

توسعه مدل تخمین طول بهینه پنجره لغزان برای غربالگری شبکه راه‌های

برون‌شهری

نصیر برادران رحمانیان، دانشجوی مقطع دکتری، رشته مهندسی راه و ترابری، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

شاهین شعبانی (مسئول مکاتبات)، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، ص.پ. ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷ تهران، ایران

E-mail: shabani@pnu.ac.ir

جلال ایوبی نژاد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، ص.پ. ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷، تهران، ایران

پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴

چکیده

پنجره لغزان یکی از روش‌های غربالگری شبکه راه‌ها برای شناسایی نقاط پرتصادف است. در این روش دو پارامتر مهم شامل طول پنجره و حداقل تعداد تصادف در هر نقطه وجود دارد که میزان هر یک توسط کاربرد تعریف می‌شود. بررسی پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که تغییر میزان طول پنجره و فاصله لغزشی به طور قابل توجهی بر روند جستجوی نقاط پرتصادف تأثیر می‌گذارد و می‌تواند نتایج متفاوتی داشته باشد. طبق بررسی‌های صورت گرفته، طول پنجره و فاصله لغزشی بر اساس قضاوت مهندسی و با استفاده از تجارب قبلی انتخاب می‌شود و از روش‌های آماری و علمی برای محاسبه میزان بهینه این پارامترها استفاده نشده است. در پژوهش حاضر، ضمن بررسی ویژگی‌های روش مذکور، متدولوژی جدیدی بر اساس چارچوب بهینه‌سازی روش پنجره لغزان جهت شناسایی دقیق‌تر نقاط پرتصادف پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی اجازه می‌دهد تا طول پنجره لغزان بصورت پویا تخمین زده شود. متدولوژی بهینه‌سازی به این صورت است که ابتدا راه موردنظر قطعه‌بندی شده و برای هر قطعه چندین سناریوی مختلف از طول پنجره با بکارگیری الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر تراکم (DBSCAN) انتخاب می‌شود. سپس تابع عملکرد ایمنی (SPF) در راه موردنظر توسعه داده می‌شود و تعداد تصادفات پیش‌بینی و موردانتظار و تفاوت این دو به عنوان پتانسیل بهبود ایمنی (PSI) در هر جایگاهی پنجره و برای همه سناریوهای انتخابی در قطعه محاسبه می‌شود. در نهایت از طریق محاسبه میانگین اختلاف‌ها با استفاده از آنالیز واریانس طولی که دارای کمترین میزان پراکندگی مقادیر اختلاف‌ها نسبت به میانگین باشد به عنوان طول بهینه پنجره در هر قطعه تعیین می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که در کلیه قطعه‌ها حداقل در یک حرکت پنجره با طول بهینه تخمینی، SPF پنجره سطح دقت مطلوب را برآورده کرده است. همچنین با حرکت پنجره با طول‌های پویای بهینه تعداد ۱۲۲ نقطه کاندید پرتصادف شناسایی شد که در مقایسه با نتایج پنجره با طول‌های ثابت ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری مشخص شد از تراکم تصادف و طول مفید بیشتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: نقاط پرتصادف، غربالگری شبکه، پنجره لغزان، تابع عملکرد ایمنی، الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر تراکم

۱. مقدمه

یکی از دغدغه‌های بزرگ در حوزه حمل و نقل، تصادفاتی است که همه ساله در راه‌های یک شبکه حمل و نقل رخ می‌دهد و منجر به وارد آمدن خسارات اقتصادی و اجتماعی فراوان و جبران ناپذیری می‌شود. طبق سوابق و تجارب گذشته واضح است که تعداد قابل توجهی از کل تصادفات در مقاطع و یا موقعیت‌های خاص و شناسایی شده‌ای تحت عنوان نقاط پرتصادف متمرکز شده است که شناسایی دقیق و رفع مشکلات ایمنی این نقاط از منظر اقتصادی باتوجه به وسعت راهها، دارای توجیه اقتصادی بالایی است. شناسایی این نقاط بحرانی و پرریسک در راهها بدون بکارگیری رویکرد سیستماتیک و موثر، معمولاً منتج به دقت پایین خروجی‌ها و صرف هزینه‌های اضافی می‌گردد. غربالگری شبکه بخشی از یک سیستم مدیریت ایمنی جاده‌ای مدرن است و در واقع نوعی بازبینی سیستماتیک داده‌های خطر در سراسر شبکه برای شناسایی مکان‌هایی با خطرات غیرعادی بالا و شناسایی عوامل خطر مرتبط با تعداد قابل توجهی از تلفات و جراحات محسوب می‌شود. غربالگری شبکه فهرستی از مکان‌های دارای بالاترین خطر و فهرستی از عوامل خطر اصلی را مشخص می‌کند. هدف غربالگری شبکه شناسایی مناطق مورد تاکید برای هدایت سرمایه‌گذاری‌ها در بهبود ایمنی راه در کل سیستم است [HSM, 2010].

غربالگری شبکه جاده‌ای اولین مرحله از کل فرآیند سیستم مدیریت ایمنی زیرساخت جاده‌ای است. مدل‌ها و روش‌های غربالگری شبکه اخیراً بسیار بهبود یافته‌اند اما برخی مشکلات به‌ویژه مربوط به کیفیت داده‌ها مانند مکان دقیق تصادفات هنوز پابرجا هستند [Bonera et al., 2022]. در تحقیق بونرا این مشکلات با پیشنهاد یک چارچوب عملیاتی ساده برای اجرای غربالگری شبکه، بر اساس یک منطق ساده و انعطاف‌پذیر برای یکپارچه‌سازی داده‌های مربوط به تصادفات، ترافیک و جاده برطرف شده است. به طور خاص، این چارچوب داده‌های

تصادف را بدون تکیه بر مختصات جغرافیایی که ناقص یا نادرست هستند و هنوز در بسیاری از کشورها یک چالش بزرگ محسوب می‌شود مدیریت می‌کند. همچنین شاخص نرخ هزینه تصادف تعدیل شده را اتخاذ می‌کند که فراوانی و شدت تصادفات و همچنین اندازه‌گیری قرار گرفتن در معرض خطر را یکپارچه می‌کند و در نهایت نقشه‌های متغیری را معرفی می‌کند که نتایج را در سطوح مختلف منطقه‌ای نشان می‌دهد. علاوه بر آن، این چارچوب می‌تواند در یک سیستم مدیریت ایمنی ترافیک جاده‌ای برای اولویت‌بندی بهتر مداخلات ایمنی در یک بودجه محدود و کمک به دستیابی به اهداف توسعه پایدار پیاده‌سازی شود. این مطالعه از جنبه نظری، منطقی جدید و انعطاف‌پذیر برای پیوند داده‌ها از منابع داده‌های مختلف ارائه می‌کند که گامی مهم برای تجزیه و تحلیل جامع و مؤثر ایمنی راه‌ها است. به طور دقیق‌تر، این مطالعه داده‌های تصادف را به صورت محلی و نقطه‌ای پردازش نمی‌کند، بلکه آنها را در مقیاس قطعات بزرگتر راه بررسی می‌کند. روش‌های مختلفی از غربالگری شبکه بطور گسترده برای شناسایی نقاط پرتصادف استفاده می‌شود و بیشتر پژوهش‌ها در این زمینه بر شناسایی قطعه‌های راه متمرکز شده است که در آنها احتمال وقوع تصادفات زیاد است. در این راستا طیف گسترده‌ای از چارچوب‌ها برای شناسایی نقاط پرتصادف به عنوان روش‌های غربالگری شبکه راه که شناخته شده هستند مورد بحث قرار می‌گیرد. پنجره لغزان (SW) ، جستجوی اوج (PS) ، پروفایل ریسک پیوسته (CRP) و خوشه‌بندی مکانی (SC) از جمله روش‌هایی هستند که بیشترین کاربرد را دارند و در پژوهش‌های وون و همکاران [Kwon et al., 2013] و گرین [Green, 2018] روش‌های غربالگری شبکه برای تعیین اینکه کدام روش در شناسایی نقاط پرتصادف بهترین عملکرد را دارد بررسی و مقایسه شده است. هرچند تأثیر روش‌های مختلف غربالگری شبکه بر عملکرد روش تشخیص موقعیت با تصادف بالا با استفاده از داده‌های تجربی به دقت

تحقیقات بیشتر در راستای ارتقای این روش ضروری به نظر می‌رسد. هدف این مقاله پیشنهاد روشی جدید براساس چارچوب بهینه‌سازی روش پنجره لغزان به منظور شناسایی دقیق تر نقاط پرتصادف است. همچنین این پژوهش برخی از نقایص عمده و نقاط ضعف روش پنجره لغزان را مشخص می‌کند و آنها را برای شناسایی دقیق نقاط پرتصادف بهبود می‌بخشد.

۲. روش پنجره لغزان

در روش پنجره لغزان، دو پارامتر مهم وجود دارد که باید توسط کاربر تعریف شود: طول پنجره و حداقل تعداد تصادف در هر نقطه پرتصادف [Medury and Grembek, 2016]. طول پنجره طول ثابتی از قطعه ای از راه است که برای شمارش تصادفات استفاده می‌شود و فرض بر این است که پنجره نقطه پرتصادف دارای عناصر زیرساختی و جاده‌ای همگن خواهد بود. حداقل تعداد تصادفات در هر نقطه پرتصادف یک آستانه بحرانی را تعیین می‌کند که مشخص می‌کند آیا یک قطعه راه باید نقطه پرتصادف باشد یا خیر. روش پنجره لغزان به این صورت عمل می‌کند که یک پنجره با طول ثابت در شبکه راه جابجا می‌شود تا قطعه‌هایی از راه که معیار آستانه تصادف بحرانی را برآورده می‌کنند، شناسایی شوند. هنگامی که یک نقطه پرتصادف شناسایی شد، جستجو برای سایر نقاط پرتصادف از تصادف موجود بعدی که با هیچ نقطه پرتصادفی همپوشانی ندارد ادامه می‌یابد. در یک روش کمی تغییر یافته از رویکرد پنجره لغزان، پنجره می‌تواند به گونه ای جابجا شود که محل شروع یک پنجره همیشه یک تصادف باشد. براساس مطالعه مدوری و گرمبک روش پنجره لغزان دارای دو محدودیت است. اولاً، با فرض طول پنجره ثابت، حتی اگر نقطه پرتصادف مجبور شود با یک تصادف شروع شود، نمی‌توان تضمین کرد که نقطه پرتصادف با تصادف نیز به پایان برسد. در نتیجه ممکن است طولی از قطعه راه در انتهای نقطه پرتصادف وجود داشته باشد که فاقد تصادف باشد. دومین محدودیت روش پنجره لغزان که به خوبی مستند نشده این است که نقاط پرتصادف را بر اساس رویکرد اولویت اول

ارزیابی نشده است اما پژوهش وون یافته‌های حاصل از ارزیابی عملکرد یکی از معمول‌ترین روش‌های غربالگری شبکه یعنی پنجره لغزان را به منظور شناسایی مکان‌های با تراکم بالای تصادف مستند کرده است. در پژوهش لی و همکاران [Lee, et al. 2020] یک روش جدید غربالگری شبکه برای شناسایی نقاط پرتصادف بر اساس چارچوب بهینه‌سازی پیشنهاد شده است. طبق روش پیشنهادی طول هر نقطه پرتصادف بر اساس محدودیت‌هایی که اعمال می‌شود به صورت پویا تعیین می‌گردد. محاسبه روش طول پویا بوسیله برنامه‌نویسی پویا برای یافتن راه‌حل بهینه دارای پیچیدگی محاسباتی است. عملکرد روش پیشنهادی با استفاده از تخمین بیز تجربی^۹ (EB) به عنوان یک معیار ایمنی، با سایر روش‌های غربالگری مرسوم، پنجره لغزان و پروفایل ریسک پیوسته از نظر مقدار هدف بهینه آنها مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند از پنجره لغزان و پروفایل ریسک پیوسته در بررسی نقاط پرتصادف با دقت بیشتر و نشان دادن سازگاری بهتر مکانی-زمانی عمل کند. طبق پژوهش مدوری و گرمبک [Medury and Grembek, 2016]، یک روش رایج غربالگری شبکه رویکرد پنجره لغزان است که در آن پنجره‌ای با طول ثابت در طول راه با گام‌های کوچک حرکت می‌کند تا معیار انتخاب نقطه پرتصادف که از پیش تعیین شده، (مانند آستانه شمارش/نرخ تصادف بحرانی) را برآورده کند. بطور کلی متد و شیوه شناسایی نقاط پرتصادف همواره یکی از مسائل چالش برانگیز در حوزه اقدامات مهندسی ایمنی راه بوده است. سیستماتیک نبودن فرآیند شناسایی، وضعیت و سطح بلوغ داده‌های تصادف و عدم توجه به رویکرد غربالگری شبکه از دیگر چالش‌های مطرح شده است. از طرفی روش پنجره لغزان یکی از روش‌های غربالگری شبکه است که در این روش فاکتورهای میزان طول پنجره و میزان فاصله لغزشی نقش بسیار مهمی در به حداکثر رساندن دقت تشخیص نقاط پرتصادف دارد و علاوه بر آن دارای برخی محدودیت‌هایی است که هریک جداگانه در عملکرد آن تأثیرگذار است. بنابراین انجام

اگر میانگین تعداد تصادف در هر کیلومتر ۱/۵ تصادف باشد، هر پنجره لغزان باید طولی برابر با ۰/۹۰۹ کیلومتر داشته باشد. مطابق پژوهش زناسی [Szénási, 2016] روش سنتی پنجره لغزان در مورد شناسایی نقاط پرتصادف براساس قطعه راه به خوبی قابل استفاده است. مراحل اصلی شامل فیلتر کردن تصادفات راه موردنظر، مرتب کردن تصادفات با استفاده از شماره قطعه، جابجایی پنجره روی تصادفات و جمع‌آوری مکان‌هایی است که تعداد تصادفات تحت پوشش پنجره بیش از یک آستانه معین باشد. در این روش، چگالی تصادف با استفاده از طول‌های قطعه ثابت محاسبه می‌شود. همچنین مهم است که از برخی گزینه‌های فیلتر اضافی استفاده شود زیرا محصول روش پنجره لغزان فقط مجموعه‌ای از کاندیدهای نقاط پرتصادف است و این موارد به بررسی‌های بیشتر و عمیق‌تر نیاز دارند تا تصمیم گرفته شود که نتایج بدست آمده نقاط پرتصادف واقعی هستند یا خیر. روش پنجره لغزان برای یافتن نقاط پرتصادف واقع در تقاطعات به دلیل تمرکز و نزدیکی تصادفات به یکدیگر قابل استفاده نیست. اما این روش در طول راه به دلیل پراکندگی تصادفات بخوبی عمل می‌کند. روش ارایه شده در پژوهش کویین و ولنر [Qin and Wellner, 2011] به گونه‌ای است که برخلاف سایر پژوهش‌ها در داخل پنجره در نظر گرفته شده ابتدا قطعه‌بندی صورت می‌گیرد. با استفاده از این روش، یک پنجره با طول تعیین شده به‌طور تدریجی در طول راه با فاصله لغزشی کوتاه‌تر پیش می‌رود. هم‌زمان با حرکت پنجره در طول قطعه، تجزیه و تحلیل از طریق برآورد تصادفات موردانتظار (بیز تجربی) مبتنی بر پنجره انجام می‌شود. این در حالی است که پنجره لغزان ممکن است از قطعه‌های ناهمگن تشکیل شده باشد بنابراین یک میانگین وزنی بر اساس طول قطعه‌های موجود در یک پنجره به‌منظور پیش‌بینی تصادفات^۱ (SPF) محاسبه می‌شود. سپس تصادفات موردانتظار به عنوان میانگین وزنی SPF_{win} و فراوانی تصادف در مرز پنجره برآورد می‌شود که با حرکت پنجره در مسیر تغییر می‌کند. به این ترتیب می‌توان محل تصادف و همچنین مجاورت آن با مرز را با

انتخاب می‌کند. به عبارت دیگر، این روش اولین قطعه در امتداد راه را که با معیارهای تشخیص مطابقت دارد انتخاب می‌کند. چنین فرضی ممکن است بر انتخاب نقاط پرتصادف در پایین دست آن مکان تأثیر بگذارد. در پژوهش رون الویک [Elvik, 2007]، برای انجام محاسبات موردنیاز در فرآیند شناسایی نقاط پرتصادف، یک پنجره لغزان به طول ۲۵۰ متر در نظر گرفته شده است و چنانچه با جابجایی پنجره، یکی از دو معیار تعریف شده برای نقطه پرتصادف کامل شود، آنگاه پنجره ۲۵۰ متری به عنوان یک نقطه پرتصادف انتخاب می‌شود. در این روش تأکید شده است که شروع هر پنجره باید با حداقل یک تصادف باشد. حداقل تعداد تصادف برای اینکه یک مکان به عنوان نقطه پرتصادف محسوب شود ۴ تصادف در طی دوره ۵ ساله با سطح اطمینان آماری ۵ درصد است. همچنین با استفاده از توزیع پواسون و رابطه ۱، طول پنجره لغزان به صورت ثابت محاسبه می‌شود:

$$\alpha = 1 - \sum_{x=0}^{x_{min}-1} \frac{(\lambda_i \cdot T_i \cdot L)^x}{x!} \cdot e^{-(\lambda_i \cdot T_i \cdot L)} \quad (1)$$

که در آن:

α : احتمال مشاهده تصادف برابر یا بزرگتر از حداقل مقدار بحرانی و برابر با ۰/۵
 x : تعداد تصادفات ثبت شده
 T : زمان
 L : طول راه

λ : تعداد تصادفات مورد انتظار در هر کیلومتر از راه
 مقدار طول پنجره لغزان به گونه‌ای تعیین می‌شود که برای این طول، احتمال مشاهده تصادف برابر یا بزرگتر از حداقل مقدار بحرانی (یعنی ۴ تصادف) برابر ۰/۵ باشد. بطور کلی احتمال مشاهده حداقل تعداد تصادف تعیین شده در یک توزیع پواسن ۰/۰۵ است که مقدار موردانتظار در این حالت برابر ۱/۳۶۳ است. از این رو طول پنجره لغزان باید به یک میزانی برای متوسط تعداد تصادف داخل پنجره که برابر با ۱/۳۶۶ است ثابت شود. بنابراین

توسعه مدل تخمین طول بهینه پنجره لغزان برای غربالگری شبکه راههای برون شهری

است. نتایج نشان داده است که استفاده از طولهای مختلف پنجره و نیز فاصله لغزش پنجره تأثیر قابل توجهی در عملکرد روش پنجره لغزان دارد و این نتیجه را می توان از تفاوت در نقاط پرتصادف مشخص شده در امتداد راه در معیارهای مختلف قطعه بندی که توسط آزمون سازگاری ارایه شده است مشاهده کرد. راهنمای ایمنی راه [HSM, 2010] تأکید می کند که روش پنجره لغزان براساس کلیه معیارهای عملکردی با روش غربالگری سازگاری کامل دارد. وقتی پنجره به انتهای مجموعه ای از قطعه های راه نزدیک می شود، طول پنجره ثابت می ماند، در حالی که فاصله لغزشی طوری تنظیم می شود که آخرین پنجره در انتهای قطعه راه قرار گیرد. نتایج این پژوهش نشان داد که در برخی موارد، طول قطعه های راه ممکن است کمتر از طول پنجره باشد و قطعه های راه ممکن است بخشی از یک مجموعه به هم پیوسته از قطعه های راه نباشند. در این موارد توصیه شده است که طول پنجره برابر طول قطعه در نظر گرفته شود. در ادامه برخی مزایا و معایب این روش از مقایسه نتایج و یافته های پژوهش های قبلی مشخص می شود. به طور کلی در بسیاری از پژوهش های بررسی شده ادعا شده است که این روش براساس فرضیه هایی که تعریف شده دارای محدودیت هایی است و تغییر میزان طول پنجره می تواند به طور قابل توجهی بر روند جستجوی نقاط پرتصادف تأثیر بگذارد. به عبارت دیگر، تغییر ویژگی های پنجره (طول پنجره و فاصله لغزشی) می تواند نتایج متفاوتی به همراه داشته باشد. از طرفی به جز یکی از پژوهش ها که به چگونگی محاسبه طول ثابتی از پنجره پرداخته است در هیچ یک از موارد دیگر به طور مشخص به مبانی و نحوه انتخاب طول پنجره که یک پارامتر مهم در این روش است اشاره ای نشده و غالباً بر اساس تجربه میزان آن تعیین شده است. بنابراین با توجه به موارد احصا شده مزایای روش پنجره لغزان را می توان به شرح ذیل خلاصه نمود:

- آسان بودن درک و فهم این روش نسبت به روش های دیگر
- امکان پذیر و آسان بودن توسعه روش

جزئیات بررسی کرد. میانگین وزنی مکانی SPF_{win} را می توان با رابطه ۲ محاسبه کرد:

$$SPF_{win} = SPF_1 \times \frac{l_1}{L} + SPF_2 \times \frac{l_2}{L} \dots \quad (2)$$

که در آن:

SPF_{win} = مقدار پیش بینی تصادفات برای پنجره

SPF_1 = مقدار SPF برای اولین قطعه

L_1 = طول اولین قطعه در پنجره

L = طول پنجره

نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه گیری مبتنی بر قطعه در شناسایی نقاط پرتصادف در اطراف مرز قطعه مشکل است در حالی که معیار مبتنی بر پنجره، تغییرات تصادف در امتداد راه را با دقت بالاتر ثبت می کند. در پژوهش ژانگ و پی جی و ژیان گای [Zhang and Peijie and Xianghai, 2018] روش کمی و روش گرافیکی برای تعیین طول بهینه پنجره و طول لغزش مناسب پنجره لغزان ارایه شده است. همچنین تأثیر طول پنجره لغزان و طول لغزش در نتایج شناسایی قطعه های پرتصادف راه بحث و بررسی شده است. نتایج نشان داد که: (۱) طول های مختلف پنجره لغزان باید با معیارهای مختلف شناسایی مطابقت داشته باشد. (۲) هرچه طول پنجره لغزان بیشتر باشد احتمال اغراق در قطعه های پرتصادف بیشتر خواهد بود. (۳) هرچه طول لغزش بزرگتر باشد، احتمال بیشتری برای حذف قطعه های پرتصادف وجود دارد. (۴) با توجه به تعیین طول بهینه پنجره لغزان و طول لغزش با استفاده از روش کوانتیل، ترکیب مطلوب این است که طول لغزش، نصف طول پنجره باشد. در پژوهش قاسم قادی [Qaseem Ghadi, 2020] برای نشان دادن تأثیر طول پنجره در شناسایی نقاط پرتصادف، سه طول با اندازه های ۲۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ متر استفاده شده است. سه طول مذکور برای اندازه گیری فراوانی تصادف به ترتیب با فاصله های لغزشی ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ متر برای دو راه شهری و بین شهری انتخاب شده است. در نتیجه گیری تأکید شده است که بطور کلی سازگاری روش پنجره لغزان برای راههای برون شهری در مقایسه با راههای شهری بهتر

متدولوژی بهینه‌سازی به این صورت است که ابتدا راه موردنظر قطعه‌بندی شده و برای هر قطعه چندین سناریوی مختلف از طول پنجره با بکارگیری الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی^۷ (DBSCAN) انتخاب می‌شود. سپس تابع عملکرد ایمنی (SPF) در محور مورد مطالعه توسعه داده می‌شود و تعداد تصادفات پیش‌بینی و موردانتظار برای هر جابجایی پنجره تخمین زده می‌شود. در گام بعد پتانسیل بهبود ایمنی^۸ (PSI) از اختلاف دو مقدار مذکور در هر لغزش پنجره برای همه سناریوهای طول پنجره در قطعه محاسبه می‌شود. در این مرحله ابتدا بررسی می‌شود که آیا در هر قطعه، پارامتر طول پنجره عامل تغییر در میانگین اختلاف‌ها می‌باشد یا خیر؟ اگر طول، عامل تغییر باشد باید طول بهینه تخمین زده شود و اگر طول، عامل تغییر نباشد در قطعه مورد بررسی، طول بهینه معنادار نیست. در گام بعد، از طریق محاسبه میانگین اختلاف‌ها با استفاده از آنالیز واریانس^۹ (ANOVA) طولی که دارای کمترین میزان پراکندگی مقادیر اختلاف نسبت به میانگین باشد به عنوان طول بهینه پنجره در هر قطعه تعیین می‌شود. به عبارت دیگر هر قطعه در امتداد راه دارای طول بهینه متفاوتی از پنجره لغزان است. در نهایت برای طول‌های بهینه برآورد شده در هر قطعه با استفاده از شاخص دقت (ضریب تغییرات)، SPF‌های تخمینی (تعداد پیش‌بینی تصادفات حاصل از تابع عملکرد ایمنی توسعه داده شده) تحت آزمایش قرار می‌گیرند. اگر حداقل در یک حرکت یا لغزش پنجره تا انتهای قطعه، عدد شاخص دقت^{۱۰} (CV) براساس رابطه^۳ و توصیه راهنمای ایمنی راه [HSM, 2010] و [Kolody et al., 2014] کمتر یا مساوی عدد ۰/۵ باشد، بدین معناست که SPF پنجره سطح دقت مطلوب را برآورده کرده است و طول بهینه تخمین زده شده مورد تأیید است. اگر هیچ‌یک از SPF‌های پنجره در تمام لغزش‌ها از سطح مطلوب برخوردار نباشد، طول پنجره برآورد شده بهینه نیست و باید طولی که دارای تفاوت میانگین کمتر در بین سایر سناریوهای تعریف شده باشد مدنظر قرار گیرد و این مرحله تکرار شود.

- سازگار بودن با کلیه شاخص‌های عملکردی شیوه غربالگری راهها
- گستردگی و شناخته شده بودن در رویکرد سیستم ایمن و دارای کاربرد موثر در تشخیص قطعات بحرانی محدودیت‌ها و معایب این روش عبارت است از:
- انتخاب نقطه پرتصادف بر اساس رویکرد اولین خدمت. یعنی همیشه اولین قطعه در امتداد راه که با معیارهای انتخاب نقاط پرتصادف مطابقت دارد را انتخاب می‌کند و چنین فرضی ممکن است در انتخاب نقاط پرتصادف واقع در کیلومترهای بعدی تأثیرگذار باشد.
- با ثابت بودن طول پنجره که در این روش معمولاً طول نقطه پرتصادف نیز محسوب می‌شود ممکن است انتهای یک نقطه پرتصادف شناسایی شده هیچ تصادفی را پوشش ندهد و بدین ترتیب شامل طول غیرمفیدی از راه شود و در نتیجه طول همه نقاط پرتصادف یا یکدیگر مساوی می‌شود.
- تأثیرگذار بودن میزان طول پنجره و فاصله لغزشی آن به‌طور قابل توجه بر نتیجه جستجوی نقاط پرتصادف.
- انتخاب طول پنجره و طول فاصله لغزشی براساس قضاوت مهندسی و تجارب قبلی توسط کاربر و عدم استفاده از روش‌های آماری و علمی.
- قابل استفاده نبودن روش پنجره لغزان برای یافتن نقاط پرتصادف واقع در تقاطعات.

۳. روش تحقیق

در این پژوهش در نظر است روش پنجره لغزان به عنوان یکی از روش‌های غربالگری شبکه راهها برای شناسایی بهتر و دقیق‌تر نقاط پرتصادف ارتقا داده شود و الگوریتم بهینه‌سازی آن با برآورد طول بهینه پنجره و نیز فاصله لغزشی پنجره ارایه شود. پارامترها و متغیرهایی که در این پژوهش مورد اندازه‌گیری و تخمین قرار می‌گیرد شامل طول بهینه پنجره لغزان، فاصله لغزشی پنجره، طول نقاط پرتصادف و میزان تصادفات تحت پوشش نقاط است که با روش بهبودیافته پنجره لغزان شناسایی می‌شوند.

توسعه مدل تخمین طول بهینه پنجره لغزان برای غربالگری شبکه راههای برون شهری

۳) توسعه تابع عملکرد ایمنی (SPF) در محور موردنظر با

مدل‌سازی آماری توزیع دو جمله‌ای منفی

۴) محاسبه تعداد تصادفات پیش‌بینی و موردانتظار برای هر

لغزش پنجره در هر سناریوی طول پنجره

۵) محاسبه میزان اختلاف مقادیر پیش‌بینی و موردانتظار

تصادفات برای هر جابجایی پنجره در هر سناریوی طول پنجره

(PSI)

۶) بررسی میزان پراکندگی مقادیر اختلاف‌ها نسبت به میانگین

با استفاده از آنالیز واریانس و برآورد طول بهینه پنجره در هر

قطعه

۷) ارزیابی طول بهینه پنجره برآورد شده در هر قطعه با استفاده

از شاخص دقت

۸) شناسایی نقاط کاندید پرتصادف با جابجایی پنجره با طول

بهینه.

متغیرهای اصلی مورد استفاده در بخش بهینه‌سازی روش پنجره

لغزان و تخمین طول بهینه پنجره عبارت است از:

• پتانسیل بهبود ایمنی (PSI) حاصل از اختلاف بین دو مقدار

پیش‌بینی تصادفات و میزان موردانتظار تصادفات در هر

جابجایی پنجره

• میزان پراکندگی PSIها در هر سناریوی در نظر گرفته شده

از طول پنجره

بزرگراه نیشابور به سبزوار به عنوان یک راه جدا شده حدفاصل

خروجی شهر نیشابور تا انتهای حوزه شهر سبزوار که دارای طول

۱۹۴ کیلومتر است در یک جهت حرکتی برای انجام مطالعه

موردی در نظر گرفته شد. این محور دارای دو خط حرکتی در هر

جهت است و در طول راه تقاطعات و دسترسی‌های متعددی

مشاهده می‌شود و از میانگین ترافیک روزانه حدود ۸۰۰۰

وسيله‌نقلیه در سال (AADT) برخوردار است. از بانک

جی‌آی‌اسی تصادفات استان خراسان رضوی، اطلاعات تصادفات

سالهای ۹۷ تا ۹۹ برای محور مذکور استخراج گردید که تعداد

$$CV = \frac{\sqrt{\text{Var (SPF)}}}{\text{SPF}} \quad (۳)$$

پس از برآورد و کنترل طول بهینه، در آخرین مرحله، شناسایی و

تعیین نقاط پرتصادف در محور موردنظر انجام می‌گیرد.

بدین منظور حرکت پنجره با طول بهینه برآورد شده با کدنویسی

پایتون در نرم‌افزار ArcGis در طول راه پیاده‌سازی می‌شود.

بنابراین پنجره با طول‌های پویا از ابتدا تا انتهای هر قطعه جابجا

می‌شود تا نقاطی از راه را که معیار آستانه تصادف بحرانی را

برآورده می‌کند، شناسایی شود. هنگامی که نقطه پرتصادفی

شناسایی می‌شود جستجو برای سایر نقاط پرتصادف از تصادف

رخ داده بعدی که با هیچ نقطه پرتصادفی همپوشانی ندارد ادامه

می‌یابد. باتوجه به رویکرد این پژوهش در بهینه‌سازی روش

پنجره لغزان، نقاط پرتصادفی که شناسایی می‌شوند باید از طول

بهینه‌ای برخوردار باشند بنابراین یک نقطه پرتصادف باید حداقل

با یک تصادف آغاز و حداقل با یک تصادف پایان یابد و اندازه

هر نقطه پرتصادف نباید از طول پنجره که با الگوریتم معرفی

شده تعیین می‌شود بیشتر باشد. در جایی که دو یا چند پنجره‌ای

که دارای همپوشانی در هنگام لغزش باشند، از حداکثر تعداد

تصادف یکسان برخوردار باشند، پنجره‌ای که براساس شاخص

شروع و پایان با تصادف دارای طول کوتاه‌تری باشد جهت

انتخاب به عنوان نقطه پرتصادف در اولویت است. در الگوریتم

پیشنهادی فاصله لغزشی پنجره لغزان نیز پویا است و بستگی به

موقعیت تصادفات به‌وقوع پیوسته و ثبت شده در طول راه دارد.

در این تئوری، پنجره به گونه‌ای جابجا می‌شود که ابتدای هر

پنجره منطبق بر موقعیت تصادف بعدی در طول حرکت باشد.

مراحل الگوریتم پیشنهادی که در شکل ۱ نشان داده شده است

بصورت گام به گام به شرح ذیل است:

۱) قطعه‌بندی راه

۲) خوشه‌بندی مکانی تصادفات براساس شاخص میزان فاصله

با استفاده از الگوریتم مبتنی بر چگالی (DBSCAN) و تعیین

سناریوهای مختلف برای اندازه طول پنجره در هر قطعه

۴. یافته های تحقیق

۱-۴ خوشه‌بندی مکانی تصادفات با استفاده از

الگوریتم DBSCAN و تعیین سناریوهای طول

پنجره لغزان

DBSCAN یک الگوریتم خوشه‌ای مبتنی بر تراکم است. این الگوریتم به معنای خوشه‌بندی بر اساس تراکم مکانی با استفاده از نویز، نوعی خوشه‌بندی است که در سال ۱۹۹۶ توسط مارتین استر و همکاران [Ester et al., 1996] ارائه شد. در این الگوریتم مجموعه نقاطی که دارای تراکم بیشتر هستند را می‌توان به عنوان گروه‌های با خاصیت یکسان تعریف کرد و آنها را در یک گروه قرار داد. برخلاف بسیاری از روش‌های خوشه‌بندی، DBSCAN نسبت به شکل داده‌ها حساس نیست و می‌تواند داده با شکل‌های بسیار پیچیده را گروه‌بندی کند. طبق پژوهش ال‌باهی و زاتنی [El Bahi and Zatni, 2018] و پژوهش دنگ [Deng, 2020] در این الگوریتم دو پارامتر وجود دارد. پارامتر اول، شعاع (ϵ) و دومی، حداقل نقاط موجود در یک خوشه است (μ). این الگوریتم ابتدا یک نمونه را انتخاب می‌کند و با توجه به شعاع به دنبال همسایه برای این نقطه می‌گردد. اگر در آن شعاع مشخص توانست حداقل نقاط را پیدا کند، آنگاه همه آن نقاط با هم به یک خوشه تعلق می‌گیرند. این کار آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا تمامی نقاط بررسی شوند. در این الگوریتم اگر نمونه‌ای در شعاع خود، کمتر از حداقل تعیین شده نمونه داشته باشد به عنوان داده پرت یا نویز شناسایی می‌شود و به هیچ خوشه‌ای نسبت داده نمی‌شود. با توجه به اینکه در این بخش، خوشه‌بندی تصادفات محور براساس شاخص میزان فاصله بین تصادفات مدنظر است بنابراین هدف، پیدا کردن خوشه‌هایی است که فاصله بین موقعیت‌های تصادفات هر خوشه کمینه باشد. ضمناً با توجه به توضیحات ارائه شده، در این پژوهش طول خوشه برابر با فاصله طولی بین اولین و آخرین موقعیت تصادفات خوشه در نظر گرفته می‌شود.

تصادفات جرحی و فوتی در دوره در نظر گرفته شده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. تصادفات محور نیشابور-سبزوار در دوره ۳ ساله

سال	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	جمع کل
فقره	۲۲۳	۲۹۷	۳۴۲	۸۶۲

به منظور انجام تحلیل‌های ایمنی، راه مذکور به قطعه‌های همگن تقسیم شد. طبق راهنمای ایمنی راه آمریکا [HSM, 2010] وقتی هریک از متغیرهای میانگین ترافیک روزانه، عرض خط، نوع شانه، نرخ خطر حاشیه راه، تقاطع، ابتدا یا انتهای یک قوس افقی و موارد مشابه تغییر می‌کند باید یک قطعه جدید تعریف شود. بنابراین شروع و پایان یک قطعه به ویژگی‌های موجود بستگی دارد. به عبارت دیگر رویکرد غربالگری شبکه مستلزم آن است که یک راه بر اساس قضاوت مهندسی و با استفاده از ویژگی‌های هندسی به قطعه‌های همگن تقسیم شود. پژوهش گرین [Green, 2018] نشان داده است که طول قطعه می‌تواند به طور قابل توجهی بر توسعه SPF، غربالگری و اولویت‌بندی شبکه تأثیر بگذارد و از طرفی مقایسه روش‌های مختلف قطعه‌بندی در پژوهش‌های قادی و توروک [Ghadi and Török, 2019] حاکی از این است که روش HSM برای راه‌های جدا شده مناسب‌تر است. بنابراین در قطعه‌بندی محور مورد مطالعه به روش HSM، به دلیل اینکه برخی شاخص‌ها از جمله عرض خط و نوع شانه در کل مسیر یکسان است شاخص‌های حجم عبوری ترافیک، تقاطعات و دسترسی‌ها، قوس‌های افقی و کاربری‌های حاشیه‌ای لحاظ شده است. خلاصه نتایج قطعه‌بندی صورت گرفته برای محور نیشابور-سبزوار شامل ۵۹ قطعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج قطعه‌بندی

تعداد قطعه	حداقل طول (km)	حداکثر طول (km)
۵۹	۰/۵۰۵	۹/۴

۲-۴ انتخاب مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم

DBSCAN

قبل از انجام خوشه‌بندی به منظور انتخاب مقادیر مناسب پارامترهای معرفی شده در الگوریتم DBSCAN، تحلیل مقدماتی اطلاعات تصادفات به تفکیک قطعه‌های محور مورد مطالعه انجام شد. براساس تحلیل موقعیت تصادفات، میانگین فاصله طولی بین دو تصادف در کلیه قطعه‌ها حدود ۲۵۰ متر بدست آمد و از طرفی هر قطعه دارای حداقل تعداد ۳ تصادف بود. بنابراین پارامتر شعاع برابر ۲۵۰ متر و حداقل تعداد نقاط برای تشکیل یک خوشه برابر ۳ تصادف در نظر گرفته شد. با توجه به بررسی مبانی الگوریتم DBSCAN و تحلیل اولیه موقعیت تصادفات در قطعه‌ها، این الگوریتم با کدنویسی پایتون و در محیط ArcGIS پیاده سازی شد و در هر قطعه، خوشه‌بندی تصادفات بصورت خطی و براساس فاصله طولی بین تصادفات رخ داده در محور صورت گرفت. خلاصه نتایج حاصل از خوشه‌بندی تصادفات در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج خوشه‌بندی تصادفات در محور نیشابور-سبزوار

بیشترین خوشه	کمترین خوشه	حداکثر طول	حداقل طول
در یک قطعه	در یک قطعه	خوشه (m)	خوشه (m)
۸	۱	۹۷۹	۳۴

۳-۴ برآورد سناریوهای طول پنجره لغزان در هر

قطعه

تعداد سناریوهای طول پنجره لغزان در هر قطعه به تعداد خوشه‌های هر قطعه بستگی دارد. از آنجا که خوشه‌بندی تصادفات در محور مورد مطالعه با الگوریتم DBSCAN براساس شاخص میزان فاصله بین تصادفات انجام شده است بنابراین طول هر خوشه (فاصله اولین تصادف با آخرین تصادف خوشه) به عنوان یک سناریو از طول پنجره لغزان در هر قطعه در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به مطالعات پیشین، از آنجا که حداقل طول پنجره لغزان در اکثر مطالعات برابر ۱۰۰ متر است، بنابراین سناریوهای کمتر از ۱۰۰ متر در محاسبات بعدی

برابر ۱۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود. در محور نیشابور-سبزوار، از کل ۵۹ قطعه موجود، تعداد ۹ قطعه فاقد خوشه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که دو دلیل اصلی برای این موضوع وجود دارد. یک دلیل این است که برخی از این قطعه‌ها فاقد تصادف ثبت شده هستند (مانند قطعه‌های ۲۷، ۲۸ و ۲۹) و برخی دیگر از نظر تعداد تصادف و یا فاصله مکانی بین آنها بگونه‌ای هستند که حداقل شرایط پارامتری خوشه‌بندی در الگوریتم DBSCAN را دارا نمی‌باشند (مانند قطعه‌های ۴، ۱۲، ۱۴، ۳۰، ۳۱ و ۴۲). نتایج خوشه‌بندی نشان می‌دهد که بیشترین تعداد سناریوی طول پنجره لغزان در یک قطعه ۸ و کمترین آن ۱ است. بیشترین طول سناریوی پنجره لغزان برابر ۹۷۹ متر (قطعه ۴۸) و کمترین طول برابر ۳۴ متر (قطعه ۳۹) بدست آمده است. در جدول ۴ به تفکیک هر قطعه حداکثر طول (I_{max}) و حداقل طول (I_{min}) سناریوی برآورد شده و تعداد سناریوها (n) ارائه شده است.

۴-۴ توسعه تابع عملکرد ایمنی (SPF)

یک فرض اساسی در توسعه SPF این است که روابط بین فراوانی تصادفات و شرایط راه از گذشته (زمانی که داده‌های مدل جمع‌آوری شده‌اند) تا آینده که SPF برای آن اعمال می‌شود ثابت است [Fu et al., 2022]. پیش‌بینی فراوانی تصادفات براساس مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی (NB) به صورت رابطه ۴ بیان می‌شود که تابعی از عوامل مؤثر در تصادف از جمله ترافیک، طرح هندسی و سایر مشخصات مرتبط است [Farid and Abdel-Aty and Lee, 2019] و [Farid and] [Abdel-Aty and Lee, 2018].

$$N_{SPFi} = \exp(\beta_0 + \beta_1 \times X_{1i} + \beta_2 \times X_{2i} + \dots + \beta_p \times X_{pi} + \varepsilon_i) \quad (4)$$

که در آن، $\exp(\varepsilon_i) \sim \Gamma[1, k_i]$

N_{SPFi} : تعداد پیش‌بینی تصادفات

β : بردار رگرسیون تخمین پارامترها

X : بردار متغیرهای توصیفی

پارامتر k_i به عنوان پارامتر پراکندگی بیش از حد است که به مدل NB اجازه می‌دهد تا داده‌های تصادف بیش از حد پراکنده را در

$$Y = \exp(0.248X_1 + 0.0002X_2 + 0.1618X_3), \quad (۶)$$

$$\alpha = 0.3496$$

۴-۵ برآورد تعداد تصادف پیش‌بینی و موردانتظار

بعد از توسعه تابع عملکرد ایمنی، تعداد مورد انتظار تصادفات تخمین زده می‌شود و در عین حال سوگیری احتمالی ناشی از رگرسیون به میانگین (RTM) مدنظر قرار می‌گیرد [Srinivasan and Bauer, 2013] و [Ghadi and Török, 2019]. یکی از راه‌های انجام این کار استفاده از روش بیز تجربی (EB) است. برای پیاده‌سازی این روش، اولین گام تخمین وزن W ، با استفاده از رابطه ۷ است:

$$W = \frac{1}{(1 + \alpha \times N_{SPF})} \quad (۷)$$

که در آن:

N_{SPF} : تعداد پیش‌بینی تصادفات با استفاده از تابع SPF

α : پارامتر پراکندگی بیش از حد

تعداد تصادفات موردانتظار N_{EB} با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود که در آن N_{obs} تعداد تصادفات مشاهده شده است.

$$N_{EB} = N_{SPF} \times W + N_{obs} \times (1 - W) \quad (۸)$$

خود جای دهد. چنانچه $k_i \rightarrow 0$ مدل NB به مدل پواسون کاهش می‌یابد [Lord and Mannering, 2010]. به منظور توسعه تابع عملکرد ایمنی، فرم مدل SPF برای محور موردنظر براساس پارامترهای تعداد تصادف مشاهده شده، میانگین ترافیک روزانه در سال و تراکم دسترسی مطابق رابطه ۵ و مقادیر پارامترها در هر قطعه ایجاد می‌شود.

$$Y = \exp(\beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 + \varepsilon) \quad (۵)$$

Y : تعداد تصادفات قطعه در دوره سه ساله

X_1 : طول قطعه (km)

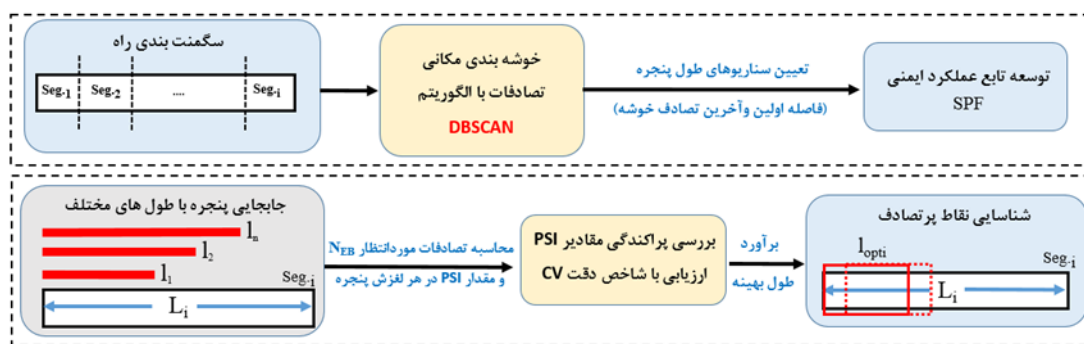
X_2 : میانگین سالانه ترافیک روزانه در قطعه (AADT)

X_3 : تراکم دسترسی در قطعه

β : بردار رگرسیون تخمین پارامترها

ε : عبارت خطای توزیع شده گاما

براساس روش ذکر شده در HSM، تابع عملکرد ایمنی محور نیشابور-سبزوار به عنوان یک مدل پیش‌بینی فراوانی تصادف بصورت رابطه ۶ بدست می‌آید:



شکل ۱. فرآیند و گام های الگوریتم پیشنهادی

جدول ۴. سناریوهای طول پنجره لغزان در محور نیشابور-سبزوار(متر) به تفکیک قطعه

قطعه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
I_{max}	۷۹۴	۵۸۹	۴۸۴	-	۵۳۱	۲۲۷	۵۷۲	۲۶۳	۹۵	۲۶۵	۲۶۶	-	۴۱۷	-	۱۹۰	۳۰۸
I_{min}	۴۹۴	۸۰	۵۹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۳۵۹	-	-	-
n	۴	۷	۶	-	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	-	۲	-	۱	۱
قطعه	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲

توسعه مدل تخمین طول بهینه پنجره لغزان برای غربالگری شبکه راههای برون شهری

۵۵۹	-	-	-	-	-	۱۶۱	۱۳۳	۳۹۹	۵۱۵	۶۶۸	۷۳۷	۵۱۱	۹۴۴	۲۵۳	۶۳۱	I_{max}
	-	-	-	-	-			۸۶	۷۹	۳۶۴	۶۴	۲۴۳	۴۹	۱۶۳	۲۱۰	I_{min}
۱	-	-	-	-	-	۱	۱	۶	۴	۳	۳	۳	۷	۳	۳	n
۴۸	۴۷	۴۶	۴۵	۴۴	۴۳	۴۲	۴۱	۴۰	۳۹	۳۸	۳۷	۳۶	۳۵	۳۴	۳۳	قطعه
۹۷۹	۳۷۱	۶۰	۲۵۵	۶۶۴	۱۱۴	-	۵۳۵	۹۱۸	۲۷۰	۲۶۵	۷۶۶	۴۱۷	۹۶۰	۹۱۵	۳۰۲	I_{max}
	۱۵۳			۱۷۲	۱۱۲	-			۳۴	۳۷			۲۰۳			I_{min}
۱	۸	۱	۱	۳	۲	-	۱	۱	۳	۲	۱	۱	۲	۱	۱	n
					۵۹	۵۸	۵۷	۵۶	۵۵	۵۴	۵۳	۵۲	۵۱	۵۰	۴۹	قطعه
					۵۶۶	۳۷۸	۷۷۸	۸۲۷	۵۱۱	۲۶۴	۵۱۶	۷۱۹	۲۴۱	۳۲۹		I_{max}
					۱۶۷	۲۵۴	۶۶		۱۵۰	۱۴۷	۲۲۴	۶۴	۱۹۵			I_{min}
					۲	۲	۲	۱	۴	۱	۲	۴	۳	۱	۴	n

$$PSI = N_{EB} - N_{SPF} \quad (9)$$

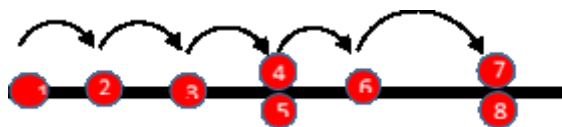
از آنجا که برای هر حرکت پنجره لغزان با سناریوهای مختلف طول پنجره، تعداد پیش‌بینی تصادفات (N_{SPF}) و تعداد تصادفات موردانتظار (N_{EB}) محاسبه می‌شود، بنابراین هر حرکت پنجره ممکن است دارای یک PSI متفاوت باشد و میزان آن بستگی به تعداد تصادفات رخ داده، تراکم دسترسی و میزان ترافیک در هر جابجایی پنجره در طول مسیر دارد. به همین دلیل مقادیر پارامترهای موردنیاز شامل تعداد پیش‌بینی تصادفات (N_{SPF})، تعداد تصادفات موردانتظار (N_{EB}) و پتانسیل کاهش تصادفات (PSI) در هر جابجایی پنجره به تفکیک هر سناریوی طول برای همه قطعه‌ها محاسبه می‌شود.

۷-۴ بررسی میزان پراکندگی مقادیر PSI نسبت به

میانگین و تخمین طول بهینه پنجره در هر قطعه

در این مرحله با استفاده از آنالیز واریانس [Fisher, 1992] ابتدا بررسی می‌شود که آیا در هر قطعه، پارامتر طول پنجره عامل تغییر در تفاوت میانگین‌ها است یا خیر؟ اگر عامل تغییر باشد طول بهینه باید تخمین زده شود و اگر عامل تغییر نباشد در قطعه مورد بررسی، طول بهینه معنادار نیست. در ۲۶ قطعه از ۵۹ قطعه که دارای بیش از یک سناریوی طول پنجره لغزان است آنالیز واریانس برای بررسی موثر بودن عامل طول پنجره در متفاوت

در این مرحله پنجره لغزان در محیط GIS از طریق کدنویسی پایتون، در طول مسیر حرکت داده شد و با استفاده از تابع عملکرد ایمنی و روش بیز تجربی، برای هر حرکت پنجره لغزان با سناریوهای مختلف طول پنجره، تعداد پیش‌بینی تصادفات (N_{SPF}) و تعداد تصادفات موردانتظار (N_{EB}) محاسبه شد. مطابق شکل ۲ در هر قطعه به طور جداگانه، محل شروع حرکت پنجره با اولین تصادف قطعه است بطوریکه پنجره در طول مسیر تا انتها بر روی موقعیت تصادفات رخ داده جابجا می‌شود و در هر جابجایی محاسبات مربوط به برآورد میزان پیش‌بینی و موردانتظار تصادفات انجام می‌شود.



شکل ۲. نحوه لغزش و جابجایی پنجره لغزان

۶-۴ محاسبه اختلاف مقادیر پیش‌بینی و موردانتظار

تصادفات (PSI) برای هر جابجایی پنجره

PSI ، پتانسیل کاهش تصادفات است که از اختلاف بین تعداد تصادفات پیش‌بینی (N_{SPF}) و تعداد موردانتظار (N_{EB}) مطابق رابطه ۹ بدست می‌آید و یک پارامتر مهم در برآورد طول بهینه پنجره محسوب می‌شود [Kwon et al., 2013].

انجام شده نشان داد که در کلیه این قطعه‌ها، حداقل در یک حرکت پنجره تا انتها، SPF پنجره سطح دقت مطلوب را برآورده کرده است و بنابراین طول‌های بهینه تخمینی مورد تأیید است. نتایج ارزیابی شامل مقدار CV و شماره اولین لغزش پنجره لغزان که مقدار CV برابر و یا کمتر از ۰/۵ است به تفکیک قطعه در جدول ۶ ارایه شده است.

۹-۴ شناسایی نقاط پرتصادف با جابجایی پنجره

لغزان با طول‌های بهینه

پس از تخمین و کنترل طول بهینه، شناسایی نقاط کاندید پرتصادف در محور موردنظر با حرکت پنجره با طول‌های بهینه در هر قطعه صورت می‌گیرد. نقاطی از راه که معیار حداقل مقدار بحرانی را برآورده می‌کنند، به عنوان یک نقطه کاندید از حیث پرتصادف بودن تعیین می‌شوند. معیار در این پژوهش دارا بودن حداقل تعداد ۳ تصادف در طی یک دوره ۳ ساله است. نقطه پرتصادف نقطه‌ای است که در بین پنجره‌هایی که با یکدیگر دارای همپوشانی هستند دارای حداکثر میزان تصادف باشد. به عبارت دیگر در این روش صرفاً پنجره‌هایی از لحاظ تعداد تصادف پوشش داده شده با یکدیگر مقایسه می‌شوند که دارای همپوشانی باشند. اگر دو یا چند پنجره دارای همپوشانی، از تعداد تصادف یکسان برخوردار باشند، پنجره‌ای به عنوان پنجره بحرانی انتخاب می‌شود که دارای طول نقطه پرتصادف کوتاه‌تری است. طول نقطه پرتصادف برابر است با فاصله بین موقعیت‌های اولین و آخرین تصادف واقع در پنجره. هنگامی که نقطه پرتصادفی شناسایی شد، جستجو برای سایر نقاط پرتصادف از تصادف موجود بعدی که با هیچ نقطه پرتصادفی همپوشانی ندارد، ادامه می‌یابد. نتایج شناسایی نقاط پرتصادف در محور از طریق جابجایی پنجره لغزان با طول‌های بهینه در جدول ۷ ارایه شده است. L_{bs} طول نقطه پرتصادف و N_{acc} تعداد تصادفی است که توسط نقطه پرتصادف پوشش داده شده است. در مجموع تعداد ۱۲۲ نقطه کاندید پرتصادف با طول کل ۳۶/۳۵ (km) شناسایی گردید که بیشترین تعداد با ۸ نقطه مربوط به قطعه ۱۹ است.

بودن میانگین وزن PSIها انجام شد. نتایج نشان داد در ۱۴ قطعه از ۲۶ قطعه مذکور، اختلاف میانگین ناشی از عامل طول پنجره لغزان است که برای این قطعه‌ها، طولی از سناریوها که از طریق واریانس داده‌ها دارای میزان پراکندگی کمتر مقادیر اختلاف‌ها نسبت به میانگین است به عنوان طول بهینه پنجره در هر قطعه انتخاب شد. بنابراین هر قطعه دارای طول بهینه پویا و متفاوتی از پنجره لغزان است. در ۱۲ قطعه‌ای که اختلاف میانگین PSIها ناشی از عامل خطا است، اختلاف معناداری بین سناریوهای طول پنجره وجود ندارد که در این حالت میانگین طول سناریوها به عنوان طول نهایی پنجره در شناسایی نقاط پرتصادف در نظر گرفته شد. برخی قطعه‌ها بصورت تک سناریو می‌باشند و برخی دیگر بدلیل اینکه دارای رکوردی از تصادفات نیستند و یا فاصله مکانی بین تصادفات آنها بگونه‌ای است که حداقل شرایط پارامتری خوشه‌بندی را دارا نیستند فاقد طول پنجره هستند. نتایج این قسمت شامل طول بهینه تخمین زده شده برای هر قطعه، در جدول ۵ ارایه شده است.

۸-۴ ارزیابی طول بهینه تخمین زده شده

برای طول‌های بهینه تخمین زده شده در هر قطعه با استفاده از شاخص دقت (CV)، SPFهای تخمینی تحت آزمایش قرار می‌گیرند. اگر حداقل در یک حرکت پنجره تا انتهای قطعه، عدد CV براساس رابطه ۳، کمتر یا مساوی عدد ۰/۵ باشد، بدین معناست که SPF پنجره سطح دقت مطلوب را برآورده کرده است و طول بهینه تخمین زده شده مورد تأیید است. اگر هیچ‌یک از SPFهای پنجره در تمام گام‌ها از سطح مطلوب برخوردار نباشد، طول پنجره برآورد شده بهینه نیست و باید طولی که دارای تفاوت میانگین کمتر در بین سایر سناریوهای تعریف شده باشد مدنظر قرار گیرد و این مرحله تکرار شود. این ارزیابی صرفاً برای ۱۴ قطعه‌ای انجام می‌شود که براساس آنالیز واریانس عامل طول پنجره در متفاوت بودن میانگین وزن PSIها موثر تشخیص داده شده است و طول بهینه همان سناریویی شده است که دارای پراکندگی کمتر مقادیر PSI نسبت به میانگین بوده است. بررسی

۶. جمع بندی و نتیجه گیری

نقاط ضعف روش پنجره لغزان به عنوان یکی از روش‌های غربالگری شبکه راه به منظور شناسایی نقاط پرتصادف مشخص و مورد بررسی قرار گرفت: تأثیرگذار بودن میزان طول پنجره و فاصله لغزشی بر نتیجه جستجوی نقاط پرتصادف، امکان وجود طول غیرمفیدی از راه (فاقد تصادف) در انتهای نقطه پرتصادف بدلیل ثابت بودن طول پنجره، انتخاب میزان طول پنجره و طول فاصله لغزشی براساس قضاوت مهندسی و تجارب قبلی و عدم استفاده از روش‌های آماری و علمی.

- چهار پارامتر و متغیر شامل طول بهینه پنجره لغزان، فاصله لغزشی بهینه پنجره، طول نقاط پرتصادف و میزان تصادفات تحت پوشش در الگوریتم بهینه‌سازی روش پنجره لغزان مورد اندازه‌گیری و تخمین قرار گرفت.

- در روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی دی‌بی‌اسکن برای هر قطعه چند سناریوی مختلف از طول پنجره انتخاب شد و پس از توسعه تابع عملکرد ایمنی و محاسبه پتانسیل بهبود ایمنی در هر لغزش پنجره برای همه سناریوهای طول پنجره، طولی که دارای کمترین میزان پراکندگی مقادیر اختلاف نسبت به میانگین است به عنوان طول بهینه پنجره در هر قطعه تعیین گردید بنابراین هر قطعه در امتداد راه دارای طول بهینه متفاوتی از پنجره لغزان است.

جدول ۵. طول‌های بهینه برآورد شده به تفکیک قطعه (متر)

قطعه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
I_{ont} قطعه	۶۷۹	۵۷۹	۴۸۴	-	۵۳۱	۲۲۷	۵۷۲	۲۶۳	۱۰۰	۲۶۵	۲۶۶	-	۳۸۸	-	۱۹۰
قطعه	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
I_{ont} قطعه	۳۰۸	۳۷۶	۲۰۴	۳۰۸	۳۳۷	۷۳۷	۳۷۹	۲۵۰	۳۰۶	۱۳۳	۱۶۱	-	-	-	-
قطعه	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵
I_{ont} قطعه	-	۵۵۹	۳۰۲	۹۱۵	۲۰۳	۴۱۷	۷۶۶	۱۰۰	۱۵۹	۹۱۸	۵۳۵	-	۱۱۳	۲۰۸	۲۵۵
قطعه	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۷	۵۸	۵۹	
I_{ont} قطعه	۱۰۰	۲۴۷	۹۷۹	۲۵۵	۵۱۱	۱۵۳	۵۷۴	۳۳۱	۲۶۴	۴۲۸	۸۲۷	۷۷۸	۳۱۶	۵۶۶	

جدول ۶. نتایج ارزیابی طول‌های بهینه با استفاده از شاخص دقت

قطعه	۱	۲	۳	۱۹	۲۱	۲۲	۲۴
$CV \leq 0.5$	۰/۴۸	۰/۵	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۲۸

بیشترین طول نقطه در کل محور ۸۸۸ متر و کمترین طول برابر ۳۰ متر است. متوسط طول نقطه کاندید در محور ۲۹۰ متر و متوسط تعداد تصادف در هر نقطه ۵/۱۸ است.

۵. بحث

جهت ارزیابی روش پیشنهادی، نتایج حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی روش پنجره لغزان با نتایج این روش با طول پنجره ثابت مقایسه می‌شود. با توجه به بررسی صورت گرفته در پیشینه موضوع [RC SP, 2020] و [Bonera et al., 2022]، برای سه طول ثابت پنجره ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری نقاط پرتصادف شناسایی شد. برای مقایسه نتایج لازم است از KPI مناسبی استفاده شود. بدین منظور دو شاخص شامل متوسط طول نقطه پرتصادف و متوسط تعداد تصادفات هر نقطه محاسبه شد. هرچه نسبت متوسط تعداد تصادفات به متوسط طول نقطه پرتصادف بیشتر باشد به معنای برخورداری بیشتر نقاط شناسایی شده از تراکم تصادف و طول موثر است. نتایج مقایسه شاخص‌های مذکور در جدول ۸ نشان می‌دهد پنجره با طول‌های بهینه پویا در الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با پنجره با طول ثابت در سه میزان مختلف لحاظ شده، با میزان KPI بیشتر دارای عملکرد بهتری است.

شماره لغزش	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲
قطعه	۳۵	۳۸	۴۴	۵۲	۵۵	۵۷	۵۹	
CV≤0.5	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۴۵	۰/۲۵	۰/۳۷	
شماره لغزش	۱	۱	۱۲	۲	۱	۱	۱	

جدول ۷. نتایج شناسایی نقاط کاندید پرتصادف در محور نیشابور-سبزوار با جابجایی پنجره لغزان با طول بهینه در هر قطعه

قطعه ۱		۲					۳					
L _{bs}	۵۵۵	۶۲۷	۶۶۷	۴۶۰	۱۸۴	۴۱۴	۳۹۳	۵۳۹	۵۳۸	۵۵۳	۲۰۲	
N _{acc}	۱۵	۹	۸	۱۳	۳	۸	۴	۵	۵	۹	۴	
قطعه ۳		۴			۵		۶		۷		۸	
L _{bs}	۴۴۵	۴۷۷	۲۰۵	۵۷۲	۲۳۸	۹۲	۲۴۸	۲۴۳	۳۷۵	۳۲۳	۱۷۷	
N _{acc}	۵	۴	۳	۴	۷	۳	۴	۳	۳	۳	۴	
قطعه ۱۸		۱۹					۲۰					
L _{bs}	۱۸۱	۵۸	۱۰۵	۲۳۶	۲۳۱	۴۴	۲۷۵	۲۷۸	۲۲۳	۱۹۲	۳۳۲	
N _{acc}	۴	۳	۵	۶	۴	۳	۴	۳	۳	۸	۳	
قطعه ۲۲		۲۳			۲۴		۲۵		۲۶		۲۷	
L _{bs}	۳۲۹	۲۵۱	۱۵۰	۱۹۸	۷۱	۲۱۸	۲۰۰	۷۷	۹۷	۲۷۵	۱۲۶	
N _{acc}	۵	۳	۴	۵	۳	۳	۳	۳	۴	۱۰	۴	
قطعه ۳۳		۳۴			۳۵		۳۶		۳۷		۳۸	
L _{bs}	۲۷۲	۸۲۷	۱۲۱	۱۱۷	۱۵۸	۱۸۲	۳۷۴	۶۸۹	۳۳	۳۰	۱۴۲	
N _{acc}	۴	۱۸	۷	۴	۳	۶	۳	۸	۳	۵	۴	
قطعه ۴۳		۴۴					۴۵		۴۶		۴۷	
L _{bs}	۱۰۱	۱۰۴	۱۶۰	۱۵۷	۱۵۶	۱۸۸	۴۵	۲۳۲	۵۴	۱۹۰	۱۳۸	
N _{acc}	۳	۳	۶	۵	۴	۴	۴	۳	۳	۶	۳	
قطعه ۴۹		۵۰		۵۱		۵۲		۵۳		۵۴		
L _{bs}	۱۸۳	۱۷۸	۱۹۲	۶۳	۴۸۲	۵۸	۱۰۵	۵۷۰	۴۱۰	۴۸۷	۵۲۲	
N _{acc}	۴	۶	۳	۵	۵	۳	۳	۵	۸	۷	۶	
قطعه ۵۵		۵۶		۵۷		۵۸		۵۹		۶۰		
L _{bs}	۲۴۸	۷۵۸	۷۸۰	۶۹۸	۵۰۹	۶۷۷	۲۲۸	۲۶۹	۵۰۸	۱۵۰		
N _{acc}	۵	۱۰	۳	۱۳	۳	۴	۵	۵	۱۲	۳		

جدول ۸. مقایسه شاخص‌های تراکم تصادف و طول مفید نقاط پرتصادف

KPI (نسبت)	تعداد نقاط		مجموع طول نقاط		مجموع تصادفات		متوسط طول نقطه		متوسط تعداد	
	پرتصادف	تصادف	پرتصادف (km)	تصادف (km)	در نقاط پرتصادف	مجموع تصادفات	پرتصادف (km)	تصادف در هر نقطه	تعداد نقاط	متوسط تعداد
۱ _{ont}	۱۲۲	۱۲۲	۳۶/۳۵	۳۶/۳۵	۶۳۲	۶۳۲	۰/۲۹	۰/۲۹	۵/۱۸	۱۷/۸۶
۳۰۰	۱۳۰	۱۳۰	۳۹	۳۹	۵۷۹	۵۷۹	۰/۳	۰/۳	۴/۴۵	۱۴/۸۳
۵۰۰	۱۲۰	۱۲۰	۶۰	۶۰	۶۳۶	۶۳۶	۰/۵	۰/۵	۵/۳	۱۰/۶
۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۳۱	۷۳۱	۱	۱	۷/۳۱	۷/۳۱

مقادیر اختلاف‌ها نسبت به میانگین است به عنوان طول بهینه پنجره انتخاب شد. در ۱۲ قطعه دیگر اختلاف میانگین PSIها ناشی از عامل خطا تشخیص داده شد و به این معناست که اختلاف معناداری بین سناریوهای طول پنجره وجود ندارد و

نتایج نشان داد ۲۶ قطعه از کل ۵۹ قطعه دارای بیش از یک سناریوی طول پنجره لغزان است. در ۱۴ قطعه از ۲۶ قطعه مذکور، اختلاف میانگین PSI ناشی از عامل طول پنجره لغزان است و طولی از سناریوها که دارای میزان پراکندگی کمتر

6. Safety Performance Function
7. Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise
8. Potential Safety Improvement
9. Analysis of Variance
10. Coefficient of Variation

۸. منابع

- Kwon, O., Park, M., Yeo, H., Chung, K. (2013) "Evaluating the performance of network screening methods for detecting high collision concentration locations on highways", *Accident Analysis & Prevention*, vol. 51, pp. 141-149.
- Green, E. R. (2018) "Segmentation Strategies for Road Safety Analysis", *Theses and Dissertations, Civil Engineering, University of Kentucky*.
- Medury, A., Grembek, O. (2016) "Dynamic programming-based hot spot identification approach for pedestrian crashes", *Accident Analysis & Prevention*, vol. 93, pp. 198-206.
- Elvik, R. (2007) "State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks", *European Commission, National Research Council of Norway, Institute of Transport Economics*.
- Szénási, S. (2016) "Variable sized planar sliding window technique for searching accident hot spots", *16th Sgem Geoconference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing*, 28 June – 7 July, 2016, Bulgaria.
- Qin, X., Wellner, A. (2011) "Development of safety screening tool for high risk rural roads in south dakota", *Civil Laboratory for Operations and Safety Engineering in Transportation, Department of Civil and Environmental Engineering, South Dakota State University*.
- Qaseem Ghadi, M. (2020) "Methods of segmenting and analyzing of road accident

در این حالت میانگین طول سناریوها به عنوان طول نهایی پنجره در نظر گرفته شد.

• در هر قطعه، محل شروع حرکت پنجره با اولین تصادف قطعه است بطوریکه پنجره در طول مسیر تا انتها بر روی موقعیت تصادفات رخ داده جابجا می شود و بنابراین فاصله لغزشی بهینه برابر با فاصله بین تصادفات تشخیص داده شد.

• در ارزیابی میزان طول بهینه، در کلیه قطعه‌ها حداقل در یک حرکت پنجره تا انتها، SPF پنجره سطح دقت مطلوب را برآورده کرده است و بنابراین طول‌های بهینه تخمین زده شده مورد تأیید است.

• با حرکت پنجره با طول‌های پویای بهینه در مجموع تعداد ۱۲۲ نقطه کاندید پر تصادف با طول کل (km) ۳۶۳۵ شناسایی گردید. نتایج حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی روش پنجره لغزان با نتایج بکارگیری این روش با طول پنجره ثابت (پنجره ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری) مقایسه شد و مشخص شد که نقاط شناسایی شده با استفاده از پنجره با طول‌های بهینه پویا در الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با نقاط بدست آمده از طریق پنجره با طول ثابت، از تراکم تصادف و طول مفید بیشتری برخوردار است.

• اگرچه در این مطالعه قطعه بندی راه براساس معیار دستیابی به قطعات هموزن از لحاظ پارامترهای ترافیک، دسترسی و تصادفات صورت گرفته است اما پیشنهاد می شود در مطالعات آتی پارامترهای دیگر نظیر نوع کاربری، قوس و شانه راه در نظر گرفته شود. همچنین می توان با تغییراتی در روش ارایه شده، تعیین قطعات برای تخمین طول بهینه پنجره لغزان مبتنی بر خوشه بندی تصادفات رخ داده باشد.

۷. پی نوشت‌ها

1. Sliding Window
2. Peak Searching
3. Continuous Risk Profile
4. Spatial Clustering
5. Empirical Bayes

Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.

- Hassan El Bahi, H., Zatni, A. (2018) "Document text detection in video frames acquired by a smartphone based on line segment detector and DBSCAN clustering", Journal of Engineering Science and Technology 13(2).

- Deng, D. (2020) "DBSCAN clustering algorithm based on density", 7th International Forum on Electrical Engineering and Automation (IFEEA), Sichuan University Nationalities, Kangding, Sichuan, China.

- Farid, A., Abdel-Aty, M., Lee, J. (2019) "Comparative analysis of multiple techniques for developing and transferring safety performance functions", Accident Analysis & Prevention, vol. 122, pp. 85-98.

- Lord, D., Mannering, F. (2010) "The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives", Transportation. Research Part A: Policy and Practice. Vol. 44(5), pp. 291-305.

- Farid, A., Abdel-Aty, M., Lee, J. (2018) "Transferring and calibrating safety performance functions among multiple states", Accident Analysis & Prevention, vol. 117, pp. 276-287.

- Srinivasan, R., Bauer, K. (2013) "Safety performance function development guide: developing jurisdiction specific SPFs", The University of North Carolina Highway Safety Research Center, FHWA-SA-14-005.

- Ghadi, M., Török, Á. (2019) "Comparison of different road segmentation methods", Promet Traffic Transport (in press).

- Fisher, R.A. (1992) "Statistical methods for research workers", In: Kotz, S., Johnson, N.L., Breakthroughs in Statistics, Springer Series in Statistics, Springer, New York, NY.

data", A dissertation for the degree of doctor of philosophy, Supervisor: Dr. Torok, Á., Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering.

- Lee, J., Chung, K., Papakonstantinou, I., Kang, S., Kim, D. (2020) "An optimal network screening method of hotspot identification for highway crashes with dynamic site length.", Accident Analysis & Prevention, vol. 135, 105358.

- Zhang, D., Peijie, W., Xianghai, M. (2018) "The optimal sliding window length and increment length for identifying hazardous road segments", Transportation Research Board 97th Annual Meeting, 7-11 January 2018.

- Ghadi, M., Török, Á. (2019) "A comparative analysis of black spot identification methods and road accident segmentation methods", Accident Analysis & Prevention, vol. 128, pp. 1-7.

- AASHTO, (2010) "Highway safety manual 1st edition" American Association of State Highway and Transportation Officials.

- Kolody, K., Perez-Bravo, D., Zhao, J., Neuman, T.R (2014) "Highway safety Manual user guide", National Cooperative Highway Research Program, Federal Highway Administration (FHWA).

Bonera, M., Barabino, B., Maternini, G. (2022) "A Straightforward Framework for Road Network Screening to Lombardy Region" Sustainability, 14, 12424 <https://doi.org/10.3390/su141912424>

- Ester, M., Kriegel, H., Sander, J., Xu, X. (1996) "A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise", KDD'96: Proceedings of the

توسعه مدل تخمین طول بهینه پنجره لغزان برای غربالگری شبکه راههای برون شهری

- RC SP. (2020) “Guidelines for identifying and treating black spots”, Incorporating the comments of HSS Committee, (for the considerations of Council), India

- Fu, X., Liu, J., Jones, S., Barnett, T., Khattak, A. (2022) “From the past to the future: Modeling the temporal instability of safety performance functions”, Accident Analysis & Prevention, Volume 167, March 2022, 106592.

نصیر برادران رحمانیان، شاهین شعبانی، جلال ایوبی نژاد

نصیر برادران رحمانیان درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری را در سال ۱۳۸۴ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در حال حاضر، دانشجوی مقطع دکتری رشته مهندسی عمران- راه و ترابری در دانشگاه پیام نور تهران است. زمینه های پژوهشی موردعلاقه ایشان مدل سازی پیش بینی تصادفات و الگوریتمهای محاسباتی مرتبط با شناسایی نقاط پرتصادف راهها می باشد.



شاهین شعبانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری را به ترتیب در سالهای ۱۳۷۵ و ۱۳۷۸ از دانشگاه فردوسی مشهد و دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. ایشان در سال ۱۳۸۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. اکنون نیز بعنوان عضو هیأت علمی در گروه مهندسی عمران دانشگاه پیام نور، مشغول تدریس و پژوهش می باشد. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی ترافیک، مدیریت نگهداری و ترمیم راه و روسازی راه است. ایشان در حال حاضر عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور تهران می باشد.



جلال ایوبی نژاد، دانش آموخته رشته عمران در مقطع لیسانس در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه آزاد اسلامی مشهد است. در سال ۱۳۸۴، درجه کارشناسی ارشد خود را در رشته عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت از دانشگاه علم و صنعت دریافت نموده و نهایتاً در سال ۱۳۹۴، موفق به اخذ مدرک دکتری خود در گرایش راه و ترابری از دانشگاه علم و صنعت گردیده است. اکنون نیز بعنوان عضو هیأت علمی در گروه مهندسی عمران دانشگاه پیام نور، مشغول تدریس و پژوهش می باشد. زمینه های تخصصی و مورد علاقه وی نیز مدیریت روسازی، مدل سازی فرآیندها و الگوریتم های بهینه سازی و پیش بینی است.

