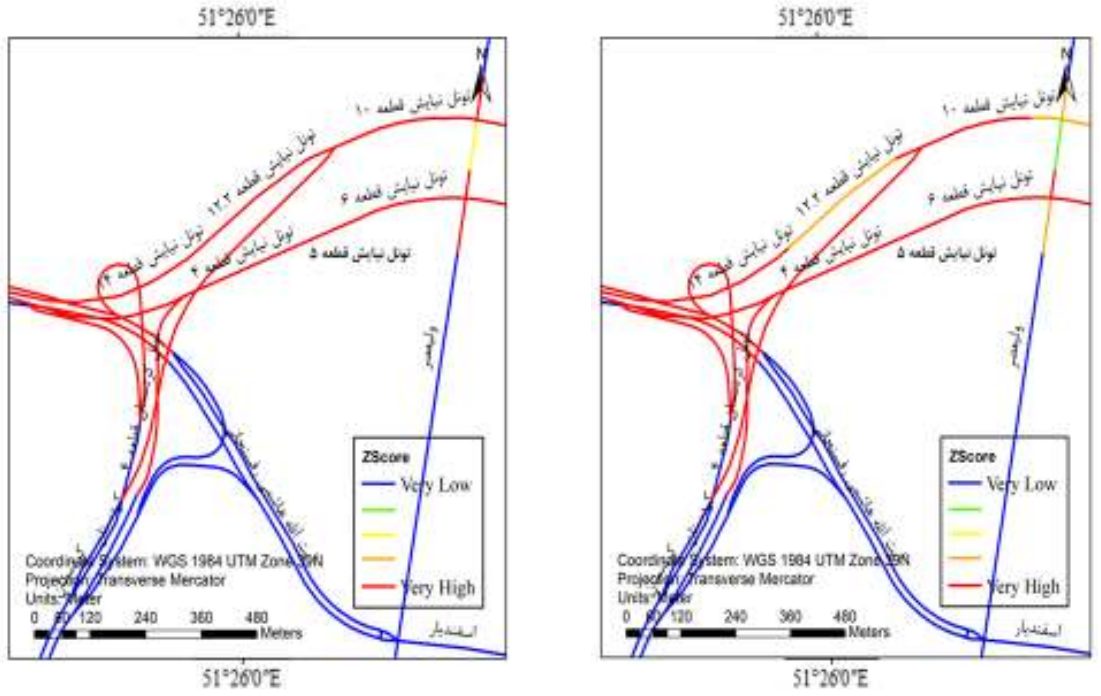
کرنل نمایی	کرنل مربع دوگانه
ادغام سراسری	کنترل
ادغام محلی	میانه
ضریب خوشه‌بندی	ضریب خوشه‌بندی
لاپلاسین	نزدیکی
عمق محلی	رتبه صفحه
	لاپلاسین
	عمق محلی

طبق شکل (٨) با اجرای ترکیب روش GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه و الگوریتم BPSO، بهترین مقدار تابع برازش برای کرنل نمایی، ٠/٠٦٤ و برای کرنل مربع دوگانه، ٠/٠٠٣ به دست آمد. هم‌چنین در شکل (٩) حادثه‌خیزترین قطعات پیش‌بینی شده (بر اساس مقدار Z-Score) توسط ترکیب روش GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه و الگوریتم BPSO در ٥ کلاس برابر در محدوده [١،٠] نشان داده شده است. در جدول (٧) قطعات حادثه‌خیز موردنظر بر اساس مقدار Z-Score پیش‌بینی شده، اولویت‌بندی شده‌اند.



(الف) (ب)

شکل ۸. نمودار بهترین مقدار تابع برازش توسط ترکیب روش GWR و الگوریتم BPSO (الف) کرنل نمایی (ب) کرنل مربع دوگانه



(الف) (ب)

شکل ۹. نقشه حادثه‌خیزترین قطعات شبکه معابر پیش‌بینی شده توسط ترکیب روش GWR و الگوریتم BPSO (الف) کرنل نمایی (ب) کرنل مربع دوگانه

جدول ۷. حادثه‌خیزترین قطعات پیش‌بینی شده توسط ترکیب روش GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه و الگوریتم BPSO

کرنل نمایی			کرنل مربع دوگانه		
ترتیب	موقعیت قطعات	Z-Score پیش‌بینی شده	ترتیب	موقعیت قطعات	Z-Score پیش‌بینی شده
۱	تونل نیایش قطعه ٦	۱	۱	تونل نیایش قطعه ٦	۱
۲	تونل نیایش قطعه ٥	۰/۹۹۹۸	۲	تونل نیایش قطعه ٥	۰/۹۹٥۱
۳	تونل نیایش قطعه ۷	۰/۹۹٥۸	۳	تونل نیایش قطعه ۷	۰/۹۹۳۳
٤	تونل نیایش قطعه ٤	۰/۹۹۱٥	٤	تونل نیایش قطعه ٤	۰/۹۸۹۲
٥	تونل نیایش قطعه ۳	۰/۹۸۷۱	٥	تونل نیایش قطعه ۳	۰/۹۸٥٥

در جدول (٨) مقادیر R^2 و RMSE حاصل از ترکیب روش GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه و الگوریتم BPSO نشان داده شده است که بر این اساس کرنل مربع دوگانه دقت بالاتری در پیش‌بینی میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر بر مبنای پارامترهای ساختار مکانی دارد. هم‌چنین جدول (٩) انحراف استاندارد ضرایب رگرسیون GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه را جهت محاسبه میزان تغییرات محلی و ناایستایی مکانی نشان می‌دهد.

جدول ٨ ارزیابی ترکیب روش GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه و الگوریتم BPSO

نوع کرنل	RMSE	R^2
نمایی	٠/٢١٣	٠/٩٣٦
مربع دوگانه	٠/١٨٥	٠/٩٩٧

جدول ٩. انحراف استاندارد ضرایب رگرسیون حاصل از مدل GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه

پارامترها	انحراف استاندارد	
	کرنل نمایی	کرنل مربع دوگانه
کنترل	_	٠/٠١٥
ادغام سراسری	٠/٠٠٧١	_
ادغام محلی	٠/٠٠٢٦	_
میانه	_	٠/٠٣٢
ضریب خوشه‌بندی	٠/٠٠١٩	٠/٠٠٤٣
نزدیکی	_	٠/٠٥٢
رتبه صفحه	_	٠/٠٠١٧
لاپلاسین	٠/٠٠٠٣	٠/٠٠٢٨
درجه	_	_
عمق سراسری	٠/٠٢٢	_
عمق محلی	٠/٠٠١٥	٠/٠٠٣١

طبق جدول (٩) برای روش GWR با کرنل نمایی، رابطه پارامتر عمق سراسری و میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر با تغییر مکان بیشترین تغییر و رابطه پارامتر لاپلاسین و میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر کمترین تغییر را دارد. هم‌چنین در روش GWR با کرنل مربع دوگانه، رابطه پارامتر نزدیکی و میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر با تغییر مکان بیشترین تغییر و رابطه پارامتر رتبه صفحه و میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر کمترین تغییر را دارد. در نهایت از شاخص سراسری موران جهت تعیین خودهمبستگی مکانی باقیمانده‌های مدل GWR استفاده شد که از رابطه (٢٥) محاسبه می‌شود (Fotheringham and Oshan, 2016):

$$I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} W_{ij}(x_i - \bar{X})(x_j - \bar{X})}{S_0 \sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^2} \qquad (٢٥)$$

در رابطه (٢٥) x_i و x_j به ترتیب مقادیر حادثه‌خیزی قطعات i و j، W_{ij} وزن مکانی بین دو قطعه i و j، S_0 مجموع کلیه وزن‌ها، $\bar{X}$ متوسط مقادیر حادثه‌خیزی قطعات و n تعداد کل قطعات است. جدول (١٠) مقادیر شاخص سراسری موران را برای باقیمانده‌های مدل GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه نشان می‌دهد.

جدول ١٠. مقایسه شاخص سراسری موران برای روش GWR با دو کرنل نمایی و مربع دوگانه

نوع کرنل	شاخص موران	شاخص مورد انتظار	Z-Score	P-Value
نمایی	٠/١٥٣	٠/٠٠٠٦٤٥	١٤/٢٣	٠/٠٠٠
مربع دوگانه	٠/١٣١	٠/٠٠٠٦٤٥	١٣/٧٥	٠/٠٠٠

طبق جدول (١٠) برای رگرسیون وزن‌دار مکانی با کرنل مربع دوگانه، شاخص موران دارای مقدار نزدیک‌تری به شاخص مورد انتظار نسبت به کرنل نمایی است که نشان از توانایی بالای کرنل مربع دوگانه در مدل‌سازی خودهمبستگی مکانی مشاهدات دارد.

٥-نتیجه‌گیری

از میان حوادث مختلف، تصادفات به دلیل خصوصیات خاص خود من‌جمله فراوانی بالا، شدت زیاد و شانس درگیر شدن مستقیم تمامی افراد جامعه در آن از اهمیت بالایی برخوردار هستند. همان‌طور که ذکر شد، یکی از مهم‌ترین عواملی که بر شکل‌گیری رویدادها و الگوهای شهری مانند تصادفات بسیار مؤثر است، روابط ساختار مکانی شبکه معابر است. بنابراین در این تحقیق سعی شد تا به تحلیل نقش پارامترهای ساختار مکانی بر پیش‌بینی میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر درون‌شهری که در بسیاری از مطالعات

پیشین مغفول مانده است، پرداخته شود. روش‌های به کار گرفته شده در تحقیقات گذشته چندان مناسب برای داده‌های مکانی نبودند و در اکثر موارد از همبستگی مکانی داده‌ها و ناایستایی آن‌ها چشم‌پوشی شده بود. بدین منظور و جهت نیل به هدف اصلی این تحقیق، از روش تقریب‌زننده رگرسیون وزن‌دار مکانی جهت پیش‌بینی میزان حادثه‌خیزی قطعات حادثه‌خیز شبکه معابر بر مبنای روابط ساختار مکانی شبکه معابر استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل به کار برده شده با در نظر گرفتن ویژگی‌های خودهمبستگی و ناایستایی مکانی، الگوهایی را در اختیار قرار می‌دهد که می‌توان از آن برای پیش‌بینی قطعات حادثه‌خیز آتی و اصلاح شبکه معابر از منظر ساختار مکانی استفاده نمود (جداول (٧) و (٨) و شکل (٩)). در این تحقیق هم‌چنین تلاش شد تا در قالب یکی دیگر از اهداف تحقیق، پارامترهای ساختار مکانی مؤثر بر میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر تعیین شود. از این‌رو از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات گسسته در ترکیب با رگرسیون وزن‌دار مکانی استفاده شد که نتایج نشان داد پارامترهای ساختار مکانی تأثیر بسزایی در پیش‌بینی قطعات حادثه‌خیز در محدوده مطالعاتی دارند (جدول (٦)). در این مطالعه، مدل ترکیبی پیشنهادی در منطقه سه شهر تهران که یکی از مناطق پر تصادف شهر تهران به شمار می‌آید، مورد ارزیابی قرار گرفت. نکته مهم این است که روش ذکر شده تنها منحصر به این منطقه نبوده و جهت پیش‌بینی میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر در انواع راه‌های درون‌شهری و برون‌شهری قابل استفاده است. در واقع مدل مورد استفاده در این تحقیق ابزاری مناسب برای متخصصین ایمنی است تا با تبیین ارتباط بین میزان حادثه‌خیزی قطعات شبکه معابر و پارامترهای ساختار مکانی، الگوهای مکانی تصادفات و تأثیرات عوامل مؤثر بر آن را کشف نمایند و راهکارهای لازم برای کاهش تصادفات رانندگی و ارتقای ایمنی را فراهم آورند.

٦-پی‌نوشت‌ها

1. Geospatial Information System
2. Planar Kernel Density Estimation
3.Network-Constrained Kernel Density Estimation
4. Geographically Weighted Regression
5. Binary Particle Swarm Optimization
6. Degree
7. Control
8. Depth
9. Integrartion
10. Closeness
11. Betweenness
12. Laplacian
13. Page Rank
14. Clustering Cofficeint
15. Root Mean Square Error

٧-مراجع

-کاشانی، م. و سامی، ا.، (١٣٩٥)، "تأثیر کیفیت جاده در مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات با استفاده از اتوماتای سلولی". پژوهشنامه حمل‌ونقل، دوره ١٣، شماره ٤، ص. ١٤٥-١٢٥.

-مومنی‌مژده، ا.، ابطحی‌فروشانی، س.م. و صفوی، ح.ر.، (١٣٩٥)، "ارایه روشی جهت شناسایی و اولویت‌بندی نقاط مستعد مخاطرات در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای، مطالعه موردی استان اصفهان". پژوهشنامه حمل‌ونقل، دوره ١٣، شماره ٣، ص.١٣١-١٠٤.

-Aad, G., Abbott, B., Abdallah, J., Khalek, S. A., Abdinov, O., Aben, R., Abi, B., Abolins, M., AbouZeid, O. and Abramowicz, H., (2014), "Measurements of spin correlation in top-antitop quark events from proton-proton collisions at s= 7 TeV using the ATLAS detector". Physical Review D. 90(11): 112016.

-Abed, K.A. and Ahmad, A.A., (2020), "The best parameters selection using pso algorithm to solving for ito system by new iterative technique". Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 18(3), pp.1638-1645.

-Afghari, A.P., Haque, M.M. and Washington, S., (2020), "Applying a joint model of crash count and crash severity to identify road segments with high risk of fatal and serious injury crashes". Accident Analysis & Prevention, 144, pp.105615.

-Attig, S., (2019), "The Organic Pattern of Space: A Space Syntax Analysis of Natural Streets and Street Segments for Measuring Crime and Traffic Accidents". MS.c Thesis, KTH Royal Institute of Technology School of Architecture & Built Environment Stockholm, Sweden.

morphology", Transactions in GIS, 6(3), pp. 295-309.

-Jiang, B. and Liu, C., (2009), "Street based topological representations and analyses for predicting traffic flow in GIS". International Journal of Geographical Information Science 23(9): pp. 1119-1137.

-Jiang, B., (2015), "Axwoman 6.3: An ArcGIS extension for urban morphological analysis", http://giscience.hig.se/binjiang/Axwoman/, University of Gävle, Sweden.

-Kennedy, J. and Eberhart, R.C., (1995), "Particle swarm optimization", Proc. of The IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, WA, Australia, 27-30 November, pp. 1942-1948.

-Kennedy, J. and Eberhart, R.C. (1997), "A discrete binary version of the particle swarm algorithm". Proc. of The IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Computational Cybernetics and Simulation, Orlando, FL, USA, 12-15 October, pp. 4104-4108.

-Koohsari, M.J., Oka, K., Owen, N. and Sugiyama, T., (2019), "Natural movement: A space syntax theory linking urban form and function with walking for transport", Health & place, 58, pp.102072.

-Liu, Y., Wang, S., Fu, X. and Xie, B., (2019), "A network-constrained spatial identification of high-risk roads for hit-parked-vehicle collisions in Brisbane, Australia", Environment and Planning A: Economy and Space, 51(2), pp. 279-282.

-Mansouri, M. and Ujang, N. (2017), "Space syntax analysis of tourists' movement patterns in the historical district of Kuala Lumpur, Malaysia", Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability, 10(2), pp.163-180.

-Mitchell, A., (2005), "The ESRI Guide to GIS Analysis: Volume 2: Spatial Measurements & Statistics", Vol. 2, Redlands, CA: ESRI Press.

-Obeidat, B., AlHashimi, I. and Tawalbeh, S., (2017), "Urban grid and traffic safety: Using space syntax as an assessment tool". Proc. of The 11th Space Syntax Symposium, Lisbon, Portugal, 3-7 July 2017. pp. 99-112.

-Okabe, A., Satoh, T. and Sugihara, K., (2009), "A kernel density estimation method for networks, Its computational method and a GIS-

-Batagelj, V. and Mrvar, A., (2003), "Pajek-Program for Large Network Analysis", Home page http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/.

-Dasanayaka, U. and Jayasinghe, A., (2014), "Road traffic crashes and road configuration-a space syntax application". FARU Journal, 5, pp. 309-324.

-Du, D., (2019), "Social network analysis: Centrality measures". University of New Brunswick.

-Erdogan, M., Ilci, V., Soysal, O. and Korkmaz, A., (2015), "A model suggestion for the determination of the traffic accident hotspot on the Turkish highway road network: a pilot study", ISSN 1982-2170.

-Fotheringham, A.S. and Oshan, T.M., (2016), "Geographically weighted regression and multicollinearity: dispelling the myth". Journal of Geographical Systems, 18(4), pp.303-329.

-Gao, S., Wang, Y., Gao, Y. and Liu, Y. (2013), "Understanding urban traffic-flow characteristics: a rethinking of betweenness centrality". Environment and Planning B: Planning and Design, 40(1), pp.135-153.

-Getis, A. and Ord, J.K., (1996), "Local spatial autocorrelation statistics: Distributional issues and anapplication". Geographical Analysis. 27, pp. 286-306.

-Griffith, D.A., (2008), "Spatial-filtering-based contributions to a critique of geographically weighted regression (GWR)", Environment and Planning, Vol. 40, pp. 2751-2769.

-Hamzah, M.J. and Ebraheem, M.A. (2020), "Analyzing Urban Attraction Nodes by using GIS and Space Syntax (case study-Al-Adhamiya) ", MS&E, 737(1), pp.012181.

-Harirforoush, H. and Bellalite, L. (2019), "A new integrated GIS-based analysis to detect hotspots: a case study of the city of Sherbrooke", Accident Analysis & Prevention, 130, pp.62-74.

-Hillier, B. and Iida, S., (2005), "Network and psychological effects in urban movement. Berlin". Proc. International Conference of Spatial Information Theory, Berlin, Germany. 14-18 September 2005. pp. 475-490.

-Jiang, B. and Claramunt, C., (2002), "Integration of space syntax into GIS: new perspectives for urban

movement", Transport Reviews, 38(4), pp.524-550.

-Steenberghen, T., Dufays, T., Thomas, I. and Flahaut, B., (2004), "Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: A Belgian example", International Journal of Geographical Information Science, Vol. 18, pp. 169-181.

-Steiger, E., Westerholt, R., Resch, B. and Zipf, A. (2015), "Twitter as an indicator for whereabouts of people? Correlating Twitter with UK census data", Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 54, pp. 255-265.

Thakali, L., Kwon, T. J. and Fu, L., (2015), "Identification of crash hotspots using kernel density estimation and kriging methods: A comparison", Journal of Modern Transportation, 23(2), pp. 93-106.

-Tobler, W., (1970), "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region", Economic Geography. 46 (2). pp. 234-240.

-Wang, K., Zhao, S., Ivan, J.N., Ahmed, I. and Jackson, E. (2020), "Evaluation of hot spot identification methods for municipal roads", Journal of Transportation Safety & Security, 12(4), pp.463-481.

-Wheeler, D. C., (2014), "Geographically Weighted Regression", Handbook of Regional Science, Springer: pp. 1435-1459.

-Xia, Z., Li, H. and Chen, Y., (2017), "An Integrated Spatial Clustering Analysis Method for Identifying Urban Fire Risk Locations in a Network-Constrained Environment: A Case Study in Nanjing, China", ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(11), pp.370.

-Xie, Z. and Yan, J., (2008), "Kernel density estimation of traffic accidents in a network space Computers", Environment and Urban Systems. 32 (5), pp. 396-406.

-Zhu, H., Wang, Y., Wang, K. and Chen, Y., (2011), "Particle swarm optimization (PSO) for the constrained portfolio optimization problem", Expert Systems with Applications, No. 8, Vol. 38, pp. 10161-10169.

based tool". International Journal of Geographical Information Science, 23, pp. 7-32.

-Oshan, T. M., Li, Z., Kang, W., Wolf, L. J and Fotheringhm, A.S., (2019), "MGWR: A Python implementation of multiscale geographically weighted regression for investigating process spatial heterogeneity and scale", ISPRS International Journal of Geo-Information, 8 (6), pp. 269.

-Ouni, F. and Belloumi, M., (2019), "Pattern of road traffic crash hot zones versus probable hot zones in Tunisia: A geospatial analysis", Accident Analysis & Prevention, 128, pp. 185-196.

-Pan, Z.G., Lan, G.W., Fan, D.L., Du, Y.L. and Zeng, Y., (2020), "Analysis of Accessibility of Urban Roads Based on Space Syntax and Distance Measurement", The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, pp.159-165.

-Qi, X., Duval, R., Christensen, K., Fuller, E., spahiu, A., Wu, Q., tang, W. and zhang, C., (2013), "Treorist networks, network energy and node removal: a new measure of centraility based on laplacian energy", Social Networking, 2(01), pp. 19.

-Rahmani, H., Kamali, H. and Shah-Hosseini, H., (2020), "DINGA: A Genetic-algorithm-based Method for Finding Important Nodes in Social Networks", Journal of AI and Data Mining.

-Rao, U.K., (2012), "Concepts in sample size determination". Indian Journal of Dental Research, 23(5), pp.660.

-Saeidian, B., Mesgari, M.S., Pradhan, B. and Ghodousi, M., (2018), "Optimized location-allocation of earthquake relief centers using PSO and ACO, complemented by GIS, clustering, and TOPSIS". ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(8), pp.292.

-Sen, T., and Kumar Chaudhary, D., (2017), "Contrastive study of simple pagerank, hits and weighted pagerank algorithms: Review", pp. 721–727.

Sharmin, S. and Kamruzzaman, M., (2018), "Meta-analysis of the relationships between space syntax measures and pedestrian

Presenting an Integrated Model for Predicting Urban Accidents based on Spatial Structure Parameters of The Road Network (Case Study Approach)

Seyed Ahmad Eslaminezhad, M.Sc., Grad., Department of surveying and Geomatics Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

E-mail: ahmad.eslami73@ut.ac.ir

Received: August 2021-Accepted: November 2021

ABSTRACT

Today, road safety is a great concern for traffic engineers, because accidents have imposed extensive impacts on the quality of people's life. Therefore, it is very important to predict accident-prone sections of the road network to prevent future accidents and improve traffic safety. One of the most important factors that cause accidents is the spatial structure of the road network. The spatial structure of the road network is related to the arrangement and layout of the road network components, which as a spatial constraint is very influential on urban flows. The novelty of this study is to present a new combination approach to determine the effective spatial structure parameters in predicting accident-prone sections (District 3 of Tehran city). In this regard, the combination of geographically weighted regression (exponential and bi-square kernels) and binary particle swarm optimization algorithm was used. The recommended combination method is suitable for spatial regression problems, because it is compatible with two unique properties of spatial data, i.e. spatial autocorrelation and spatial non-stationarity. The best value of the fitness function ($1-R^2$) for exponential and bi-square kernels was obtained 0.064 and 0.003, respectively. It also found that spatial structure parameters had a significant impact on predicting accident-prone sections in the study area.

Keywords: Binary Particle Swarm Optimization, Geographically Weighted Regression, Spatial Structure, Road Network