

شناسایی مقاطع پرتصادف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی

منا دلشاد، کارشناس ارشد، دانشکده سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
هانی رضاییان (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

E-mail: hanirezayan@khu.ac.ir

جواد سدید، دانشیار، دانشکده سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

اکبر دانش، دکتری تخصصی مهندسی عمران گرایش راه و ترابری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۲

دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

چکیده

شناسایی مقاطع پرتصادف جاده‌ای، امکان درک بهتر الگوهای تصادف برای کارشناسان ایمنی راه فراهم می‌آورد تا ایمنی راه‌ها را بهبود دهند. این پژوهش کاربردی، با هدف بررسی امکان شناسایی مقاطع پرتصادف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی مکانی شامل تخمین تراکم هسته (KDE)، خودهمبستگی موران محلی (Moran-I) و K-Means انجام شده است. در این راستا، دستورالعمل تجربی ارائه شده برای مقاطع پرتصادف از سوی وزارت راه و شهرسازی، بعنوان مرجع مقایسه الگوریتم‌ها و صحت‌سنجی نتایج در نظر گرفته شده است. نمونه مطالعاتی تحقیق، داده‌های تصادفات جاده‌ای محور مشهد-بجنورد در بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۹۸ است. آماده‌سازی داده‌های با یکپارچه‌سازی محور و استخراج کیلومترهای تصادفات انجام می‌شود. پس از استخراج مقاطع با استفاده از الگوریتم‌های عنوان شده در فرمت رستری، میزان همپوشانی آن‌ها با مقاطع پرتصادف مرجع محاسبه شده است. بدین ترتیب الگوریتم KDE با ۸۲/۵۵٪ و ۷۰/۹۶٪ انطباق در مسیر رفت و برگشت بیشترین انطباق را با مقاطع پرتصادف مرجع دارد. ضمناً در بررسی نحوه توزیع تراکم مقاطع پرتصادف با مناطق سکونتگاه‌هایی مشخص شد که در مسیر رفت و برگشت در ۳۰ کیلومتر ابتدایی شهر مشهد و در حفاصل دو شهر فاروج و شیروان، ۱۴ کیلومتر بعد از خروجی شهر شیروان در مسیر رفت و ۸ کیلومتر ابتدایی شهر بجنورد بیشترین تراکم تصادفات را دارند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم K-Means، الگوریتم تخمین تراکم هسته (KDE)، الگوریتم خودهمبستگی موران محلی (Moran-I)، تصادف جاده‌ای، خوشه‌بندی

۱. مقدمه

زیرساخت های حمل و نقل به عنوان یکی از سیستم های بسیار مهم از نظر جابجایی افراد، کالاها و ارتباط بین سکونتگاه ها می باشد [Agyakwah, 2018]. یکی از رخدادهای نامطلوب و اجتناب ناپذیر شبکه حمل و نقل جاده ای، تصادفات جاده ای است که باعث خسارات جانی و مالی فراوان می شود [زینلی و همکاران، ۱۳۹۳]. تصادفات جاده ای برون شهری به سبب بالا بودن سرعت و وسایل نقلیه اغلب شدیدتر از تصادفات راه های درون شهری هستند و به تبع خسارات بیشتری به همراه دارند [حق شنو، ۱۳۹۳].

تصادفات جاده ای اغلب پراکنده رخ نمی دهند و فراوانی آنها در برخی مکان ها بیشتر است [Mesquitela et al. 2022]. تشخیص این مکان ها در قالب شناسایی نقاط و یا مقاطع پرتصادف از طریق تحلیل مکانی و زمانی می تواند امکان تصمیم گیری موثر از سوی برنامه ریزان ایمنی ترافیک برای پیش گیری و کاهش تصادفات را ممکن سازد [صیدایی و همکاران، ۱۳۹۹؛ عاقلی مقدم، محمدی و کلاتنری، ۱۳۹۹؛ قربانی و نوری امیری، ۱۳۸۵؛ Agyakwah, 2018؛ Kundakçı, 2014]. تحلیل های مزبور در قالب سامانه های اطلاعات مکانی (GIS)^۱ می توانند داده های مختلف از جمله مکان وقوع تصادفات و مشخصات توصیفی آنها مانند زمان تصادف، تعداد جراحت و تعداد تلفات، مشخصات هندسی و عملکردی جاده ها را ترکیب کند و الگوهای موجود در این داده ها را استخراج نمایند [Kundakçı, 2014; Afolayan et al. 2022].

این تحقیق با هدف بررسی کارایی روش های تحلیل مکانی موسوم به الگوریتم های خوشه بندی در شناسایی نقاط/مقاطع پرتصادف جاده های برون شهری انجام شده است. اصل مشترک این الگوریتم ها، دسته بندی داده ها (تصادفات) براساس شباهت آنها می باشد که در این راستا پارامتر موقعیت مکانی مورد توجه خاص می باشد. برای این منظور ۳ الگوریتم تخمین تراکم

هسته (KDE)^۲، خودهمبستگی موران محلی (Moran-I)^۳ و K-Means در محدوده مطالعاتی محور مشهد-بجنورد تحلیل و بررسی شده اند. در این راستا نتایج با سایر تحقیقات مشابه، میزان انطباق نتایج این الگوریتم ها با داده های مرجع مقاطع پرتصادف وزارت راه و شهرسازی به عنوان داده مرجع مقایسه شده اند که در تحقیقات پیشین مورد بررسی قرار نگرفته است.

۲. ادبیات پژوهش

با توجه به انطباق تعریف مقاطع پرتصادف با کارکرد الگوریتم های خوشه بندی که مبتنی بر دسته بندی داده های دارای مشابهت بصورت غیرنظارت شده^۴ است [Gao et al. 2021; Wang et al. 2023]، چهار کاربرد اصلی الگوریتم های خوشه بندی در تجزیه و تحلیل حوادث جاده ای ناشی از ترافیک شامل (۱) شناسایی مکان های کانون تصادفات (شامل تجزیه و تحلیل زمانی و مکانی)، (۲) طبقه بندی انواع تصادفات، (۳) درک عوامل مؤثر در تصادفات و (۴) ارزیابی و پیش بینی خطرات می باشند. انواع این الگوریتم ها در تحقیقات مختلفی استفاده شده اند [قدسی نژاد، ۱۳۹۱؛ Le, ; Tran and Do, 2020; Le, Liu, and Lin, 2020]. از این میان می توان به الگوریتم های خوشه بندی زیر اشاره کرد:

- الگوریتم های سلسله مراتبی^۵ مانند BIRCH^۶ که مبتنی بر سطح بندی مشخصات عوارض در قالب ساختار درختی و محاسبه فاصله اقلیدسی برای شباهت سنجی می باشند. برای مجموعه های داده حجیم استفاده می شود و معمولاً به تنظیمات اولیه پارامترها و مشخصات عوارض حساس هستند [Han, Pei and Kamber, 2023]

- الگوریتم های شبکه ای^۷ مانند CLIQUE^۸ که برخلاف الگوریتم های سلسله مراتبی هستند ساختار سطح بندی غیر همسطح/شبکه ای را برای مشخصات عوارض لحاظ می کنند و طول شبکه را برای شباهت سنجی استفاده می کنند که می تواند غیراقلیدسی باشد. [Zhang et al. 2023]

شناسایی مقاطع پرتصادف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی

خاتون و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از الگوریتم‌های KDE و گتیس، ۳۵ نقطه پرتصادف بزرگراه ملی کوشتیا - جنیده را شناسایی نموده و علل وقوع تصادفات آن را مورد بررسی قرار داده‌اند. بر این اساس اکثریت قربانیان بین ۲۰ تا ۴۰ سال بوده و حدود ۴۷٫۹ درصد از تصادفات را با کامیون رخ داده است. ضمناً سهم بی‌تجربگی راننده حدود ۵۶ درصد (با کمتر از ۱۰ سال تجربه) و سهم استفاده از تلفن همراه در هنگام رانندگی حدود ۷۸ درصد بوده است [Khatun et al. 2024].

مناب و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از الگوریتم‌های Moran-I و *Getis، ۲۲ نقطه پرتصادف ناشی از وسایل نقلیه سنگین را در آزادراه شمال-جنوب مالزی شناسایی کرده‌اند. نتایج نشان‌دهنده همپوشانی معنادار نتایج حاصل از الگوریتم‌های مورد استفاده می‌باشند [Manap et al. 2021].

شریعت^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۳) از الگوریتم KDE و Moran-I برای تعیین مقاطع پرتصادف محور اراک-خمین استان مرکزی ایران استفاده کرده‌اند. عدم مطابقت خروجی‌های دو الگوریتم در این مقاله نشان‌دهنده عدم وجود خودهمبستگی مکانی بین تصادف‌ها است که ناشی از تأثیرگذاری زیاد سایر عوامل غیروابسته به مکان در تصادفات این محور بوده است [Shariat et al., 2013].

در مورد معابر شهری نیز حریرفروش و همکاران (۲۰۱۹) از الگوریتم‌های KDE و Moran-I برای شناسایی نقاط حادثه‌خیز معابر شهر شبروک^{۱۶} واقع در جنوب ایالت کبک کانادا، ناشی از تصادف وسایل نقلیه با یکدیگر، استفاده کرده‌اند. برای این منظور از فراوانی و شدت^{۱۷} تصادفات استفاده شده است. همپوشانی نتایج حاصل از این ۲ الگوریتم با داده‌های واقعی مطابقت بیشتری داشته است [Harirforoush et al., 2019]. همچنین اندرسون (۲۰۰۹) از الگوریتم‌های KDE و K-Means برای شناسایی ۴۲۸ نقطه پرتصادف در ۵ گروه و ۱۵ زیرگروه در معابر لندن استفاده کرده‌اند. برای این منظور همپوشانی نتایج این دو الگوریتم منظور شده‌اند

• الگوریتم‌های مبتنی بر بخش‌بندی مکانی^۹ مانند K-Means که صرفاً با پیش فرض تعداد خوشه‌ها و بدون نیاز به لحاظ نمودن ارتباط میان داده‌ها (مانند دو الگوریتم قبل)، آن‌ها را به بخش‌بندی می‌کند [Le et al. 2024].

• الگوریتم‌های مبتنی بر چگالی مانند DBSCAN و KDE که برخلاف روش قبل بصورت مستقیم داده‌ها را خوشه بندی نمی‌کند و یک تابع احتمال پیوسته از فراوانی داده‌ها ارائه می‌نمایند [Ouni and Belloumi, 2018; Le, Liu and Lin, 2020]. خروجی این الگوریتم‌ها انعطاف‌پذیری بالایی دارد و حتی می‌تواند با پیش فرض یک مدل احتمالاتی مشخص مانند گاوسین اجرا شوند و یا داده‌های پرت^{۱۱} موجود در پایگاه داده را نیز شناسایی نمایند با این وجود مرتبط کردن خروجی مزبور با داده‌ها نیازمند فرآیندی واسط است که در کیفیت خوشه‌بندی تأثیرگذار است.

• الگوریتم‌های مبتنی بر همبستگی^{۱۱} و خودهمبستگی^{۱۲} مکانی مانند Moran-I و شاخص محلی گتیس^{۱۳}/نقاط داغ^{۱۴} که برخلاف الگوریتم‌های مبتنی بر چگالی اطلاعاتی از مشخصات خوشه‌ها مانند تراکم را ارائه نمی‌کنند و تنها نمایش دهنده آماره مقدار مشابهت داده‌های نزدیک به هم هستند. از این الگوریتم‌ها جهت شناسایی اولیه الگوهای خوشه‌بندی در داده‌ها استفاده شده است که اطلاعات حاصله امکان انتخاب و اجرای بهینه سایر الگوریتم‌های خوشه‌بندی را فراهم می‌سازد [Miaou and Song, 2005].

سانجو و همکاران (۲۰۲۴) الگوریتم‌های Moran-I، *Getis و KDE را برای شناسایی مقاطع پرتصادف در بزرگراه‌های و راه‌های اصلی برون‌شهری تایلند مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داده است که تراکم مقاطع پرتصادف با ابعاد شهرها نزدیک همبستگی مثبت دارد بگونه‌ای که تراکم تصادف و مقاطع پرتصادف در نزدیکی شهرهای بزرگ بیشتر می‌باشند [Sae-Ngow et al. 2024].

بندی راه براساس مشخصات هندسی به اجزای کوچک، برآورد میزان حادثه خیزی آن‌ها، اولویت بندی و سپس تلفیق این اجزا در قالب مقاطع پرتصادف استفاده کرده‌اند. در این تحقیق از روش تحلیل پوششی داده‌ها که در حوزه تحلیل‌های اقتصادی و تحقیق در عملیات استفاده شده است. اسدامرجی و نهاوندی (۱۳۹۶) نیز از بازدیدهای میدانی ایمنی راه برای قطعه بندی و سپس ارزیابی حادثه خیزی آن استفاده نموده‌اند. تحقیق انجام شده از سوی میرزایی و همکاران (۱۴۰۲) براساس آموزش یگ شبکه عصبی جهت سطح بندی میزان حادثه خیزی یک قطعه از راه براساس مشخصات راه، محیط و تصادفات بوده است که در محور تهران-پردیس انجام شده است. در تحقیق شیخ الاسلامی و همکاران (۲۰۲۰) از محیطی شبیه‌سازی رانندگی شامل هندسه راه، محیط و وضعیت دید راننده برای شناسایی میزان پرتصادف بخش‌های راه استفاده شده است [Sheikholeslami et al., 2020]

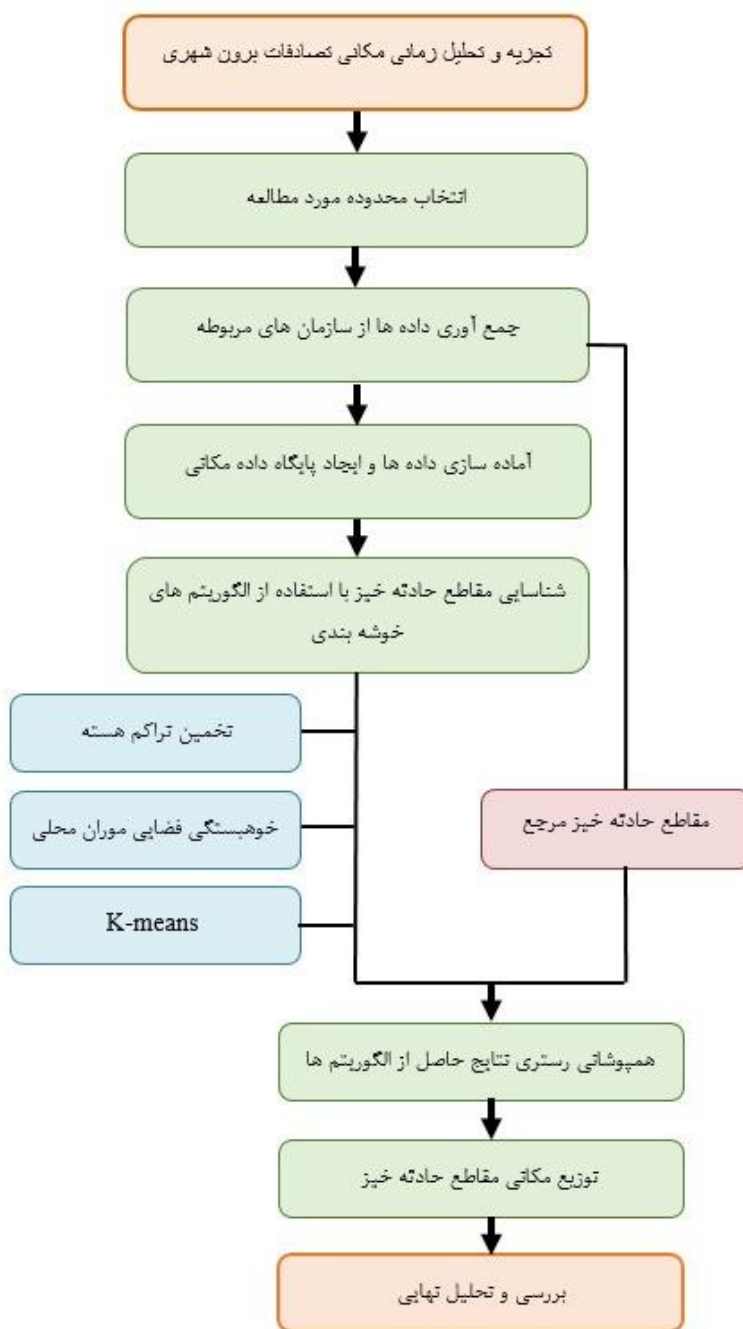
۳. روش پژوهش

مراحل انجام پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.

[Anderson, 2009]. مشابه با تحقیق اندرسون (۲۰۰۹)، لی^{۱۸} و همکاران (۲۰۱۹) از الگوریتم KDE برای استخراج مقاطع پرتصادف معابر شهری هانوی ویتنام بهره برده‌اند که نتایج حاصله نشان دهنده لزوم استفاده از شدت تصادف به عنوان وزن در تحلیل‌ها است [Le et al., 2019]. اماری^{۱۹} و همکاران (۲۰۲۱) نیز از الگوریتم‌های خوشه بندی سلسله-مراتبی، شبکه‌ای، KDE و K-Means برای ارزیابی مقاطع حادثه خیز شهر مسقط در عمان استفاده کرده است. نتیجه حاصل نشان دهنده تجمع مقاطع حادثه خیز در نزدیکی تقاطع-ها بوده است [Aamari et al., 2021].

در کنار تحقیقات انجام شده در مورد استخراج مقاطع پرتصادف با الگوریتم‌های خوشه‌بندی، تحقیقاتی نیز جهت استفاده از سایر الگوریتم‌ها برای تعیین مقاطع پرتصادف و همچنین رتبه بندی و اولویت مقاطع پرتصادف انجام شده‌اند. عفتی و رمضانپور (۱۴۰۲) از روش برازش با الگوریتم رگرسیون پواسون بر داده‌های مشخصات راه، محیط و تصادفات رخ داده و سپس قطعه بندی روند برازش داده شده برای تعیین مقاطع پرتصادف در محور لوشان-قزوین استفاده کرده‌اند. همچنین صادقی و همکاران (۱۳۹۱) از روش قطعه

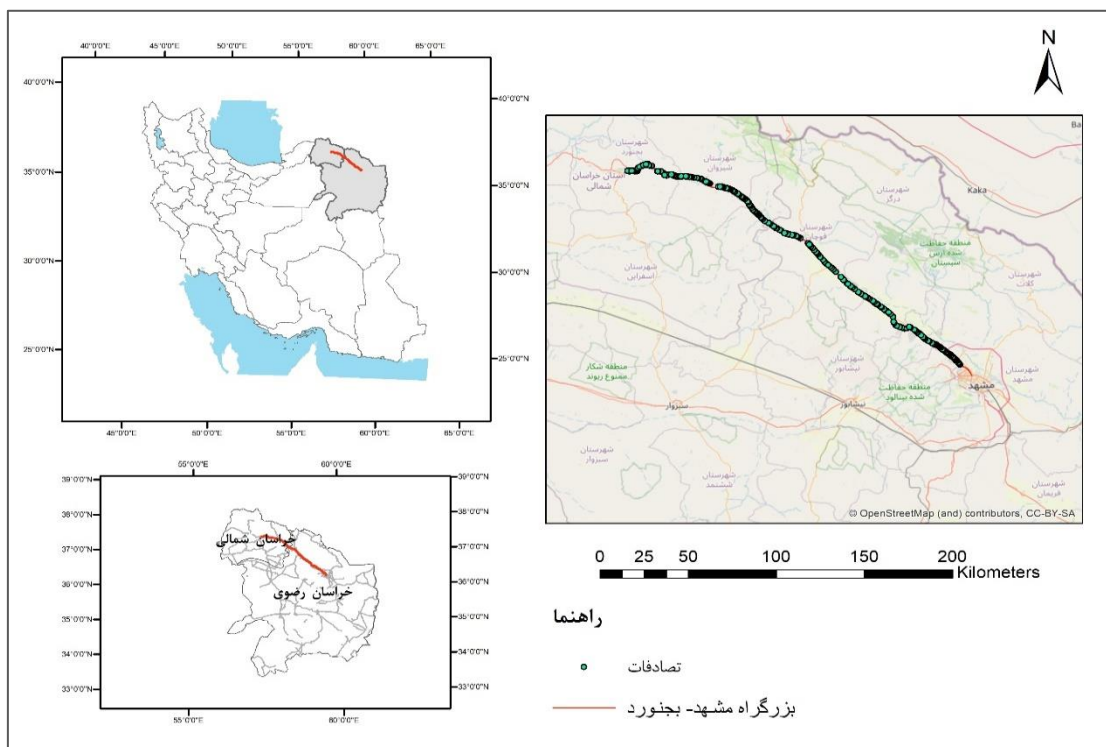
شناسایی مقاطع پرتصادف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی



شکل ۱. فرایند تحقیق

دو مسیر رفت و برگشت به صورت دو باند جدا از هم قرار دارند. منظور از مسیر رفت، محور مشهد به بجنورد و منظور از مسیر برگشت، محور بجنورد به مشهد می‌باشد. لازم به ذکر است که دو مسیر رفت و برگشت به صورت جداگانه در تحلیل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

محدوده مطالعه در این پژوهش محور مشهد- بجنورد در نظر گرفته شده است. این محور به طول ۲۵۲ کیلومتر بین ۵۷ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۹ درجه ۳۲ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۱ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد. ابتدای محور، بزرگراه پیامبر اعظم در شهر مشهد و انتهای آن، میدان امام رضا(ع) در ورودی شهر بجنورد می‌باشد که در



شکل ۲. نقشه محدوده مورد مطالعه و توزیع مکانی تصادفات

- نام اداره کل (ost_name)
 - نام مبدأ (start_name)
 - نام مقصد (stop_name)
 - عرض جغرافیایی (longitude)
 - طول جغرافیایی (latitude)
 - تعداد کشته (dead_num)
 - تعداد مجروح (injured_num)
 - شناسه (acc_id)
 - سال وقوع (acc_year)
- داده‌های تصادفات در بازه زمانی ۴ ساله ۱۳۹۸-۱۴۰۱ از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، در قالب فایل Excel از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای اخذ شد. هر سطر فایل مزبور ارائه دهنده اطلاعات یک تصادف و محل وقوع آن با مشخصات توصیفی زیر می‌باشد:

جدول ۱. نمونه ای داده‌های تصادفات اخذ شده از سازمان راهداری

acc_id	acc_year	ost_name	start_name	stop_name	longitude	latitude	dead_num	injured_num
22/2250813	1401	خراسان رضوی	مشهد	چناران	59.33612	36.51572	0	1
22/2298148	1401	خراسان رضوی	مشهد	چناران	59.35287	36.51645	1	0
22/2298147	1401	خراسان رضوی	مشهد	چناران	59.6059	36.2977	0	1
22/2298154	1401	خراسان رضوی	مشهد	چناران	59.47199	36.43157	0	1
22/1933361	1401	خراسان رضوی	مشهد	چناران	59.43455	36.44214	0	0

از پایگاه داده OpenStreetMap تهیه شد. این لایه داده به

صورت خطی و شامل مشخصات توصیفی زیر می‌باشد:

- نام راه/محور

جدول ۱ نمونه ای داده‌های تصادفات اخذ شده از سازمان

راهداری را نمایش می‌دهد. شبکه راه‌های منطقه مورد مطالعه،

شناسایی مقاطع پرتصادف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی

مقایسه الگوریتم‌های با داده‌های مرجع از طریق ارزیابی میزان همپوشانی نتایج حاصله برآورد شده است. در این راستا ملاحظات زیر لحاظ می‌گردد:

۱. تعداد خوشه‌های در روش K-Means معادل تعداد مقاطع پرتصادف تعیین شده در داده‌های مرجع لحاظ می‌شود.

۲. پهنای باندها/شعاع جستجو در الگوریتم‌های KDE و Moran-I معادل ۷۰۰ متر لحاظ شده است.

در الگوریتم KDE مورد استفاده براساس رابطه (۲) می‌باشد [Vemulapalli, 2015; Baral, 2021]:

$$f(s) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d_i}{h}\right) \quad (2)$$

که $f(s)$ تخمین چگالی در مکان s ، n تعداد تصادفات، h پهنای باندها/شعاع جستجو (که معادل ۷۰۰ متر لحاظ شده است)، K تابع هسته، d_i فاصله اقلیدسی بین مکان s و محل مشاهده تصادف i ام است.

در الگوریتم K-Means تعداد خوشه‌های هدف معادل تعداد مقاطع پرتصادف تعیین شده در داده‌های مرجع لحاظ شده است. در این الگوریتم ابتدا موقعیتی اتفاقی برای مرکز خوشه‌ها لحاظ می‌گردد سپس در قالب فرآیندی تکراری موقعیت آن‌ها اصلاح می‌گردد بصورتی که تابع هدف رابطه (۳) [Aksoy, 2006; Punhani et al. 2022] بهینه شود.

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \left\| x_i^{(j)} - c_j \right\|^2 \quad (3)$$

که $\| \cdot \|$ معیار فاصله اقلیدسی بین موقعیت تصادف i ام با مرکز خوشه j ام و c_j مرکز خوشه j ام می‌باشند. فرآیند مزبور تا زمانی که تغییرات J از حد آستانه بیشتر باشد تکرار می‌شود [مسن آبادی و همکاران، ۱۴۰۰]. بدین ترتیب مقطع پرتصادف نظیر هر خوشه براساس حداقل و حداکثر کیلومتر تصادفات خوشه مزبور تعیین شده و از روی محور استخراج می‌شود. خروجی مزبور با ابعاد سلولی ۱۰ متر به فرمت رستر تبدیل می‌شود.

در الگوریتم Moran-I از رابطه (۴) استفاده شده است:

• کلاس راه شامل آزادراه، بزرگراه، راه اصلی و فرعی

در مرحله آماده‌سازی داده‌ها ابتدا محور مورد مطالعه در مسیر رفت و برگشت از لحاظ یکپارچگی هندسی از مبدأ تا مقصد بررسی گردید و کیلومترهای صحیح ابتدا و انتها اعمال شد تا امکان مرجع‌دهی خطی^{۲۰} و اخذ کیلومترهای تصادفاً از محور فراهم گردد. سپس تصادف‌های محور مزبور در مسیر رفت و برگشت براساس مشخصه نام محور جداسازی شده و کیلومترهای تصادف‌های دارای موقعیت واقع در حاشیه^{۲۱} ۵ متری محور محاسبه می‌شود.

در گام بعدی داده‌های مرجع جهت بررسی نتایج حاصل از الگوریتم‌های مورد مقایسه براساس دستورالعمل تجربی شناسایی و اولویت بندی نقاط پرتصادف راه‌ها [وزارت راه و شهرسازی، ۱۴۰۱] محاسبه می‌شوند. در دستورالعمل مزبور مقاطع پرتصادف براساس شدت تصادف (رابطه ۱) در حداقل ۵۰۰ و حداکثر ۷۰۰ متری با حداقل ۳ فقره تصادف با بکارگیری روش پنجره لغزان تعریف شده‌اند. در این الگوریتم مقطعی که خارج از سطح اطمینان ۹۵٪ در موقعیت محلی خود (از جمله قوس، تقاطع، پل، مسیر مستقیم) هستند حذف می‌شوند.

$$SI_i = 5 \times \text{Dead}_i + \text{Injured}_i \quad (1)$$

که Dead تعداد فوتی و Injured تعداد مجروحین تصادف نام است.

سپس مقاطع پرتصادف براساس ۳ الگوریتم K-Means، Moran-I و Means به تفکیک مسیر رفت و برگشت استخراج می‌شوند. با توجه به اینکه خروجی‌های حاصل از این الگوریتم‌های دارای ساختار رستری می‌باشند، ابعاد سلول مشترک معادل ۱۰ متری برای آن‌ها در نظر گرفته شده است که معادل کمتر از نصف فاصله بین نزدیکترین دو تصادف لحاظ شده است تا امکان تفکیک در سطح تصادفات وجود داشته باشد [Shanon, 1948]. براین اساس داده‌های مرجع نیز از فرمت برداری به رستری تبدیل شده‌اند.

سلول‌های واقع در مقاطع پرتصادف مقدار ۱ و سایر سلول‌ها مقدار صفر می‌گیرند. با جمع کردن هر دو لایه رستری، سلول‌هایی که دارای خروجی ۲ می‌باشند نشان دهنده میزان انطباق خواهند بود.

همچنین میزان تراکم تصادف‌های مقاطع پرتصادف شناسایی شده با ترسیم نمودار فراوانی این تصادفات نسبت به موقعیت مرکز مقطع پرتصادف مربوطه در بازه‌های ۱ کیلومتری بررسی می‌شوند. بدین ترتیب وضعیت تراکم داده‌ها نسبت فاصله تا سکونتگاه‌های شهری واقع در مبدأ و مقصد مشخص می‌شود.

۴. تحلیل داده‌ها

با تحلیل داده‌های تصادف اخذ شده برای محور مشهد-بجنورد سال ۱۳۹۸-۱۴۰۱ در دو مسیر رفت و برگشت مشخص شد که محور رفت مشهد-بجنورد شامل ۶۵ مقطع پرتصادف و محور برگشت شامل ۷۴ مقطع پرتصادف می‌باشد. از این مقاطع به عنوان داده‌های مرجع استفاده شده است.

شکل ۳ و ۴ به ترتیب نمایی از مقاطع پرتصادف استخراج شده با الگوریتم KDE در مسیر رفت (شکل ۳-الف و ۴-الف) و برگشت (شکل ۳-ب و ۴-ب) مشهد-بجنورد است. جهت وضوح بیشتر شکل، بخش محدودی از محور نمایش داده شده است و قطعات پرتصادف با شماره و با رنگ‌بندی شکست طبیعی^{۲۴} براساس مجموع شدت تصادفات هر قطعه نمایش داده شده است. به این ترتیب نتایج حاصل از طبقه‌بندی بر اساس رنگ‌ها انجام شد که رنگ قرمز و نارنجی مکان‌هایی با تراکم بالا، رنگ زرد مکان‌هایی با تراکم متوسط و رنگ سبز مکان‌هایی با تراکم کم را برجسته می‌کند. براین اساس داده‌های دو کلاس قرمز و نارنجی به عنوان مقاطع پرتصادف لحاظ گردیدند.

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{X})}{(x_i - \bar{X})^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad (4)$$

که x_i مقدار موجودیت در مکان i ، x_j مقدار موجودیت در مکان j ، \bar{X} مقدار میانگین، $w_{i,j}$ وزن مکانی بین موجودیت‌های i و j و I_i مقدار خودهمبستگی موجود در موقعیت i است که بین -1 و $+1$ می‌باشد. مقدار I مثبت و منفی به ترتیب نشان دهنده وجود و یا عدم وجود ارتباط بین موقعیت i با سایر موقعیت‌های نزدیک است [Wang et al. 2021; Impresimi, 2022]. خروجی حاصل در فرمت رستری است و خوشه‌بندی‌های در ۴ کلاس زیر ارائه می‌شوند:

۱. خوشه با خودهمبستگی بالا که با خودهمبستگی بالا احاطه شده‌اند (H-H)^{۲۲}

۲. خوشه با خودهمبستگی پایین احاطه شده‌اند (H^{۳۳}-L)

۳. خوشه با خودهمبستگی پایین احاطه شده‌اند (L-L)

۴. خوشه با خودهمبستگی پایین که با خودهمبستگی بالا احاطه شده‌اند (L-H)

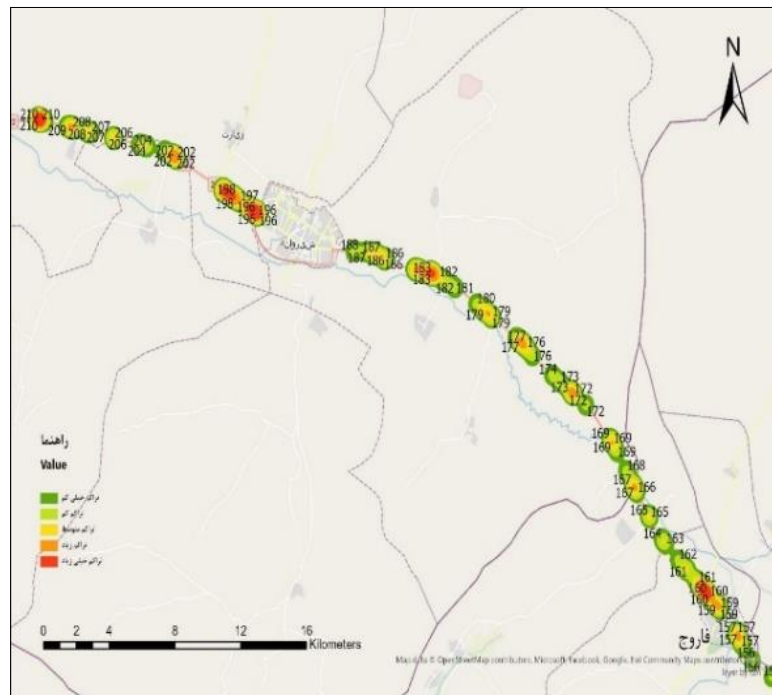
در این تحقیق، خوشه‌های H-H و H-L به عنوان مقاطع حادثه‌خیز حاصل از الگوریتم Moran-I لحاظ شده‌اند. ضمناً شعاع همسایگی در این الگوریتم معادل ۷۰۰ متر لحاظ شده است که در قالب ماتریس وزن (W) در رابطه (۴) محاسبه و اعمال می‌گردد.

چنانچه بیان شد، نتایج هر ۳ الگوریتم با داده‌های مرجع در فرمت رستری همپوشانی داده می‌شود و درصد همپوشانی محاسبه می‌شود. بدین ترتیب الگوریتم دارای بیشترین همپوشانی بعنوان روش پیشنهادی برای استخراج خوشه‌بندی مقاطع پرتصادف مشخص می‌گردد. برای این منظور خروجی‌های رستری به صورت باینری تهیه می‌شوند بصورتی که

شناسایی مقاطع پرتصادف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی



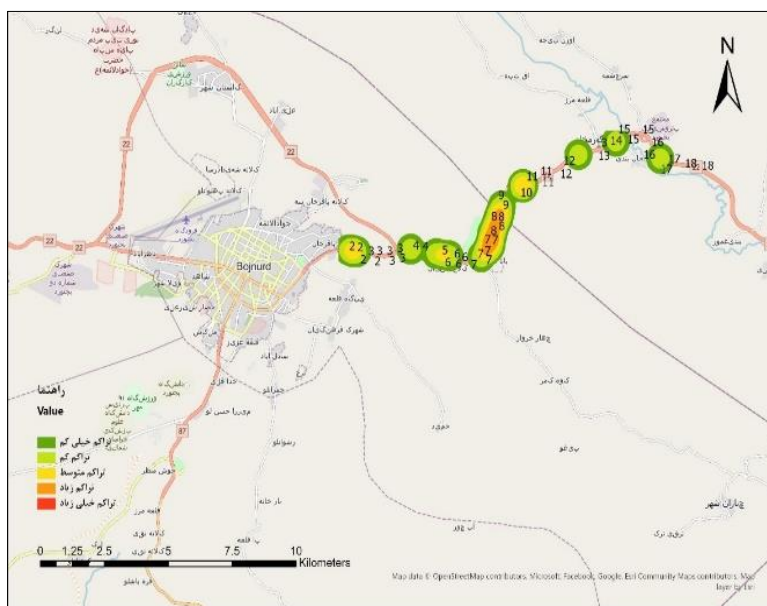
(الف)



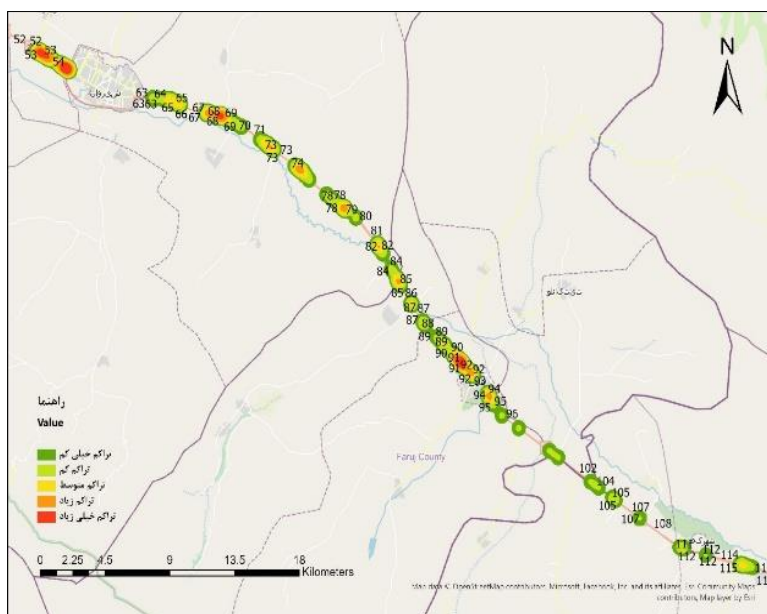
(ب)

شکل ۳. خروجی الگوریتم KDE در مسیر رفت (الف) کیلومتر ۱۰ تا ۳۲ (ب) کیلومتر ۱۵۴ تا ۲۱۰ (اعداد درج شده روی نقشه‌ها نمایش دهنده شماره خوشه می‌باشند).

منا دلشاد، هانی رضاییان، جواد سدید، اکبر دانش



(الف)



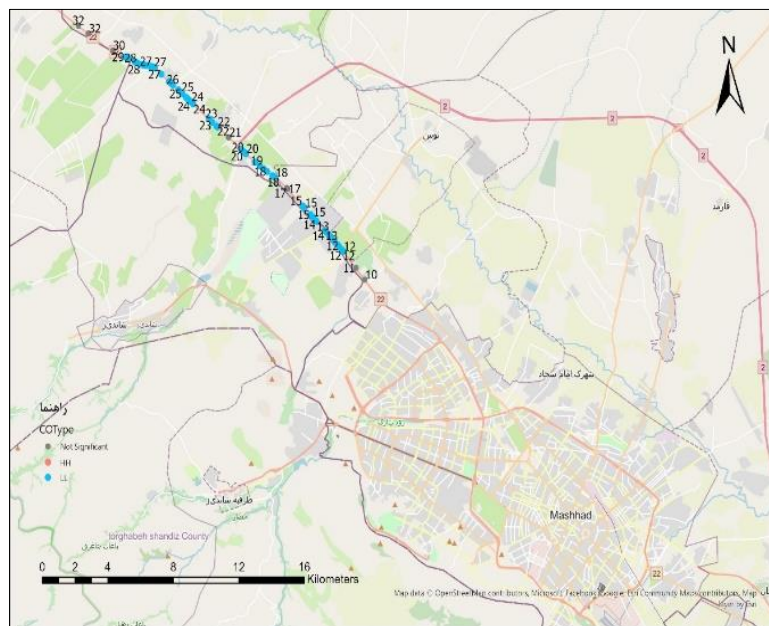
(ب)

شکل ۴. خروجی الگوریتم KDE در مسیر برگشت (الف) ۲ تا ۱۸ (ب) کیلومتر ۵۲ تا ۱۱۸ (اعداد درج شده روی نقشه ها نمایش دهنده شماره خوشه می باشند).

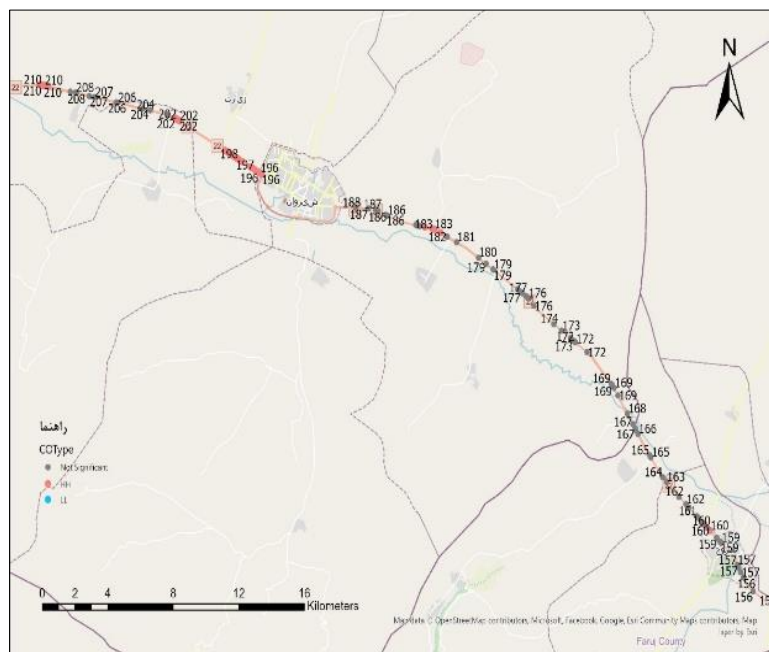
داده شده است. نتایج حاصل از الگوریتم Moran-I، ۵۷ مورد مقطع پرتصادف در مسیر رفت و ۹۲ مورد در مسیر برگشت با خوشه بندی (H-H) و (H-L) را نشان می دهد.

شکل ۵ و ۶ نیز به ترتیب نمایی از مقاطع پرتصادف استخراج شده با الگوریتم Moran-I در مسیر رفت (شکل ۵-الف و ۶-الف) و برگشت (شکل ۵-ب و ۶-ب) مشهد-بجنورد است. جهت وضوح بیشتر شکل، بخش محدودی از محور نمایش

شناسایی مقاطع پرتصادف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی

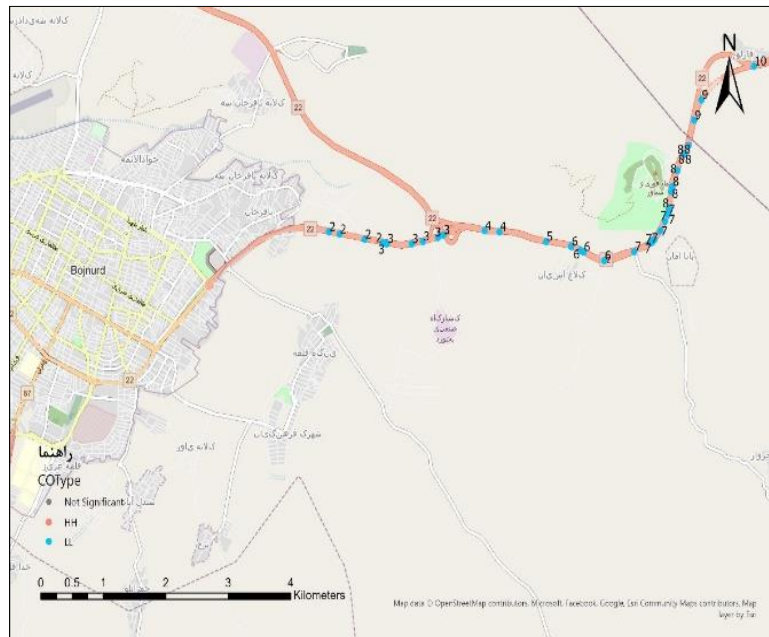


(الف)

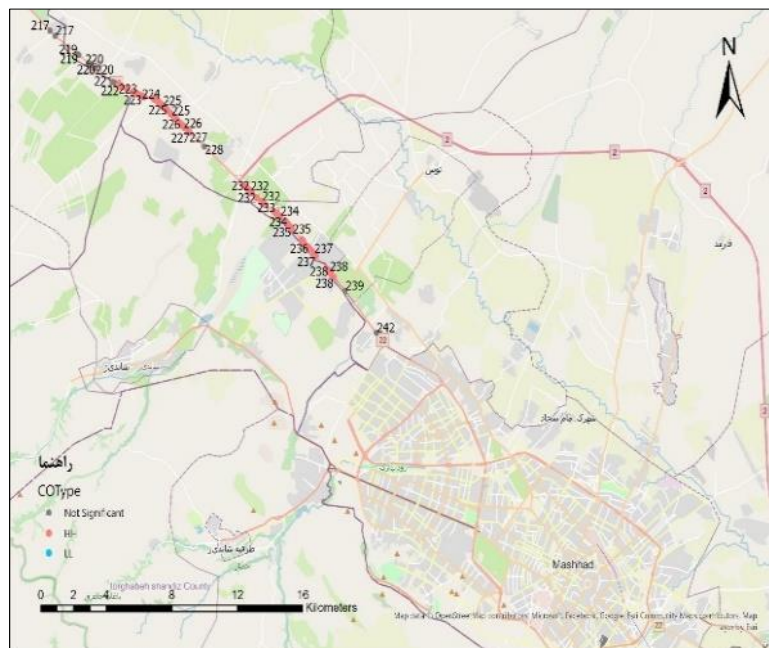


(ب)

شکل ۵. خروجی الگوریتم Moran-I در مسیر رفت (الف) کیلومتر ۱۰ تا ۳۲ (ب) کیلومتر ۱۵۴ تا ۲۱۰ (اعداد درج شده روی نقشه‌ها نمایش دهنده شماره خوشه می‌باشند).



(الف)



(ب)

شکل ۶. خروجی الگوریتم Moran-I در مسیر برگشت (الف) کیلومتر ۲ تا ۱۰ (ب) کیلومتر ۲۱۷ تا ۲۴۲ (اعداد درج شده روی نقشه ها نمایش دهنده شماره خوشه می باشند).

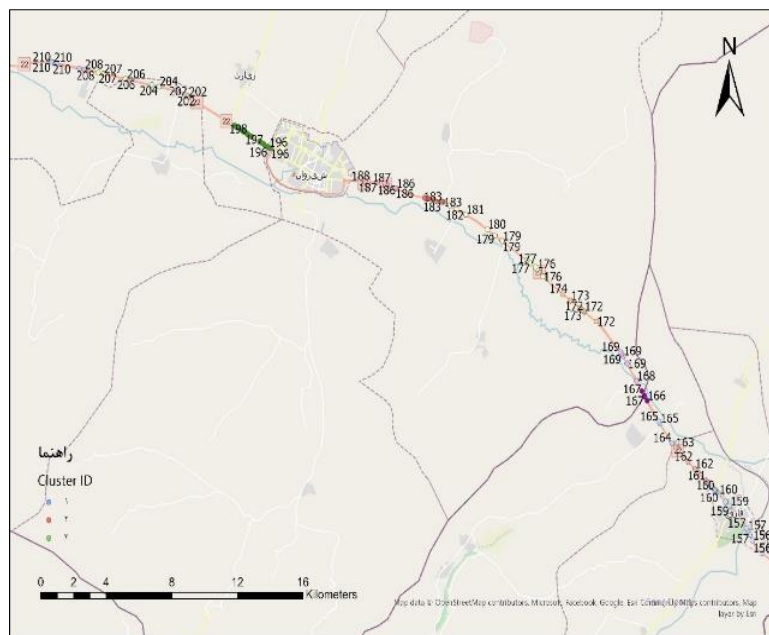
جهت وضوح بیشتر شکل، بخش محدودی از محور نمایش داده شده است.
تعداد خوشه‌های حاصله در مسیر رفت و برگشت به ترتیب ۶۵ و ۷۴ است.

شکل ۷ و ۸ نیز به ترتیب نمایی از مقاطع پرتصادف استخراج شده با الگوریتم K-Means در مسیر رفت (شکل ۷-الف و ۸-الف) و برگشت (شکل ۷-ب و ۸-ب) مشهد-بجنورد است.

شناسایی مقاطع پرتصادف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی



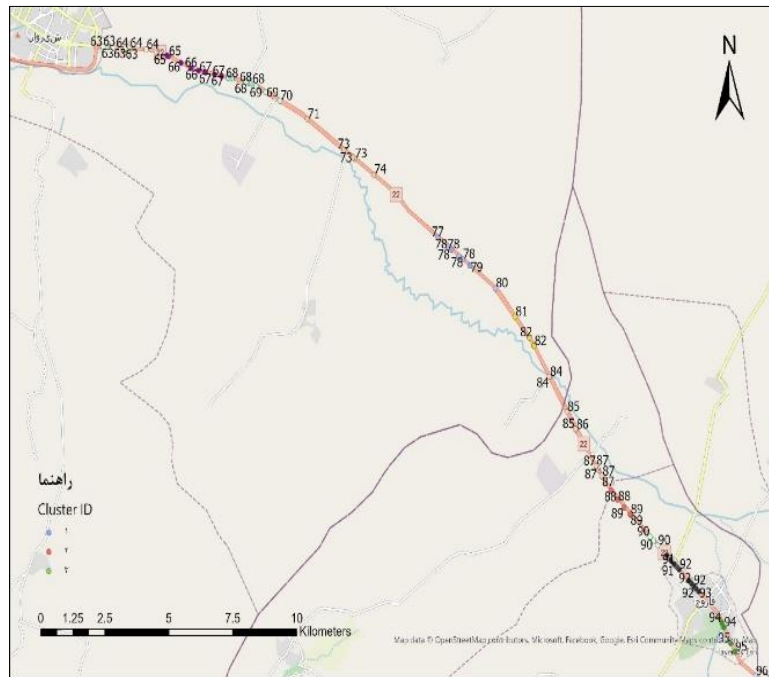
(الف)



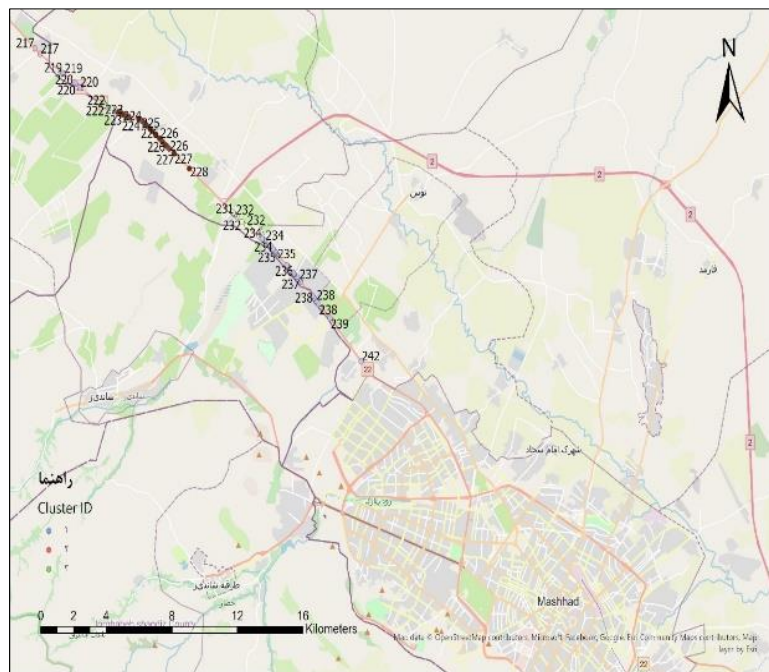
(ب)

شکل ۷. خروجی الگوریتم K-Means در مسیر رفت (الف) کیلومتر ۱۰ تا ۳۲ (ب) کیلومتر ۱۵۶ تا ۲۱۰ (اعداد درج شده روی نقشه‌ها نمایش دهنده شماره خوشه می‌باشند).

منا دلشاد، هانی رضاییان، جواد سدید، اکبر دانش



(الف)



(ب)

شکل ۸. خروجی الگوریتم K-Means در مسیر برگشت (الف) کیلومتر ۶۳ تا ۹۶ (ب) کیلومتر ۲۱۷ تا ۲۴۲ (اعداد درج شده روی نقشه ها نمایش دهنده شماره خوشه می باشند).

نتیجه بررسی همپوشانی نتایج حاصل از ۳ الگوریتم خوشه-بندی و داده‌های مرجع در مسیر رفت و برگشت به ترتیب در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. شکل ۹ و ۱۰ نیز به ترتیب شمایی از همپوشانی نتایج در مسیر رفت و برگشت را نشان می‌دهند.

شناسایی مقاطع پرتصادف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی

جدول ۲. میزان همپوشانی نتایج در مسیر رفت

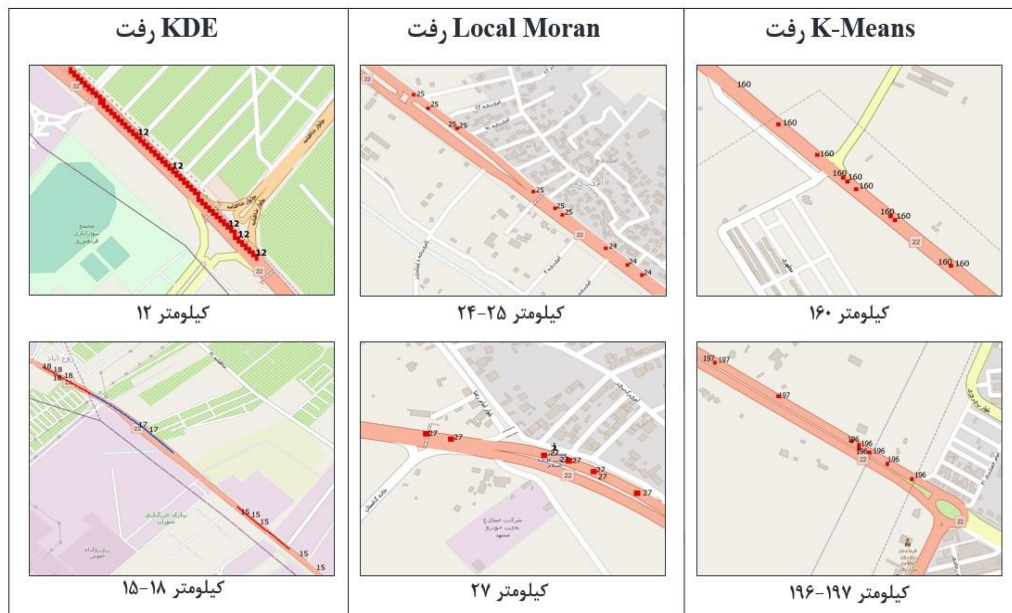
الگوریتم	تعداد سلول داده مرجع	میزان همپوشانی	
		تعداد سلول	درصد
KDE	۷۱۶۰	۵۹۱۱	۸۲,۵۵
Moran-I		۸۰	۱,۱۱
K-Means		۱۵۴	۲,۱۵

جدول ۳. میزان همپوشانی نتایج در مسیر برگشت

الگوریتم	تعداد سلول مقاطع پرتصادف مرجع	میزان همپوشانی	
		تعداد سلول	درصد
KDE	۸۵۳۹	۶۰۶۰	۷۰,۹۶
Moran-I		۷۷	۰,۹۰
K-Means		۱۷۳	۲,۰۲

بر اساس نتایج بدست آمده روش KDE با فاصله زیادی نسبت به ۲ الگوریتم دیگر توانسته مقاطع پرتصادف را شناسایی و استخراج نماید. درصد پایین انطباق نتایج الگوریتم‌های Moran-I و K-Means با داده‌های مرجع نشان دهنده عدم مطابقت آن‌ها با تعریف مقاطع پرتصادف و الگوریتم استخراج آن‌ها، ارائه شده از سوی وزارت راه و شهرسازی، می‌باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده روش KDE با فاصله زیادی نسبت به ۲ الگوریتم دیگر توانسته مقاطع پرتصادف را شناسایی و استخراج نماید. درصد پایین انطباق نتایج الگوریتم‌های Moran-I و K-Means با داده‌های مرجع نشان دهنده عدم مطابقت آن‌ها با تعریف مقاطع پرتصادف و الگوریتم استخراج آن‌ها، ارائه شده از سوی وزارت راه و شهرسازی، می‌باشد.

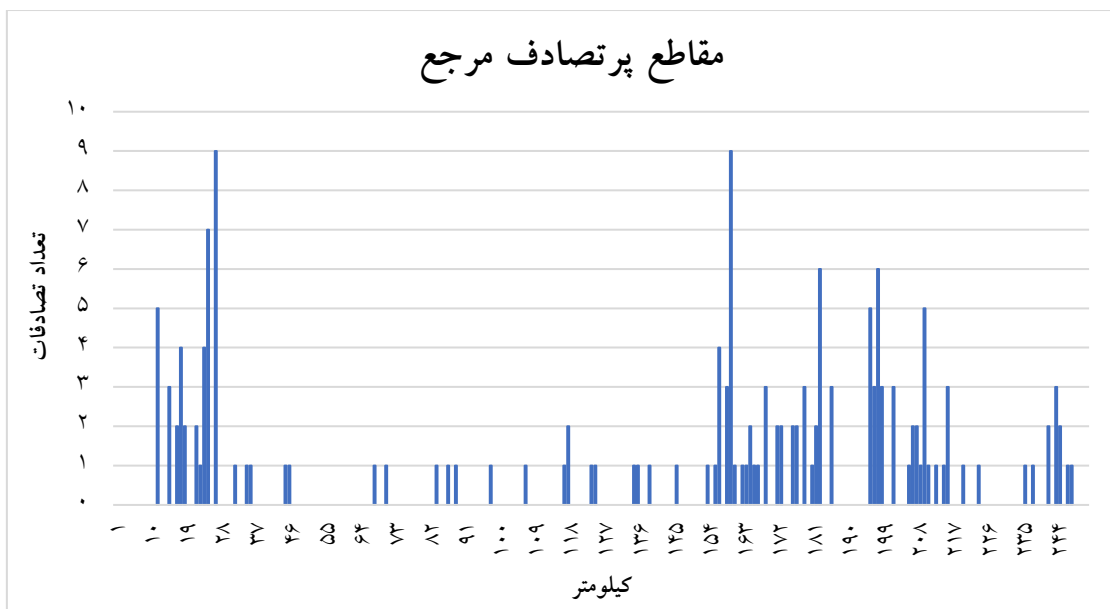


شکل ۹. همپوشانی مقاطع پرتصادف در مسیر رفت (اعداد درج شده روی نقشه‌ها نمایش دهنده شماره خوشه می‌باشند).



شکل ۱۰. همپوشانی مقاطع پرتصادف در مسیر برگشت (اعداد درج شده روی نقشه ها نمایش دهنده شماره خوشه می باشند).

شکل ۱۱ و ۱۲ به ترتیب نمودار فراوانی تصادفات واقع در ترتیب موقعیت تراکم تصادفات را در نزدیکی مناطق مقاطع پرتصادف شناسایی شده در داده های مرجع در مسیر رفت و برگشت نمایش می دهد. براین اساس جداول ۴ و ۵ به



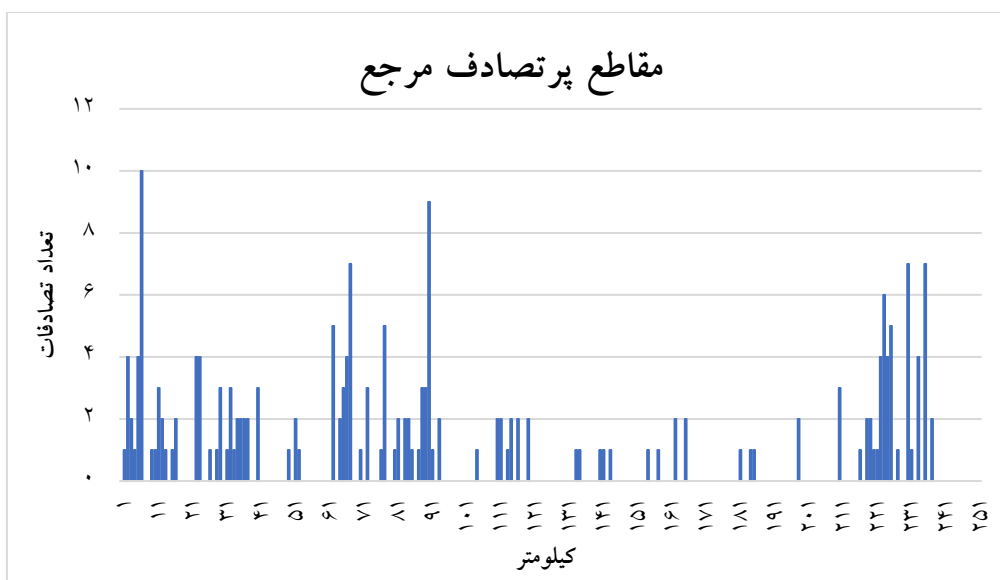
شکل ۱۱. تعداد تصادفات مقاطع پرتصادف مرجع در مسیر رفت

جدول ۴. موقعیت مکانی مقاطع پرتصادف با بیشترین فراوانی در مسیر رفت

کیلومتر	موقعیت مکانی
۱۲	در نزدیکی پلیس راه مشهد-چناران، حدفاصل ورودی و خروجی بلوار شاهنامه
۱۳	در محل دوربرگردان کارخانه خانه سازی مشهد در بزرگراه مشهد-چناران

شناسایی مقاطع پرتصادف با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی

موقعیت مکانی	کیلومتر
تقاطع شهرک صنعتی توس با محور مشهد-چناران	۱۵
حدافاصل روستای روح آباد و چهارفصل	۱۸
حدافاصل روستای ناظریه تا ورودی آزادراه کنارگذر شمالی مشهد	۲۰
در محل دوربرگردان شیرحصار	۲۵
ابتدای پل عابر پیاده در جاده فرعی محمدآباد	۲۶
در حوالی روستای کورده و ساغروان در محل پیچ ساغروان و دارای چند جاده فرعی	۲۷-۲۸
خروجی شهر فاروج و در محل اتصال دو راهی جاده نجف آباد به جاده اصلی	۱۶۰
۵ کیلومتری ورودی شهر شیروان، حدافاصل جاده های فرعی روستای اله آباد و امیرآباد	۱۸۳
از ابتدای میدان امام علی در خروجی شهر شیروان تا نزدیکی ورودی جاده زیارت	۱۹۶-۱۹۸
در فاصله ۱۴ کیلومتری بعد از شهر شیروان	۲۱۰



شکل ۱۲. تعداد تصادفات مقاطع پرتصادف مرجع در مسیر برگشت

جدول ۵. موقعیت مکانی مقاطع پرتصادف با بیشترین فراوانی در مسیر برگشت

موقعیت مکانی	کیلومتر
بزرگراه امام رضا قبل از ورودی کنارگذر شمالی بجنورد	۳
در محل ورودی و خروجی جاده فرعی چناران شهر در محل پل عابر و دوربرگردان پارک بابا امان	۷ و ۸
ابتدای میدان معلم در خروجی شهر شیروان	۶۳
۵ کیلومتری خروجی شهر شیروان به سمت فاروج	۶۸
در فاصله ۱۵ کیلومتری شیروان در مجاورت روستای خرم آباد	۷۸
۴ کیلومتر مانده به شهر فاروج، بعد از جاده فرعی کلاته سیاه	۸۷

موقعیت مکانی	کیلومتر
ورودی شهر فاروج	۹۱-۹۲
در ۲۹ کیلومتری شهر مشهد، ۲ کیلومتر بعد از دوربرگردان چهارطاقی، در محل پیچ ساغروان، جایگاه سوخت گوهردشت و در مجاورت روستای کورده	۲۲۳-۲۲۵
از پل عابر واقع در ابتدای جاده فرعی محمدآباد تا دوربرگردان شیرحصار	۲۲۶
۲۰ کیلومتری شهر مشهد حوالی روستای ناظریه، بعد از آزادراه کنارگذر شمالی مشهد	۲۳۱-۲۳۴
در محل دوربرگردان نیروگاه توس	۲۳۵
تقاطع جاده فرعی پارک علم و فناوری با جاده اصلی	۲۳۶
خروجی فرعی شهرک صنعتی توس تا پل عابر کارخانه خانه‌سازی مشهد	۲۳۸

۵. نتیجه‌گیری

های جاده‌ای است مطابقت دارد. تمرکز خوشه‌بندی تصادف‌ها در نزدیکی سکونتگاه‌های شهری نیز با نتایج تحقیق سانجو و همکاران (۲۰۲۴) همخوانی دارد. بعلاوه اهمیت استفاده از شدت تصادف‌ها در خوشه بندی که در دستورالعمل وزارت راه و شهرسازی مطرح شده است، با نتایج تحقیق لی و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد.

بعلاوه نتایج نشان داد الگوریتم KDE در مدل‌سازی مقاطع پرتصادف موثرتر بوده و بیشتر تصادفات نزدیک سکونتگاه‌های شهری رخ داده است. مشخصا در مسیر رفت، بیشترین تصادفات در ۳۰ کیلومتر ابتدایی شهر مشهد، خروجی شهر فاروج و ورودی و خروجی شهر شیروان رخ داد. در مسیر برگشت، بیشترین تصادفات در ۳۰ کیلومتری منتهی به شهر مشهد، ۸ کیلومتر ابتدایی شهر بجنورد و فاصله بین شیروان و فاروج بود.

برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود حجم ترافیک عبوری نیز در نظر گرفته شود، ویژگی‌های هندسی جاده در مقاطع پرخطر بررسی شود و از این روش‌ها برای شناسایی مقاطع پرتصادف درون شهری استفاده شود. همچنین بررسی میزان انطباق نتایج حاصل از دستورالعمل وزارت راه و شهرسازی با سایر تعاریف مطرح در زمینه مقاطع پرتصادف می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. این یافته‌ها می‌تواند به پژوهشگران و مدیران ایمنی ترافیک در شناسایی و مدیریت نقاط پرخطر کمک کند.

این پژوهش با هدف شناسایی مقاطع پرتصادف تصادفات در محور مشهد-بجنورد طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۴۰۱ انجام شد. برای تحلیل مقاطع پرتصادف، از مقاطع پرتصادف سازمان راهداری به عنوان مقاطع مرجع استفاده شد. در این راستا الگوریتم‌های KDE، Moran-I و K-Means برای تعیین خوشه‌ها در مسیر رفت و برگشت پیاده‌سازی شدند. سپس همپوشانی مقاطع پرتصادف حاصل از هر روش با مقاطع مرجع برای تعیین بهترین روش مدل‌سازی بررسی شد. فراوانی تصادفات در مقاطع پرتصادف هر روش با مقاطع مرجع مقایسه گردید و مقاطع با بیشترین فراوانی تعیین شدند. نتایج حاصل شده نشان داد که الگوریتم KDE در مسیر رفت ۸۲٫۵۵٪ و در مسیر برگشت ۷۰٫۹۶٪ با مقاطع مرجع همپوشانی داشته است که این سطح از انطباق بیشتر از سایر روش‌های عنوان شده بوده است (جدول ۲ و ۳). بدین ترتیب نتایج نشان داده است که روش KDE در شناسایی مقاطع پرتصادف منطبق با تعریف مدنظر وزارت راه و شهرسازی، عملکرد بهتری دارد و می‌تواند برای این منظور در تحلیل‌ها بکار گرفته شود.

یافته‌های عنوان شده با نتایج مطالعات قبلی در برتری KDE مطابقت دارد. همپوشانی پایین نتایج حاصل از روش Moran-I (جدول ۲ و ۳) با نتایج تحقیق شریعت و همکاران (۲۰۱۳) که نشان دهنده سطح پایین خودهمبستگی در وقوع تصادف-

۶. پی‌نوشت‌ها

استان تهران)، گزارش پژوهشی شماره ۷، پلیس راهنمایی و رانندگی ناجا مرکز تحقیقات کاربردی.

- صادقی، علی اصغر، آیتی، اسماعیل، پیرایش نقاب، محمد علی، (۱۳۹۱) شناسایی و اولویت بندی قطعات حادث هخیز راه با رویکرد قطعه بندی مسیر و تحلیل پوششی داد هها، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، ۳(۱)، ۵۵-۶۸.

- صیدایی، اسکندر، جهانگیر، ابراهیم، دارابخانی، رسول، پناهی، علی. (۱۳۹۹). شناخت مقاطع پرتصادف محورهای استان البرز با استفاده از روش تخمین تراکم کرنل، پژوهش های جغرافیای انسانی، دوره ۵۲، شماره ۳، ص ۹۵۱-۹۳۹.

- عاقلی مقدم، هادی، محمدی، حسین، کلاتری، محسن. (۱۳۹۹). تحلیل مکانی مقاطع پرتصادف محور شاهرود-کاهک، پژوهشنامه جغرافیای انتظامی، سال هشتم، شماره سی ام، ص ۶۲-۳۵.

- عفتی، میثم، رمضانپور، امیرمحمد (۱۴۰۲) ارائه رویکردی مکانمند جهت قطعه‌بندی و تحلیل فراوانی تصادفات در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری با استفاده از الگوریتم رگرسیون پواسون، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، ۱۶ (۱-۶۲)، ۴۳۰۱-۴۳۱۶.

- قدسی نژاد، مهدیه. (۱۳۹۱). "طراحی و پیاده‌سازی یک وب سرویس مکانی آنتولوژی مینا (مطالعه موردی: شناسایی و اطلاع‌رسانی مقاطع حادثه‌خیز جاده‌ها)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

- میرزایی، مسعود، یزدان پناه، مهدی، دهقان بنادکی، علی (۱۴۰۲) طبقه‌بندی تصادفات جاده‌ای با استفاده از شبکه عصبی

1. Geographic Information System – GIS
2. Kernel Density Estimation-KDE
3. Moran Index – Moran-I
4. Unsupervised
5. Hierarchical
6. Balanced Iterative Reducing and Clustering using Hierarchies
7. Network
8. Clustering In Quest – CLIQUE
9. Spatial Partitioning Algorithms
10. Noise
11. Correlation
12. Autocorrelation
13. Getis-Ord G_i^*
14. Hot Spot
15. Shariat
16. Sherbrooke
17. Severity Index
18. Li
19. Aamari
20. Linear Referencing
21. Buffer
22. Hight
23. Low
24. Natural Breaks

۷. مراجع

- زینلی، سایه، حسینعلی، فرهاد، صادقی نیارکی، ابوالقاسم، کاظمی بیدختی، محمد، عفتی، میثم. (۱۳۹۳). تحلیل مکانی تصادفات در تقاطع‌های برون‌شهری با به‌کارگیری روش‌های خودهمبستگی مکانی و برآورد تراکم کرنل. سال سوم، شماره دوم.

- زینلی، سایه. (۱۳۹۳). "تحلیل تصادفات جاده‌ای در تقاطع‌ها بر مبنای رویکرد مکان‌مینا"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

- حق شنو، آرزو. (۱۳۹۳). بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات برون شهری و ارائه مدل مناسب (مطالعه موردی

Crashes: A Case Study of Illinois. Southern Illinois University at Edwardsville.

- Gao, C. X., Dwyer, D., Zhu, Y., Smith, C. L., Du, L., Fila, K. M., Bayer, J., Menssink, J. M., Wang, T., Bergmeir, C., Wood, S. An overview of clustering methods with guidelines for application in mental health research, *Psychiatry Res.*, 327 (2023) 115265.

- Han, J., Pei, J., Kamber, M. (2023) *Data Mining: Concepts and Techniques*, Fourth ed., Morgan Kaufmann.

- Harirforoush, H., Bellalite, L., & Bénié, G. B. (2019). Spatial and temporal analysis of seasonal traffic accidents. *Am. J. Traffic Transp. Eng.* 4(7), 10–11648.

- Impresimi, E. (2022). Spatial-temporal analysis of traffic accidents in Athens: The case of pedestrians.

- Khatun, M. S., Hossain, M. A., Kabir, M. A., & Rahman, M. A. (2024). Identification and analysis of accident black spots using Geographic Information System (GIS): A study on Kushtia-Jhenaidah national highway (N704), Bangladesh. *Heliyon*, 10(3).

- Kundakçı, E. (2014). Identification of traffic accident hotspots and their characteristics in urban area by using GIS. Middle East Technical University.

- Le, K.G., Huong, H, T, L., Do, V, M., Tran, Q, H. (2024). Applying a two-step cluster algorithm in traffic accident data analysis. *Transport and Communications Science Journal*, Vol. 75, Issue 04, 1673-1687.

- Le, K. G., Liu, P., & Lin, L.-T. (2020). Traffic accident hotspot identification by integrating kernel density estimation and spatial autocorrelation analysis: a case study, *International Journal of Crashworthiness*.

مصنوعی (مطالعه موردی آزادراه تهران - پردیس) فصلنامه مهندسی حمل و نقل، ۱۴ (۴-۵۷)، ۲۹۹۹-۳۰۱۹.

- مسن آبادی، نگین، حسینعلی، فرهاد، بهرامیان، زهرا. (۱۴۰۰). توسعه یک الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر تراکم مکانی و زمانی برای استخراج مکانهای توقف از خط سیر کاربر، نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰.

- وزارت راه و شهرسازی (۱۴۰۱)، دستورالعمل شناسایی و اولویت بندی نقاط پرتصادف راه ها، بخش نامه شماره ۱۳۷۵۶/۱۰۰/۰۰۲ مورخ ۱۴۰۱/۰۲/۰۴، وزارت راه و شهرسازی.

- Aamri, A., Hornby, G.M., Zhang, L., Al-Maniri, A., Padmadas, S. (2021), Mapping road traffic crash hotspots using GIS-based methods: A case study of Muscat Governorate in the Sultanate of Oman, *Spatial Statistics*, 42(5):100458.

- Afolayan, A., Easa, S. M., Abiola, O. S., Alayaki, F. M., & Folorunso, O. (2022). GIS-based spatial analysis of accident hotspots: A Nigerian case study. *Infrastructures*, 7(8), 103.

- Agyakwah, M. (2018). Spatio-temporal patterns of vehicular accidents in Accra (Ghana). University of Twente.

- Aksoy, E. (2006). Clustering with GIS: An attempt to classify Turkish district data. In XXIII FIG Congress, Germany.

- Anderson, T. K. (2009). Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 359–364.

- Baral, S. S. (2021). GIS-Based Spatial and Temporal Analysis of Older People-Involved

- Shariat, A., Shahri, M., Mirbagheri, (2013), GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation, *Geo-spatial Information Science*, 2013.
- Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3).
- Sheikholeslami, S., MirzaBoroujerdian, A., Asadamraji, M. (2020), A Rural Road Accident Probability Model Based on Single-Vehicle Hazard Properties including Hazard Color and Mobility: A Driving Simulator Study, *Journal of Advanced Transportation* 2020(13):1-8.
- Vemulapalli, S. S. (2015). GIS-based spatial and temporal analysis of aging-involved crashes in Florida. The Florida State University.
- Wang, M., Yi, J., Chen, X., Zhang, W., & Qiang, T. (2021). Spatial and Temporal Distribution Analysis of Traffic Accidents Using GIS-Based Data in Harbin. *Journal of Advanced Transportation*, 2021(1), 9207500.
- Zhang, C., Huang, W., Niu, T., Liu, Z., Li, G., Cao, D. (2023). Review of Clustering Technology and Its Application in Coordinating Vehicle Subsystems. *Automot. Innov.*, 6 , 89-115.
- Le, K. G., Liu, P., & Lin, L. T. (2019). Determining the road traffic accident hotspots using GIS-based temporal-spatial statistical analytic techniques in Hanoi, Vietnam. *Geo-Spatial Information Science*, 23(2), 153–164.
- Manap, N., Borhan, M. N., Yazid, M. R. M., Hambali, M. K. A., & Rohan, A. (2021). Identification of hotspot segments with a risk of heavy-vehicle accidents based on spatial analysis at controlled-access highway. *Sustainability*, 13(3), 1487.
- Mesquitela, J., Elvas, L. B., Ferreira, J. C., & Nunes, L. (2022). Data analytics process over road accidents data—a case study of Lisbon city. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(2), 143.
- Miaou SP, Song JJ. (2005) Bayesian Ranking of Sites for Engineering Safety Improvements: Decision Parameter, Treatability Concept, Statistical Criterion, and Spatial Dependence. *Accident Analysis and Prevention*. 37:699–720.
- Ouni, F., & Belloumi, M. (2018). Spatio-temporal pattern of vulnerable road user's collisions hot spots and related risk factors for injury severity in Tunisia. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 56, 477–495.
- Punhani, A., Faujdar, N., Mishra, K. K., & Subramanian, M. (2022). Binning-based silhouette approach to find the optimal cluster using K-means. *IEEE Access*, 10, 115025–115032.
- Sae-Ngow, P., Kulpanich, N., Worachairungreung, M., Ngansakul, P., & Prasert, T. (2024). Geospatial Analysis for Identifying Blackspots on National and Rural Highways in Thailand. *International Journal of Geoinformatics*, 20(4).

منا دلشاد، درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد جغرافیا و سامانه های اطلاعات جغرافیایی را به ترتیب در سال های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ از دانشگاه خوارزمی اخذ نموده است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان تحلیل داده های مکانی بوده و در حال حاضر فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و سیستم های اطلاعات جغرافیایی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی می باشد.



هانی رضاییان، درجه کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی مهندسی عمران نقشه برداری با گرایش سامانه های اطلاعات جغرافیایی را به ترتیب در سال های ۱۳۷۹، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ از دانشگاه تهران اخذ نموده است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان تحلیل های مکانمند و زمانمند بوده و در حال حاضر استادیار گروه سنجش از دور و سیستم های اطلاعات جغرافیایی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی می باشد.



جواد سدیدی، درجه کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی سامانه های اطلاعات جغرافیایی را به ترتیب در سال های ۱۳۸۲، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲ از دانشگاه حکیم سبزواری، تربیت مدرس تهران و اسنابروک آلمان اخذ نموده است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان هوش مصنوعی مکانی بوده و در حال حاضر دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم های اطلاعات جغرافیایی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی می باشد.



اکبر دانش، درجه کارشناسی را در رشته مهندسی عمران دانشگاه تبریز در سال ۱۳۹۰ اخذ نمود. ایشان تحصیلات تکمیلی خود را در گرایش راه و ترابری در سال های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ به ترتیب در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی از دانشگاه تهران طی نموده است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت نگهداری زیرساخت های راه بوده و چندین مقاله بین المللی در این خصوص به چاپ رسانیده است.

