

مکان‌یابی مناطق بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای در محورهای ترانزیتی

استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل ANP

مقاله علمی - پژوهشی

محمدرضا آقاپوری، دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، واحد مرند، دانشگاه آزاداسلامی، مرند، ایران

خلیل ولیزاده کامران*، استاد، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

علی اکبر رسولی، استاد، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

داود مختاری، استاد، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: valizadeh@tabrizu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

صفحه ۲۷۶-۲۶۱

چکیده

شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای به علت وسعت جغرافیایی و تنوع عملکردی با مجموعه گسترده‌ای از حوادث طبیعی و انسانی روبه‌روست. حوادث جاده‌ای علاوه بر تحمیل آسیب‌های مستقیم بر شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای، آسیب‌های غیرمستقیمی بر کاربران این شبکه‌ها و حتی کل جامعه می‌زند. در این تحقیق، نقاط بالقوه حوادث جاده‌ای در سطح جاده‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی مکان‌یابی شده است. نوآوری این پژوهش استفاده از مدل ANP در تحلیل نقاط حادثه‌خیز با مقایسه همه معیارها و زیرمعیارهای آن است که موجب ارزیابی و وزن‌دهی دقیق آن می‌شود. مدل حاضر چهار معیار اصلی دارد: عوامل اقلیم؛ محیطی؛ توپوگرافی و جاده‌ای. علاوه بر چهار معیار یادشده، چهارده زیرمعیار نیز در این پژوهش بررسی شده است. پس از محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها و تلفیق آن‌ها با لایه‌های معیار، نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای تهیه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد معیار عوامل جاده‌ای بیشترین اهمیت در وقوع حوادث جاده‌ای را دارد و زیرمعیار نقاط پرتصادف نیز بیشترین اهمیت را دارد. همچنین معیار عوامل اقلیمی وزن ۰/۱۷۲، عوامل محیطی وزن ۰/۰۱۹، عوامل توپوگرافی ۰/۱۳۴ و عوامل جاده‌ای وزن ۰/۶۷۵ را داشت. مسیر کشکسرای-مرند خطرناک‌ترین مسیر از نظر احتمال وقوع حوادث جاده‌ای است. مسیر مرند-صوفیان نیز در رتبه بعدی خطرناک‌ترین مسیرها از لحاظ احتمال وقوع حوادث جاده‌ای است و پس از آن مسیر صوفیان-شبه‌ستر در رتبه بعدی قرار دارد. در میان راه‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی مسیر جلفا-نوردوز کم‌خطرترین مسیر از نظر احتمال وقوع حوادث جاده‌ای و پس از آن به ترتیب مسیرهای سراب-بستان‌آباد و آزادراه تبریز-زنجان قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان شرقی، حوادث جاده‌ای، محورهای ترانزیتی، مدل ANP

۱- مقدمه

تعاریفی مانند موقعیت‌های خطرناک، راه-مکان‌هایی با ریسک بالا، موقعیت‌های سانحه‌پذیر (۱)، مکان‌های نیازمند بهسازی شناخته می‌شوند (Montella, 2010). براساس تعاریف ارائه شده در مراجع حمل‌ونقلی دنیا، «بحران» حادثه‌ای ناگهانی

تاکنون تعاریف زیادی از نقاط حادثه‌خیز ارائه شده است، اما پژوهش‌های انجام شده تأکید کرده‌اند که هیچ تعریف پذیرفته شده جامعی از آنچه به عنوان «خطرناک» یاد می‌شود، وجود ندارد (Geurts et al, 2006). نقاط حادثه‌خیز گاهی با

افزایش مصرف سوخت، آلودگی ناشی از انسداد مسیر، تغییر الگوی سفر، کاهش سطح خدمت‌دهی محورهای جایگزین، رانندگی‌های شتاب‌زده، افزایش احتمال وقوع تصادفات ترافیکی و کاهش قابلیت اطمینان تردد در مسیرهای پرمخاطره (آیتی، ۱۳۸۷). برای شناختن مناطق پرخاطر جاده‌ای باید وضعیت خطر را کمی کرد. ساده‌ترین روش برای این کار استفاده از فراوانی حوادث است. روش دیگر برای شناسایی مناطق پرخاطر استفاده از مدل‌های آماری و تصمیم‌گیری است. با استفاده از این مدل‌ها مکان رتبه‌بندی براساس پتانسیل کاهش خطر و یافتن نقاط دارای بیشترین احتمال خطر ممکن می‌شود (Van Raemdonck et al, 2013). موقعیت جغرافیایی استان آذربایجان شرقی و فرسودگی زیرساخت‌های حمل‌ونقل در این استان موجب افزایش روزافزون آسیب‌ها و هزینه‌های ناشی از وقوع حوادث در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای این استان شده است. در پژوهش حاضر مناطق بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای در محورهای ترانزیتی استان آذربایجان شرقی با استفاده مدل ANP مکان‌یابی شده است.

همراه با آسیب‌های فزاینده مالی، جانی و روحی-روانی است که در شبکه حمل‌ونقلی و یا در مراکز جمعیتی منتهی به آن رخ می‌دهد و به علت نقص عملکرد شبکه در حفظ پایداری خطوط ارتباطی گسترش می‌یابد و از این رو نیازمند اقدامات اضطراری برای پیشگیری، مقابله، بازسازی و بازیابی آن است (شریعت‌مهینی، ۱۳۸۵). شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای به دلیل وسعت جغرافیایی و تنوع عملکردی خود با مجموعه گسترده‌ای از حوادث طبیعی و انسانی مواجه است. عوامل طبیعی مؤثر در حوادث جاده‌ای عبارت‌اند از سیل، زلزله، زمین‌لغزش، جریان توده خاک، ریزش کوه، سقوط بهمن، توفان شن، کولاک برف، ریزش برف شدید، یخبندان. عوامل انسانی مؤثر در حوادث جاده‌ای نیز عبارت‌اند از تصادفات رانندگی، انفجار خطوط گازرسانی، حوادث ناشی از اشتباهات انسانی در مراحل طرح، اجرا و یا بهره‌برداری از جاده‌ها، حوادث داخل تونل‌ها و... (شعبانی و ارجودی، ۱۳۸۶). وقوع مخاطرات علاوه بر تحمیل آسیب‌های مستقیم بر شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای، آسیب‌های غیرمستقیمی بر کاربران این شبکه‌ها و حتی کل جامعه وارد می‌کند. آسیب‌هایی مانند تأخیر و طولانی شدن زمان سفر،

۲- پیشینه تحقیق

ناحیه ۳،۲،۱ منطقه ۲۱ تهران انجام شد. براساس نتایج به دست آمده ناحیه ۲ بیشترین پایداری را در شبکه حمل‌ونقل داشت و پس از آن نیز نواحی ۱ و ۳ قرار داشتند (توکلی و صابری، ۱۳۹۵). مومنی‌مژده و همکاران در مقاله خود روشی برای شناسایی و اولویت‌بندی نقاط مستعد مخاطرات در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای استان اصفهان ارائه دادند. آن‌ها ابتدا با استفاده از همپوشانی نقشه‌های مخاطرات و شبکه راه‌ها، نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای را مشخص کردند، سپس با محاسبه منافع و هزینه‌های ریالی ایمن‌سازی نقاط مستعد مخاطره، شاخص منفعت را به صورت نسبت ریالی منافع ایمن‌سازی به هزینه‌های آن در هر نقطه تعریف کردند. نتایج این تحقیق نشان داد ۶۲/۶ درصد خسارات وارد بر شبکه راه‌های استان اصفهان مربوط به وقوع مخاطرات طبیعی و ۳۷/۴ درصد آن مربوط به وقوع مخاطرات انسانی (تصادفات جاده‌ای) است. به لحاظ خسارات ناشی از وقوع مخاطرات، شهرستان‌های کاشان، شهرضا، شاهین‌شهر و میمه به ترتیب پرمخاطره‌ترین شهرستان‌های استان اصفهان هستند (مومنی‌مژده، ۱۳۹۵).

صادقی و همکاران طی پژوهشی به شناسایی و اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز در استان خراسان رضوی پرداختند. آن‌ها بدین منظور از رویکرد قطعه‌بندی مسیر و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) استفاده کرده‌اند. در این رویکرد تصمیم‌گیری در مورد وضعیت ایمنی راه به جای یک نقطه، برای طولی از راه با خصوصیات مشخص انجام می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در منطقه مورد مطالعه، ۱۵۴ قطعه راه با امتیازات خطر نسبی متفاوت وجود دارند. بر این اساس کیلومتر ۸۵ تا ۸۶ محور کلات-مشهد پرمخاطره‌ترین قطعه در میان راه‌های منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود (صادقی و همکاران، ۱۳۹۰). توکلی و صابری به ارزیابی پایداری شبکه حمل‌ونقل شهری در منطقه ۲۱ تهران با استفاده از مدل ANP پرداختند. معیارهای مورد نظر این پژوهش برای بررسی پایداری شبکه حمل‌ونقل به چهار گروه اصلی تقسیم شدند. این موارد شامل حمل‌ونقل و ترافیک، کالبدی، اجتماعی و زیست‌محیطی بودند و هر یک از این معیارها زیرمعیارهایی داشتند. در این پژوهش از ۱۸ زیرمعیار استفاده شد. همچنین مطالعه بر اساس سه گزینه یعنی

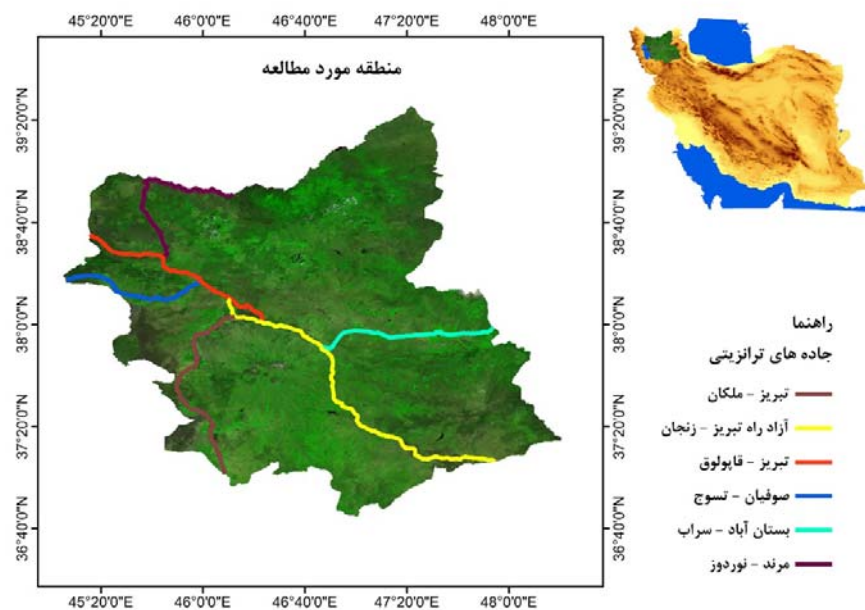
استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. آن‌ها بدین منظور از تحلیل نقاط داغ (۲) استفاده کرده‌اند. حجم ترافیک و میزان وقوع تصادفات از داده‌های اصلی است که در این تحقیق استفاده شده است. بر این اساس و با استفاده از تحلیل‌های مکانی، تراکم و میزان وقوع تصادفات در بزرگراه‌های شهر افیون کشور ترکیه بررسی شدند. محققین بر این اساس نتیجه گرفتند که تحلیل‌های مکانی مبتنی بر GIS روش مناسبی برای تحلیل تصادفات جاده‌ای است (Erdogan et al, 2008). آمبروس و همکاران به مکان‌یابی محل‌های پر مخاطره جاده‌ای در راه‌های جنوبی شهر موراویا در جمهوری چک پرداختند. هدف آن‌ها از انجام این تحقیق مقایسه سه روش مختلف در ارزیابی مخاطرات جاده‌ای است. روش اول مبتنی بر اصول سنتی و مبتنی بر میزان وقوع تصادفات در نقاط مختلف جاده‌ای است. روش دوم بر اساس روش تجربی بیز و پیش‌بینی وقوع تصادفات و در نهایت روش سوم مبتنی بر مکان‌یابی بر اساس عوامل ایجاد خطر است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد روش سنتی کمترین میزان دقت و روش سوم بیشترین دقت را برای برآورد مخاطرات جاده‌ای دارد (Ambros et al, 2016). لیبواک و همکاران به تجزیه و تحلیل تطبیقی مکان‌های پر مخاطره در جاده‌های کشور صربستان پرداختند. آن‌ها بدین منظور از روش تحلیلی نقطه سیاه (۳) استفاده کردند. در این راستا ابتدا داده‌های توصیفی و مکانی مورد نیاز جمع‌آوری شد و در مرحله بعد تجزیه و تحلیل شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد معمولاً مقاطع یک کیلومتری از مبادی شهری مناطق پر مخاطره تری هستند (Lipovac et al, 2016). چارلتون و استارکی به تحلیل مخاطرات جاده‌های روستایی منتهی به بزرگراه‌ها پرداخته‌اند. محققین در این تحقیق از ۵۰ راننده استفاده کردند و تأثیر شرایط مختلف جاده‌ای را بر روی رفتار رانندگان و وقوع حوادث تحلیل کردند. آن‌ها تأکید کردند که رفتار رانندگان در این خصوص بسیار اهمیت دارد و معتقدند علائم موجود در راه‌ها نقش زیادی در کنترل سرعت رانندگان و در نتیجه کاهش مخاطرات جاده‌ای دارد (Charlton and Starkey, 2018).

افندی‌زاده و همکاران به شناسایی مکان‌های پرتصادف جاده‌ای با استفاده از روش تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله مراتبی (AHP/DEA) پرداختند. به این منظور از ۵۱ قطعه راه دوطرفه برون‌شهری استفاده شده است. محققین، نتایج حاصل از این پژوهش را با نتایج سایر روش‌های شناسایی مکان‌های پرتصادف، به‌ویژه روش DEA که قبلاً به کار گرفته شده است، مقایسه کردند. این مقایسه علاوه بر تأیید صحت نتایج حاصل از متدولوژی به کار رفته در این مطالعه، قدرت روش AHP/DEA در شناسایی مکان‌های پرتصادف را نشان می‌دهد (افندی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). نظم‌فر و همکاران به تحلیل پراکنش تصادفات جاده‌ای منجر به فوت در استان اردبیل با رویکرد اقلیمی پرداختند. آن‌ها بدین منظور از معیارهای مختلفی مانند یخبندان، رطوبت و دما استفاده کردند. برای تحلیل داده‌ها نیز از روش درون‌یابی کریجینگ و همستگی پیرسونی استفاده شد. این تحلیل‌ها در فصول مختلف سال و در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ انجام شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد از ۷۶۲ مورد تصادف، ۳۵ درصد در فصل تابستان، ۲۵/۷۵ درصد در فصل بهار، ۲۴/۵۵ درصد در فصل پاییز و ۱۴/۷ درصد در فصل زمستان اتفاق افتاده است. همچنین تصادفات جاده‌ای در ماه‌های یخبندان به دلیل کاهش تردد وسایل نقلیه نسبت به ماه‌های غیر یخبندان کمتر است. بیشترین تصادفات از نظر رطوبت با میزان رطوبت ۶۹-۷۲ درصد و از لحاظ دما، در دمای حداقل ۸ و حداکثر ۱۶ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده است (نظم‌فر و همکاران، ۱۳۹۶). استینبرگن و همکاران به مکان‌یابی حوادث جاده‌ای درون‌شهری در شهر میشلن بلژیک با استفاده از GIS پرداختند. آن‌ها بدین منظور از تکنیک خوشه‌بندی و تحلیل شبکه در محیط GIS استفاده کرده‌اند. داده‌های ترافیکی از جمله داده‌های اصلی است که در این تحقیق استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد حجم ترافیک از جمله عوامل اصلی در وقوع تصادفات درون‌شهری است و با کنترل حجم ترافیک می‌توان میزان حوادث درون‌شهری را کنترل کرد (Steenberghen et al, 2004). اردوغان و همکاران به تجزیه و تحلیل تصادفات ترافیکی با

۳- منطقه مورد مطالعه

جاده‌های ترانزیتی مختلفی است که بار و مسافر را از این استان به کشورها و استان‌های همجوار انتقال می‌دهد. شش راه ترانزیتی مختلف از این استان عبور می‌کند. این راه‌ها عبارت‌اند از ۱. آزادراه تبریز-زنجان (تا انتهای حوزه استحفاظی) ۲. تبریز-قاپولوق (تا انتهای حوزه استحفاظی) ۳. بستان آباد-سراب (تا انتهای حوزه استحفاظی) ۴. صوفیان-تسوج (تا انتهای حوزه استحفاظی) ۵. تبریز-ملکان (تا انتهای حوزه استحفاظی) ۶. مرند-نوردوز (تا انتهای حوزه استحفاظی) از این‌رو این استان از مهم‌ترین استان‌های ترانزیتی کشور محسوب می‌شود.

استان آذربایجان شرقی بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین استان ناحیه شمال غربی ایران است. مساحت این استان ۴۵ هزار و ۸۰۰ کیلومترمربع است و بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ هجری شمسی سه میلیون و ۹۰۹ هزار و ۶۵۲ نفر جمعیت دارد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). این استان از لحاظ جغرافیایی در مختصات $39^{\circ} 23' 52''$ الی $45^{\circ} 55' 55''$ عرض شمالی و $48^{\circ} 26' 45''$ الی $45^{\circ} 5' 23''$ طول شرقی قرار دارد. استان آذربایجان شرقی از سمت شمال با جمهوری آذربایجان و ارمنستان، از سمت غرب و جنوب غرب با استان آذربایجان غربی، از سمت شرق به استان اردبیل، و از سمت جنوب شرق با استان زنجان هم‌مرز است. این استان محل عبور



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

۴- داده‌ها و روش تحقیق

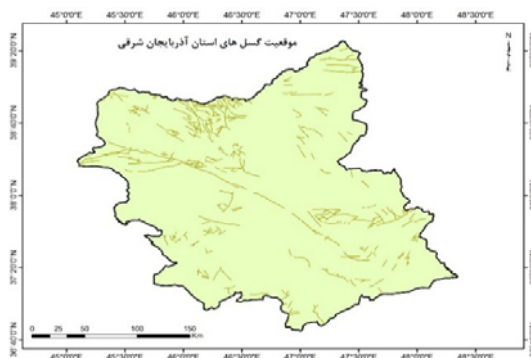
دما از تصاویر ماهواره‌ای MODIS استفاده شده است. داده‌های بارش نیز از ماهواره TRMM اخذ شده است و برای تهیه نقشه سرعت باد از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده است و با روش درون‌یابی کریجینگ (۴) نقشه سرعت باد ترسیم شده است. عوامل محیطی شامل رود و گسل است که داده‌های آن به صورت وکتور (۵) از سازمان

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از منابع مختلف جمع‌آوری شده است و شامل داده‌های مکانی و توصیفی مختلفی است. داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی در چهار دسته کلی تقسیم‌بندی شده‌اند و شامل عوامل اقلیمی، عوامل محیطی، عوامل توپوگرافی و عوامل جاده‌ای هستند. عوامل اقلیمی شامل دما، سرعت باد و بارش است. برای تهیه داده‌های

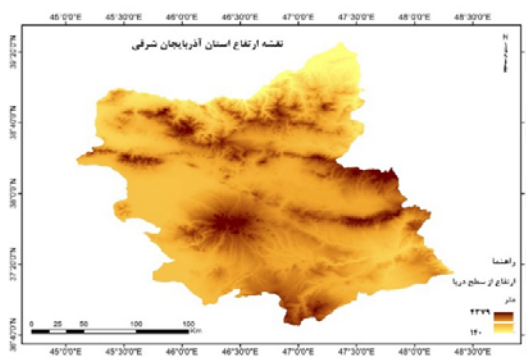
نرم افزار Super Decision برای انجام مدل ANP استفاده شده است.

برای انجام مراحل تحقیق ابتدا داده های ماهواره ای از سایت ناسا به آدرس <https://search.earthdata.nasa.gov> اخذ شد. در ادامه داده های ماهواره ای وارد محیط نرم افزار ENVI 5.3 شد و نقشه دما با استفاده از افزونه MODIS Conversion Toolkit و نقشه بارش با استفاده از تابع View HDF Dataset Attributes تهیه شدند. سایر معیارهای مورد استفاده نیز به فرمت وکتور تبدیل و وارد پایگاه داده نرم افزار ArcGIS 10.5 شدند تا در ادامه برای انجام مدل ANP آماده شوند. در ادامه برخی از این معیارها آمده است.

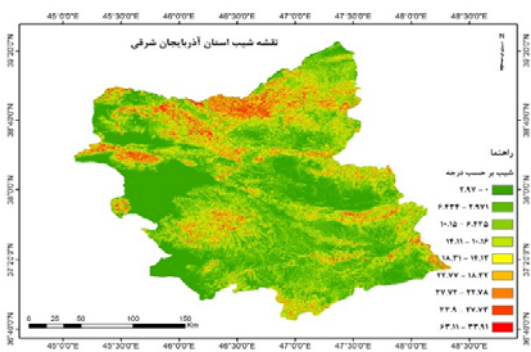
زمین شناسی اخذ شده است. عوامل توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب و لیتولوژی است. پس از تهیه مدل رقومی ارتفاع (۶) از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا (۷) نقشه های مربوط به شیب و جهت شیب با استفاده از توابع Slope و Aspect در محیط نرم افزار ArcGIS 10.5 تهیه شدند و داده مربوط به لیتولوژی نیز از سازمان زمین شناسی اخذ شد. عوامل جاده ای شامل کیفیت آسفالت جاده، نقاط پرتصادف، حجم ترافیک، موقعیت تونل ها و میانگین سرعت رانندگی بود. این داده ها نیز از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای استان آذربایجان شرقی به دست آمد. همچنین در این تحقیق از نرم افزار ArcGIS 10.5 برای انجام تحلیل های مکانی، نرم افزار ENVI 5.3 برای پردازش تصاویر ماهواره ای و



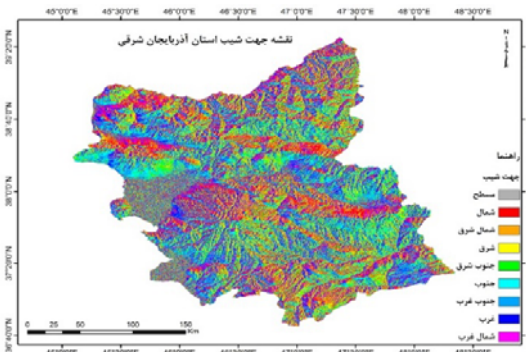
شکل ۳. نقشه موقعیت گسل های استان آذربایجان شرقی



شکل ۲. نقشه ارتفاع استان آذربایجان شرقی

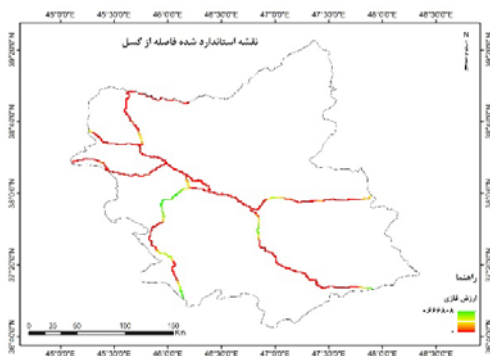


شکل ۵. نقشه شیب استان آذربایجان شرقی

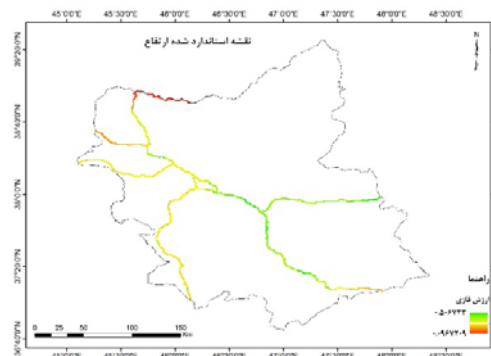


شکل ۴. نقشه جهت شیب استان آذربایجان شرقی

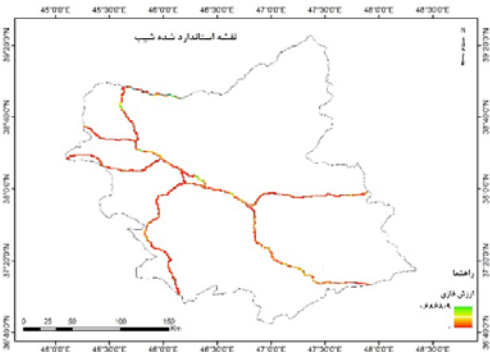
فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و یکم، دوره اول، شماره ۷۸، بهار ۱۴۰۳



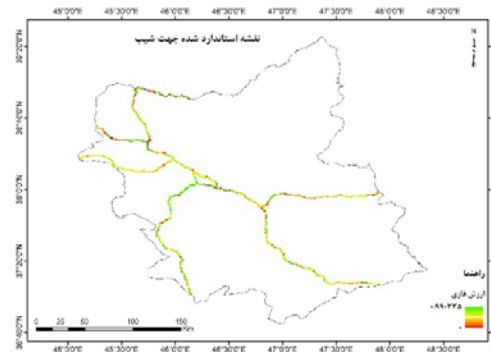
شکل ۱۱. نقشه استاندارد شده فاصله از گسل



شکل ۱۰. نقشه استاندارد شده ارتفاع



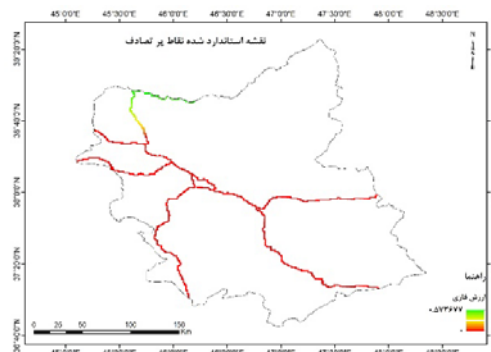
شکل ۱۳. نقشه استاندارد شده شیب



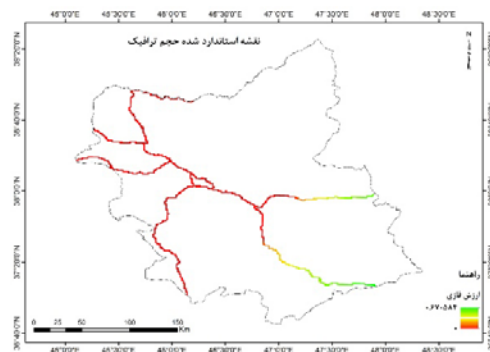
شکل ۱۲. نقشه استاندارد شده جهت شیب



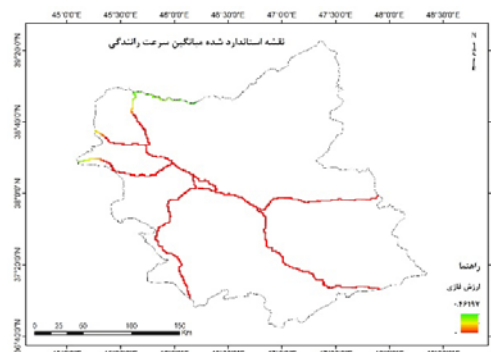
شکل ۱۵. نقشه استاندارد شده کیفیت آسفالت جاده



شکل ۱۴. نقشه استاندارد شده نقاط پر تصادف



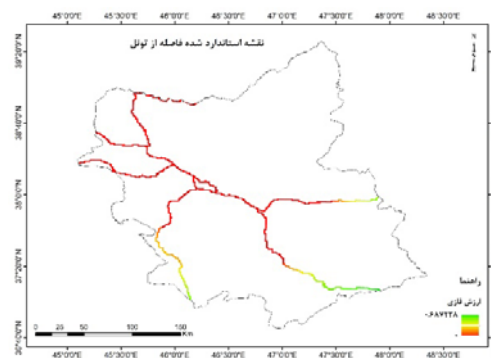
شکل ۱۷. نقشه استاندارد شده حجم ترافیک



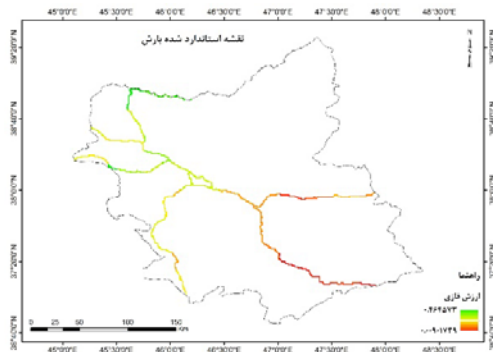
شکل ۱۶. نقشه استاندارد شده میانگین سرعت رانندگی



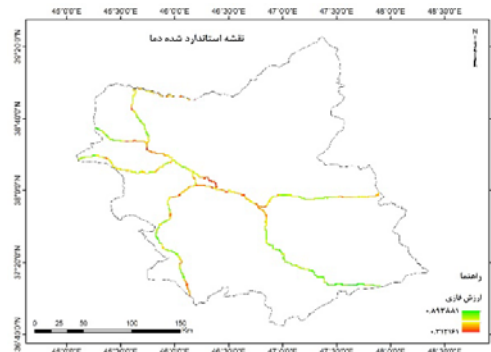
شکل ۱۷. نقشه استاندارد شده سرعت پاد



شکل ۱۸. نقشه استاندارد شده فاصله از توپل



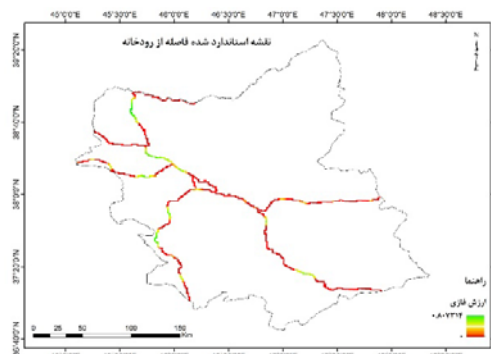
شکل ۱۹. نقشه استاندارد شده بارش



شکل ۲۰. نقشه استاندارد شده دما



شکل ۲۱. نقشه استاندارد شده بارش



شکل ۲۲. نقشه استاندارد شده فاصله از رودخانه

شناسایی شدند (عطائی، ۱۳۹۵). این معیارها توسط مدیران ارشد و تصمیم‌گیران اصلی و یا کادر متخصصی که بر کل سیستم آگاهی کافی دارند، تعیین شدند. بعد از اینکه عناصر شبکه مشخص شدند، آن‌ها باید به یکدیگر متصل شوند. این اتصال بر اساس نوع ارتباط بر عناصر داخلی آن‌ها انجام می‌پذیرد (Ertay et al, 2006).

تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه بردارهای وزن: ماتریس مقایسه زوجی بر اساس تأثیر معیارها و

سپس بین کارشناسان مربوط به حمل‌ونقل پرسش‌نامه توزیع شد و با استفاده از نتایج حاصل از پرسش‌نامه در مدل ANP وزن معیارها و زیرمعیارها محاسبه شد. مراحل زیر برای محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها با مدل ANP انجام شد. ساخت مدل و پیکربندی مسأله: در مرحله اول مسأله به روشنی تعریف شد و سپس اجزای آن در ساختاری منطقی و منظم، به صورت شبکه‌ای با ارتباط‌های منطقی، تقسیم‌بندی شد. در این مرحله معیارهایی که در تصمیم‌گیری نهایی مؤثرند،

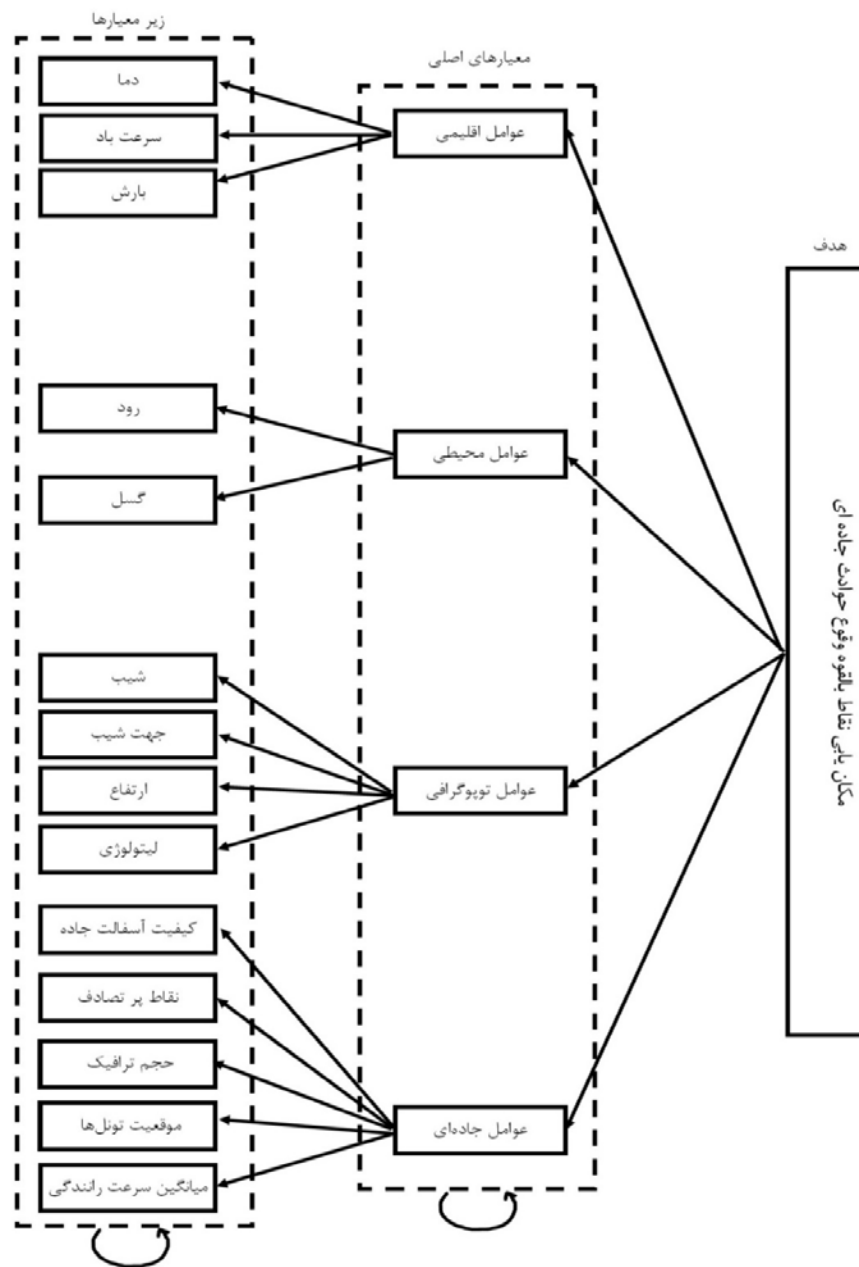
ماتریس وزن‌دار شده به یک عدد بزرگ حاصل می‌شود (عطائی، ۱۳۹۵).

نرمال کردن وزن‌های به‌دست آمده با در نظر گرفتن هر خوشه: به‌منظور اعتبارسنجی نتایج به‌دست آمده از ماتریس‌های تصمیم‌گیری اقدام به محاسبه نرخ سازگاری (۱۰) شد. نرخ سازگاری معیاری برای میزان مطلوبیت مقایسه‌های زوجی و اعتبارسنجی نتایج حاصل از ماتریس مقایسات زوجی است و در حالت مطلوب مقدار آن کمتر از ۰/۱ است. در ادامه به‌منظور همپوشانی لایه‌های استاندارد شده معیارهای مورد نظر، از روش همپوشانی فازی و عملگر گاما در محیط GIS استفاده شد و لایه‌ها و وزن‌های به‌دست آمده با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای به‌دست آمد. سپس با استخراج پیکسل‌های مربوط به راه‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی در نقشه نهایی حاصل از مدل ANP وضعیت راه‌های استان از نظر وقوع حوادث جاده‌ای بررسی شد.

زیرمعیارها، با در نظر گرفتن سطوح بالاتر شبکه و ارتباطات داخلی تشکیل می‌شود تا بتوان به کمک آن‌ها وزن عناصر را به‌دست آورد. این وزن‌ها بر اساس تعریف توماس ساعتی از ۱ (اهمیت یکسان) تا ۹ (اهمیت مطلق) تغییر می‌کند (عطائی، ۱۳۹۵). با توجه به وجود وابستگی درونی، عناصر یک خوشه نیز باید مقایسه دویه‌دو شوند (زبردست، ۱۳۸۹). بر این اساس در این مرحله ۲۳ ماتریس مقایسه زوجی تشکیل و بین متخصصین حمل‌ونقل توزیع شد تا با توجه به آن در مراحل بعد وزن معیارها و زیرمعیارها محاسبه شود.

-تشکیل سوپر ماتریس: سوپر ماتریس، ماتریسی از روابط بین اجزای شبکه است که از بردارهای اولویت این روابط به‌دست می‌آید. این ماتریس چارچوبی برای مشخص کردن اهمیت نسبی گزینه‌ها پس از انجام مقایسه‌های زوجی در اختیار محققین قرار می‌دهد (مکانیکی و صادقی، ۱۳۹۱).

-محاسبه توزیع ماندار سوپر ماتریس وزن‌دار شده: این امر مشابه با فرآیند زنجیره مارکوف با به توان رساندن سوپر



شکل ۲۴. مدل طراحی شده برای مسأله مکان‌یابی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای

نتایج

در زمینه میزان اهمیت هر یک از معیارها و زیر معیارها بیان کردند. سپس با استفاده از مدل ANP در محیط نرم‌افزار Super Decisions وزن هر یک از معیارها و زیر معیارها در هر یک از پرسشنامه‌های متخصصان محاسبه گردید (به دلیل تعداد زیاد محاسبات و ماتریس‌های مربوطه، از ارائه همه آن‌ها خودداری می‌شود و فقط به نتایج نهایی اشاره می‌شود) (جدول

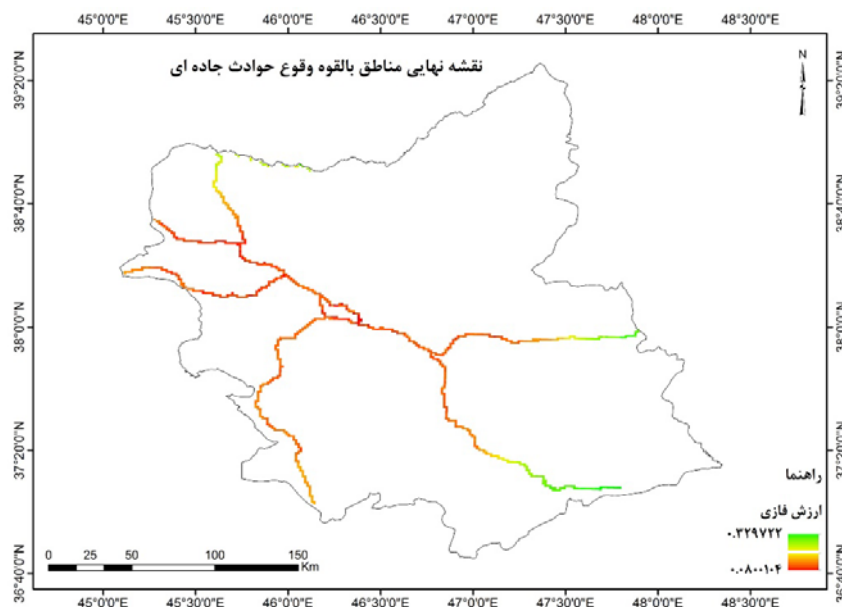
پس از تشکیل شبکه مسأله مورد بررسی و تعیین وابستگی‌های بیرونی و داخلی معیارها (۲۴) با استفاده از قضاوت‌های ترجیحی کارشناسان وزن لایه‌های مؤثر بر مکان‌یابی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای تعیین گردید. به این صورت که پرسشنامه‌هایی (۳۰ پرسشنامه) بین کارشناسان مربوطه توزیع شد و کارشناسان قضاوت‌های ترجیحی خود را

بر اساس نتایج به‌دست آمده، مسیر کشکسرای - مرند خطرناک‌ترین مسیر از لحاظ احتمال وقوع حوادث جاده‌ای است. مسیر مرند - صوفیان نیز در رتبه بعدی خطرناک‌ترین مسیرها از لحاظ احتمال وقوع حوادث جاده‌ای قرار دارد و پس از آن مسیر صوفیان - شبستر قرار دارد. مسیرهای بعدی نیز از این حیث به ترتیب در جدول شماره ۲ نشان داده شده است و بر اساس آن مسیر جلفا-نوردوز کم خطرترین مسیر از لحاظ احتمال وقوع حوادث جاده‌ای در میان راه‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی محسوب می‌شود؛ و پس از آن به ترتیب مسیرهای سراب-بستان‌آباد و آزاد راه تبریز-زنجان قرار دارند.

۱). پس از وزن‌دهی لایه‌های موجود، نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای تهیه گردید (شکل ۲۵) بر اساس نتایج به‌دست آمده مناطق بسیار پرخطر بیشترین مناطق را در پهنه استان آذربایجان شرقی به خود اختصاص داده است و پس از آن مناطق پرخطر، متوسط، کم‌خطر و بسیار کم‌خطر قرار دارند. در ادامه با استفاده از تابع Extract Value to Points در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 پیکسل‌های مربوط به جاده‌های ترانزیتی استان استخراج گردیده و بر اساس اعداد میانگین به‌دست آمده در دو مسیر رفت و برگشت در قطعات مختلف جاده‌های ترانزیتی، جاده‌های ترانزیتی استان از لحاظ پتانسیل وقوع حوادث جاده‌ای رتبه‌بندی گردیدند (جدول ۲) و راه‌های ترانزیتی استان از این لحاظ بررسی گردیدند.

جدول ۱. وزن نهایی معیارها و زیر معیارهای مورد استفاده در این تحقیق

وزن	زیر معیار	وزن	معیار
۰/۰۴۲	دما	۰/۱۷۲	عوامل اقلیمی
۰/۰۶	سرعت باد		
۰/۰۷	بارش		
۰/۰۱	رود	۰/۰۱۹	عوامل محیطی
۰/۰۰۹	گسل		
۰/۰۹	شیب	۰/۱۳۴	عوامل توپوگرافی
۰/۰۰۸	جهت شیب		
۰/۰۰۶	ارتفاع		
۰/۰۳	لیتولوژی		
۰/۱۵	کیفیت آسفالت جاده	۰/۶۷۵	عوامل جاده‌ای
۰/۱۷	نقاط پر تصادف		
۰/۱۴	حجم ترافیک		
۰/۱۰۵	موقعیت تونل‌ها		
۰/۱۱	میانگین سرعت رانندگی		
نرخ سازگاری: ۰/۰۷			



شکل ۲۵. نقشه نهایی مناطق بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای

جدول ۲. رتبه‌بندی راه‌های استان آذربایجان شرقی از لحاظ پتانسیل وقوع حوادث جاده‌ای

رتبه	مسیر	رتبه	مسیر	رتبه	مسیر
۱۱	ملکان-میاندوآب	۶	ایلخچی-آذرشهر	۱	کشکسرای-مروند
۱۲	مروند-جلفا	۷	تبریز-ایلخچی	۲	مروند-صوفیان
۱۳	آزاد راه تبریز-زنجان	۸	آذرشهر-عجب‌شیر	۳	صوفیان-شهبستر
۱۴	سراب-بستان آباد	۹	بناب-عجب‌شیر	۴	صوفیان-تبریز
۱۵	جلفا-نوردوز	۱۰	بناب-ملکان	۵	شهبستر-تسوج

۵- نتیجه‌گیری

عوامل جاده‌ای) و ۱۴ زیر معیار است. با توجه به نتایج به دست آمده و بر اساس نتایج پرسشنامه و وزن‌های به دست آمده از مدل ANP معیار عوامل جاده‌ای بیشترین اهمیت را در وقوع حوادث جاده‌ای دارد و زیر معیار نقاط پر تصادف نیز از این حیث بیشترین اهمیت را دارد. پس از تلفیق لایه‌های معیار و وزن‌های معیار نقشه نهایی مربوط به نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای تهیه گردید و بر اساس آن مسیر کشکسرای-مروند خطرناک‌ترین مسیر و مسیر جلفا-نوردوز کم‌خطرترین مسیر از لحاظ احتمال وقوع حوادث جاده‌ای در سطح جاده‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی هستند. نتایج به دست آمده در این تحقیق نتایج تحقیق توکلی و صابری را در مورد استفاده از مدل ANP در ارزیابی شبکه حمل و نقل شهری را تأیید

شبکه حمل و نقل جاده‌ای به علت وسعت جغرافیایی و تنوع عملکردی با مجموعه گسترده‌ای از حوادث طبیعی و انسانی مواجه است. وقوع مخاطرات علاوه بر تحمیل آسیب‌های مستقیم بر شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ای، موجب وارد آمدن آسیب‌های غیرمستقیم بر کاربران این شبکه‌ها و حتی کل جامعه می‌گردد. به منظور شناسایی مناطق پرخطر جاده‌ای نیاز به کمی کردن وضعیت خطر است. بدین منظور در این تحقیق از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل ANP برای تعیین نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای در سطح جاده‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی استفاده گردیده است. برای این منظور از معیارها و زیرمعیارهای مختلفی استفاده گردید که شامل چهار معیار اصلی (عوامل اقلیمی، عوامل محیطی، عوامل توپوگرافی،

می‌تواند منجر به شناسایی و تحلیل بهتر حوادث جاده‌ای گردد. در انتها پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از مدل‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شود و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه شود و همچنین با استفاده از معیارها و داده‌های برداشت شده زمینی بیشتر دقت و کیفیت مدل‌سازی افزایش یابد.

می‌کند؛ آن‌ها نیز مدل ANP را مدلی مناسب برای بررسی و ارزیابی و شبکه حمل‌ونقل می‌دانند. همچنین نتایج این تحقیق همسو با نتایج تحقیق افندی‌زاده و همکاران است که از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به‌عنوان ابزاری مؤثر برای شناسایی نقاط پر تصادف جاده‌ای یاد کرده‌اند. در نهایت می‌توان گفت مدل ANP مدلی مناسب به‌منظور مکان‌یابی و شناسایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای است و تلفیق آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Accident Prone
2. Hot Spot
3. Black Spot
4. Kriging
5. Vector
6. Digital Elevation Model
7. USGS
8. Analytic Network Process
9. Multi Attribute Decision Making
10. Compatibility Rate

۷- مراجع

انتشارات وزارت راه و شهرسازی معاونت آموزش تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل‌ونقل.

- صادقی، ع؛ آیتی، اسماعیل و پیرایش نقاب، م؛ (۱۳۹۰). شناسایی و اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز راه با رویکرد قطعه‌بندی مسیر و تحلیل پوششی داده‌ها. *مهندسی حمل‌ونقل*، سال سوم، شماره اول، ۶۸-۵۵.

- عطائی، م؛ (۱۳۹۵). *تصمیم‌گیری چند معیاره*. چاپ دوم، شاهرود، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

- فرجی سبکبار، ح؛ بدری، س. مطیعی لنگرودی، س. و شرفی، ح؛ (۱۳۸۹). *سنجش میزان پایداری نواحی روستایی بر مبنای مدل تحلیل شبکه با استفاده از تکنیک بردا مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان فسا. پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*، دوره ۴۲، شماره ۷۲، ۱۵۵-۱۳۵.

- محمدی لیمائی، س؛ (۱۳۸۹). کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در تعیین اولویت خروج دام از جنگل و ساماندهی جنگل‌نشینان مطالعه موردی سری باباکوه حوضه آبخیز دو گیلان. *مجله جنگل ایران*، دوره دوم، شماره چهارم، ۳۲۱-۳۰۹.

- مکانیکی، ج. و صادقی، ح؛ (۱۳۹۱). مکان‌یابی مراکز بهداشتی-درمانی شهر بیرجند از طریق تلفیق فرآیند تحلیل

- افندی‌زاده، شهریار، توکلی کاشانی، علی و تقی‌زاده؛ (۱۳۹۶). شناسایی مکان‌های پرتصادف جاده‌ای با استفاده از روش تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP/DEA). *پژوهشنامه حمل‌ونقل*، دوره ۱۴، شماره چهارم، ۴۵-۳۳.

- آیتی، اسماعیل (۱۳۸۷). *هزینه تصادفات ترافیکی ایران*، چاپ سوم، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

- توکلی، ه. و صابری، ح؛ (۱۳۹۵). ارزیابی پایداری شبکه حمل‌ونقل شهری با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) نمونه موردی منطقه ۲۱ تهران. *فصلنامه مطالعات مدیریت شهری*، سال هشتم، شماره ۲۸، ۹۹-۸۳.

- زبردست، ا؛ (۱۳۸۹). کاربرد فرآیند تحلیل شبکه ANP در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، *نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی*، شماره ۴۱، ۹۰-۷۹.

- شریعت مهیمنی، افشین (۱۳۸۵). امکان‌سنجی به‌کارگیری مدیریت بحران در شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای ایران. تهران، پژوهشکده حمل‌ونقل وزارت راه و شهرسازی.

- شعبانی، شاهین و ارجودی، عبدالرضا (۱۳۸۶). روش‌های ثبت تصادفات و شناسایی نقاط پر تصادف. چاپ اول، تهران،

- plots. *Journal of Safety Research*, Vol. 37, No. 1, 83-91.
- Hellebrandt, T., Heine, I. and Schmitt, R. H. (2018). ANP-based knowledge management solutions framework for the long-term complaint knowledge transfer. *Total Quality Management & Business Excellence*, Vol. 29, No. 9, 1074-1088.
- Lipovac, K., Nešić, M., Tešić, M., Ross, A., Tubić, V. and Marić, B. (2016). A comparative analysis of dangerous locations on the public roads in Serbia. *Safety Science*, Vol. 84, 190-200.
- Montella, A. (2010). A comparative analysis of hotspot identification methods. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 42, No. 2, 571-581.
- Niemira, M. P. and Saaty, T. L. (2004). An analytic network process model for financial-crisis forecasting. *International Journal of Forecasting*, Vol. 20, No. 4, 573-587.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process", *International journal of services sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 83-98.
- 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, No. 2, 169-181.
- Van Raemdonck, K., Macharis, C. and Mairesse, O. (2013). Risk analysis system for the transport of hazardous materials. *Journal of Safety Research*, Vol. 45, pp. 55-63.
- Farias, L. M. S., Santos, L. C., Gohr, C. F., and Rocha, L. O. (2019). An ANP-based approach for lean and green performance assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 143, 77-89.
- Quezada, L. E., López-Ospina, H. A., Palominos, P. I., and Oddershede, A. M. (2018). Identifying causal relationships in strategy maps using ANP and DEMATEL. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 118, 170-179.
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, Vol. 72, No. 1, 1-12.
- شبکه‌ای و مقایسه زوجی در محیط GIS. فصلنامه آمایش محیط، شماره ۱۹، ۱۴۲-۱۲۱.
- مومنی‌مژده، ا؛ ابطحی فروشانی، س. و صفوی، ح؛ (۱۳۹۵). ارائه روشی جهت شناسایی و اولویت‌بندی نقاط مستعد مخاطرات در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای مطالعه موردی استان اصفهان. *پژوهشنامه حمل‌ونقل*، سال ۱۳، شماره سوم، ۲۸۷-۲۷۱.
- نظم‌فر، ح؛ عشقی چهاربرج، ع. علوی، س. و جسارتی، ع؛ (۱۳۹۶). تحلیل پراکنش تصادفات جاده‌ای منجر به فوت با رویکرد اقلیمی مطالعه موردی استان اردبیل. *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، دوره ۲۶، شماره ۱۰۳، ۹۷-۸۳.
- Ambros, J., Havránek, P., Valentová, V., Křivánková, Z. and Striegler, R. (2016). Identification of hazardous locations in regional road network—comparison of reactive and proactive approaches. *Transportation Research Procedia*, Vol. 14, 4209-4217.
- Aragonés-Beltrán, P., García-Melón, M. and Montesinos-Valera, J. (2017). How to assess stakeholders' influence in project management? A proposal based on the Analytic Network Process. *International Journal of Project Management*. Vol. 35, No. 3, 451-462.
- Charlton, S. G. and Starkey, N. J. (2018). Transitions within a safe road system. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 121, 250-257.
- Chou, C. C. (2018). Application of ANP to the selection of shipping registry: The case of Taiwanese maritime industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 67, 89-97.
- Erdogan, S., Yilmaz, I., Baybura, T. and Gullu, M. (2008). Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 40, No. 1, 174-181.
- Ertay, T., Ruan, D. and Tuzkaya, U. R. (2006). Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. *Information Sciences*, Vol. 176, No. 3, 237-262.
- Geurts, K., Wets, G., Brijs, T., Vanhoof, K. and Karlis, D. (2006). Ranking and selecting dangerous crash locations: Correcting for the number of passengers and Bayesian ranking

An Analytic Network Process (ANP) Approach for Locating Potential Hazardous Points on Transit Routes Extending over East Azerbaijan

Mohammadreza Aghapouri, Ph.D., Student, Department of Climatology,

Marand Branch, Islamic Azad University, Marand, Iran.

Khalil Valizadeh Kamran, Professor, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Aliakbar Rasouli, Professor, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Davood Mokhtari, Professor, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

E-mail: valizadeh@tabrizu.ac.ir

Received: September 2003 Accepted: Jan. 2024

ABSTRACT

The road networks are prone to variety of anthropogenic hazards, as well as natural ones, due to their vast geographical expanses, and because of the diverse functions they perform. The hazards not only destroy the infrastructures, but they inflict suffering on people both on the individual and the community levels. The objective of this study is to locate the potential hazardous points through the transit network extending over East Azerbaijan, Iran. The main contribution of this study is applying an ANP model to analyze the hazardous points, comparing all criteria and sub-criteria so as to evaluate and weight them more precisely. For this aim, the study investigated four main criteria (i.e. climate factors, environmental factors, topographical factors, and road factors) and fourteen sub-criteria. Drawing on the ANP model, a weight was calculated for each criterion based on its importance. The final map of potential hazardous points was prepared by integrating the hierarchically ranked points and the standard layers. The results revealed that the road factor, and its sub-factors were the main causes of road accidents ($w=675.0$); followed by climate factors ($w=172.0$), topographic factors ($w=134.0$), and environmental factors ($w=019.0$). The road connecting Marand to Koshksaray was identified as the most vulnerable route to road accidents, followed by the road between Marand and Soufian, and the one connecting Soufian to Shabestar. According to the results, the road between Jolfa and Nourdooz was the safest route, followed by the one connecting Sarab to Bostanabad, and the highway extending from Tabriz to Zanjan.

Keywords: East Azerbaijan, Road Accidents, Road Transit Transport Route, ANP Model