مکان‌یابی مناطق بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای در محورهای ترانزیتی استان آذربایجان‌شرقی 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 به‌علت 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 زیر معیارها و تلفیق آن‌ها با لایه‌های معیار، نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای تهیه شده است. نتایج به‌دست 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 ۰/۱۳٤ و عوامل جاده‌ای وزن ۰/۶۷۵ را داشت. مسیر کشکسرای-مرند خطرناک‌ترین مسیر ازنظر احتمال وقوع حوادث جاده‌ای است. مسیر مرند-صوفیان نیز در رتبه بعدی خطرناک‌ترین مسیرها ازلحاظ احتمال وقوع حوادث جاده‌ای است و پس از آن مسیر صوفیان-شبستر در رتبه بعدی قرار دارد. در میان راه‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی مسیر جلفا-نوردوز کم‌خطرترین مسیر ازنظر احتمال وقوع حوادث جاده‌ای و پس از آن به‌ترتیب مسیرهای سراب-بستان‌آباد و آزادراه تبریز-زنجان قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان‌شرقی، حوادث جاده‌ای، محورهای ترانزیتی، مدل ANP

۱- مقدمه

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

همراه با آسیب‌های فزآینده مالی، جانی و روحی–روانی است که در شبکه حمل‌ونقلی و یا در مراکز جمعیتی منتهی به آن رخ می‌دهد و به‌علت نقص عملکرد شبکه در حفظ پایداری خطوط ارتباطی گسترش می‌یابد و ازاین‌رو نیازمند اقدامات اضطراری برای پیشگیری، مقابله، بازسازی و بازیابی آن است (شریعت مهینی، 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 ارجرودی، ۱۳۸٦). وقوع مخاطرات علاوه‌بر 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، 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 پرخطر جاده‌ای باید وضعیت خطر را کمّی کرد. ساده‌ترین روش برای این کار استفاده از فراوانی حوادث است. روش دیگر برای شناسایی مناطق پرخطر 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 آذربایجان‌شرقی 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 آذربایجان‌شرقی با استفاده مدل ANP مکان‌یابی شده است.

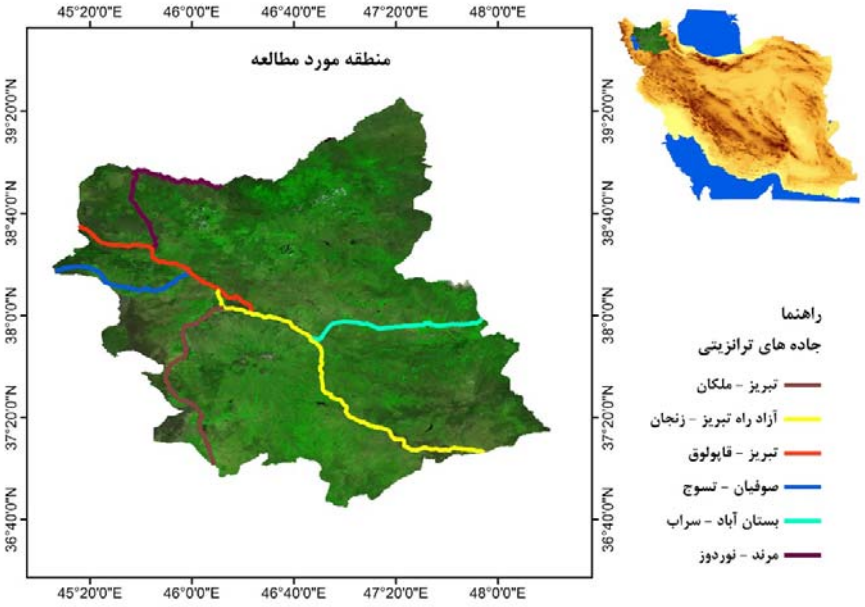
۲- پیشینه تحقیق

صادقی و همکاران طی پژوهشی به شناسایی و اولویت‌بندی قطعات حادثه‌خیز در استان خراسان رضوی پرداختند. آن‌ها بدین‌منظور از رویکرد قطعه‌بندی مسیر و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) استفاده کرده‌اند. در این رویکرد تصمیم‌گیری در مورد وضعیت ایمنی راه به‌جای یک نقطه، برای طولی از راه با خصوصیات مشخص انجام می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در منطقه مورد مطالعه، ۱۵٤ قطعه راه با امتیازات خطر نسبی متفاوت وجود دارند. بر این اساس کیلومتر ۸۵ تا ۸٦ 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 ناحیه ۳،۲،۱ منطقه ۲۱ تهران انجام شد. براساس نتایج به‌دست 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 به‌صورت نسبت ریالی منافع ایمن‌سازی به هزینه‌های آن در هر نقطه تعریف کردند. نتایج این تحقیق نشان داد ٦۲/٦ درصد خسارات وارد بر شبکه راه‌های استان اصفهان مربوط به وقوع مخاطرات طبیعی و ۳۷/٤ درصد آن مربوط به وقوع مخاطرات انسانی (تصادفات جاده‌ای) است. به لحاظ خسارات ناشی از وقوع مخاطرات، شهرستان‌های کاشان، شهرضا، شاهین‌شهر و میمه به‌ترتیب پرمخاطره‌ترین شهرستان‌های استان اصفهان هستند (مومنی‌مژده، ۱۳۹۵).

افندی‌زاده و همکاران به شناسایی مکان‌های پرتصادف جاده‌ای با استفاده از روش تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله مراتبی (AHP/DEA) پرداختند. به این‌منظور از ۵۱ قطعه راه دوطرفه برون‌شهری استفاده شده است. محققین، نتایج حاصل از این پژوهش را با نتایج سایر روش‌های شناسایی مکان‌های پر تصادف، 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 پر تصادف 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 بدین‌منظور از معیارهای مختلفی مانند یخبندان، رطوبت و دما استفاده کردند. برای تحلیل داده‌ها نیز از روش درون‌یابی کریجینگ و همبستگی 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، ۲٤/۵۵ درصد در فصل پاییز و ۱٤/۷ درصد در فصل زمستان اتفاق افتاده است. همچنین تصادفات جاده‌ای در ماه‌های یخبندان به‌دلیل کاهش تردد وسایل نقلیه نسبت به ماه‌های غیر یخبندان کمتر است. بیشترین تصادفات از نظر رطوبت با میزان رطوبت ۷۲-۶۹ درصد و از لحاظ دما، در دمای حداقل ۸ و حداکثر ۱٦ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده است (نظم‌فر و همکاران، ۱۳۹٦). استینبرگن و همکاران به مکان‌یابی حوادث جاده‌ای درون‌شهری در شهر میشلن بلژیک با استفاده از GIS پرداختند. آن‌ها بدین‌منظور از تکنیک خوشه‌بندی و تحلیل شبکه در محیط GIS استفاده کرده‌اند. داده‌های ترافیکی از جمله داده‌های اصلی است که در این تحقیق استفاده شده‌است. 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 تجزیه‌وتحلیل تصادفات ترافیکی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. آن‌ها بدین‌منظور 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). لیپوآک و همکاران به تجزیه‌وتحلیل تطبیقی مکان‌های پر مخاطره در جاده‌های کشور صربستان پرداختند. آن‌ها بدین‌منظور از روش تحلیلی نقطه سیاه(۳) استفاده کردند. در این راستا ابتدا داده‌های توصیفی و مکانی مورد نیاز جمع‌آوری شد و در مرحله بعد تجزیه‌وتحلیل شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد معمولاً مقاطع یک کیلومتری از مبادی شهری مناطق پرمخاطره‌تری 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).

۳- منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان‌شرقی بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین استان ناحیه شمال‌غربی ایران است. مساحت این استان ٤٥ هزار و ۸۰۰ کیلومترمربع است و بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ هجری شمسی سه میلیون و ۹۰۹ هزار و ٦٥٢ نفر جمعیت دارد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). این استان از لحاظ جغرافیایی در مختصات ´´٥٥ ´٤٥ °٣٦ الی ´´٥٢ ´٢٣ °٣٩ عرض شمالی و ´´٢٣ ´٥ °٤٥ الی ´´٤٥ ´٢٦ °٤٨ طول شرقی قرار دارد. استان آذربایجان شرقی از سمت شمال با جمهوری آذربایجان و ارمنستان، از سمت غرب و جنوب‌غرب با استان آذربایجان غربی، از سمت شرق به استان اردبیل، و از سمت جنوب‌شرق با استان زنجان هم‌مرز است. این استان محل عبور 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) ٤. صوفیان-تسوج (تا انتهای حوزه استحفاظی) ٥. تبریز-ملکان (تا انتهای حوزه استحفاظی) ٦. مرند-نوردوز (تا انتهای حوزه استحفاظی) از این‌رو این استان از مهم‌ترین استان‌های ترانزیتی کشور محسوب می‌شود.



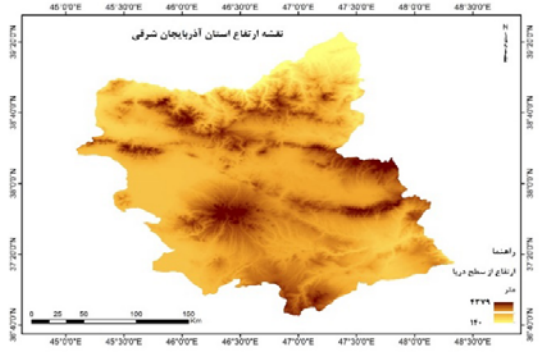
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

٤- داده‌ها و روش تحقیق

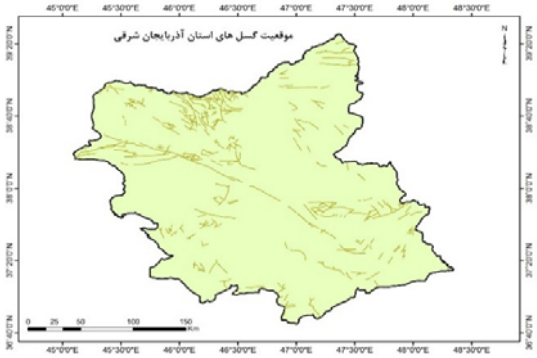
داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از منابع مختلف جمع‌آوری شده است و شامل داده‌های مکانی و توصیفی مختلفی است. داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی در چهار دسته کلی تقسیم‌بندی شده‌اند و شامل عوامل اقلیمی، عوامل محیطی، عوامل توپوگرافی و عوامل جاده‌ای هستند. عوامل اقلیمی شامل دما، سرعت باد و بارش است. برای تهیه داده‌های دما از تصاویر ماهواره‌ای MODIS استفاده شده‌است. داده‌های بارش نیز از ماهواره TRMM اخذ شده‌است و برای تهیه نقشه سرعت باد از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده است و با روش درون‌یابی کریجینگ(٤) نقشه سرعت باد ترسیم شده است. عوامل محیطی شامل رود و گسل است که داده‌های آن به‌صورت وکتور (٥) از سازمان

زمین‌شناسی اخذ شده است. عوامل توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب و لیتولوژی است. پس از تهیه مدل رقومی ارتفاع (٦) از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (۷) نقشه‌های مربوط به شیب و جهت شیب با استفاده از توابع Slope و Aspect در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 تهیه شدند و داده مربوط به لیتولوژی نیز از سازمان زمین‌شناسی اخذ شد. عوامل جاده‌ای شامل کیفیت آسفالت جاده، نقاط پرتصادف، حجم ترافیک، موقعیت تونل‌ها و میانگین سرعت رانندگی بود. این داده‌ها نیز از سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای استان آذربایجان شرقی به‌دست آمد. همچنین در این تحقیق از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 برای انجام تحلیل‌های مکانی، نرم‌افزار ENVI 5.3 برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار Super Decision برای انجام مدل ANP استفاده شده است.

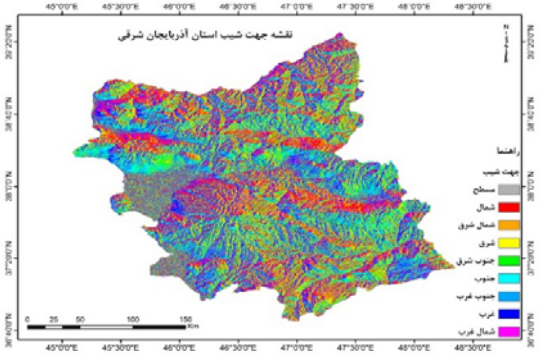
برای انجام مراحل تحقیق ابتدا داده‌های ماهواره‌ای از سایت ناسا به آدرس https://search.earthdata.nasa.gov اخذ شد. در ادامه داده‌های ماهواره‌ای وارد محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 شد و نقشه دما با استفاده از افزونه MODIS Conversion Toolkit و نقشه بارش با استفاده از تابع View HDF Dataset Attributes تهیه شدند. سایر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



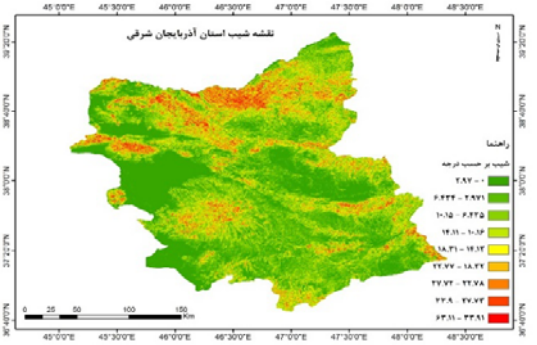
شکل ۲. نقشه ارتفاع استان آذربایجان‌شرقی



شکل ۳. نقشه موقعیت گسل‌های استان آذربایجان‌شرقی



شکل ٤. نقشه جهت شیب استان آذربایجان‌شرقی



شکل ۵. نقشه شیب استان آذربایجان‌شرقی

شکل ٦. موقعیت نقاط پر تصادف استان آذربایجان‌شرقی

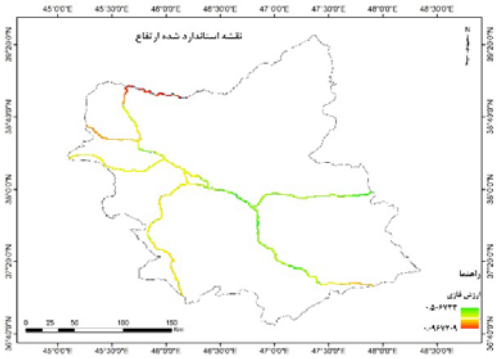
شکل ۷. نقشه کیفیت آسفالت جاده‌های استان آذربایجان‌شرقی

شکل ۸ میانگین سرعت رانندگی در راه‌های استان آذربایجان‌شرقی

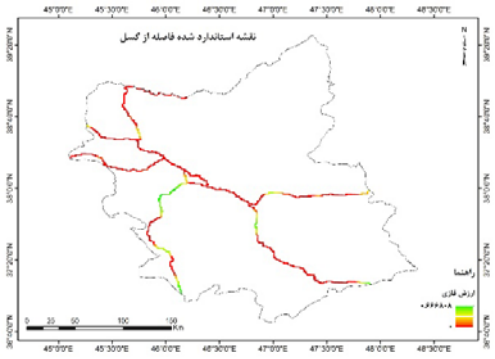
شکل ۹. نقشه حجم ترافیک راه‌های استان آذربایجان‌شرقی

مدل (۸) ANP روشی جامع و قدرتمند برای تصمیم‌گیری‌های دقیق است. توماس آل ساعتی آن را مطرح کرده است (Qoezada et al, 2018). فرآیند تحلیل شبکه‌ای یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره(۹) محسوب می‌شود (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۹). که در آن ساختار شبکه‌ای جانشین ساختار سلسله‌مراتبی شده است (محمدی لیمائی، ۱۳۸۹). در این روش عناصر مختلف به‌یکدیگر وابسته می‌شوند (Hellebrandt et al, 2018). این مدل برای حل مسائل با معیارها و آلترناتیوهای وابسته به هم پایه‌ریزی شده است (Saaty, 2008) ساعتی پیشنهاد می‌کند که در این موارد از مدل ANP استفاده شود (Farias, 2019)، بدین‌ترتیب مدل ANP به‌عنوان تعمیمی از مدل AHP ارائه شده است (Chou, 2018). در واقع اصطلاح خوشه در مدل ANP جایگزین اصطلاح سطح در مدل AHP شده است (Yalcin, 2008). به‌طور کلی روش ANP سه قسمت کلی دارد. نخست کنترل شبکه معیارها و زیرمعیارها؛ دوم شبکه‌ای از روابط میان عناصر و خوشه‌ها؛ سوم بازخورد بین خوشه‌های مختلف و عناصر داخل یک خوشه (Aragones et al, 2017). در مدل ANP به‌صورت بالقوه ساختاری ایجاد می‌شود که خطاهای ناشی از قضاوت‌ها را با بهبود اطمینان از پردازش اطلاعات کاهش می‌دهد (Niemira and Saaty, 2004).

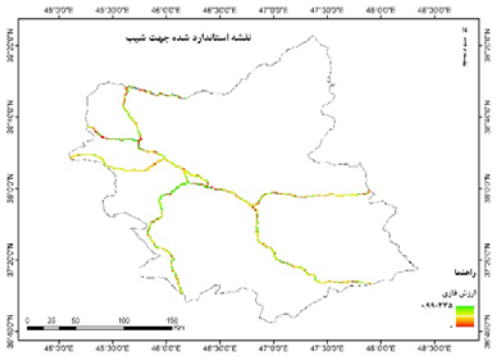
برای اجرای مدل ANP ابتدا تمام نقشه‌های معیار تهیه شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 با استفاده از تابع Euclidean Distance به فرمت رستر تبدیل شد. در ادامه با استفاده از توابع استانداردسازی فازی، تمامی نقشه‌های معیار استاندارد شدند.



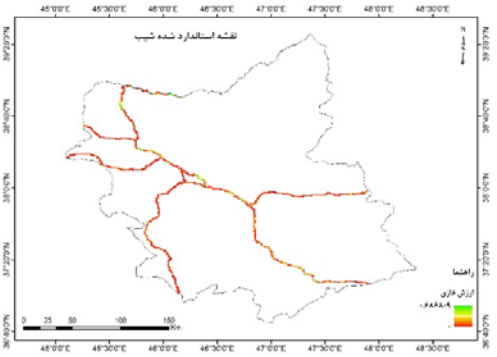
شکل ۱۰. نقشه استاندارد شده ارتفاع



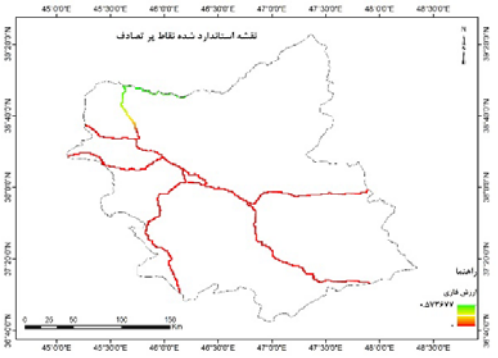
شکل ۱۱. نقشه استاندارد شده فاصله از گسل



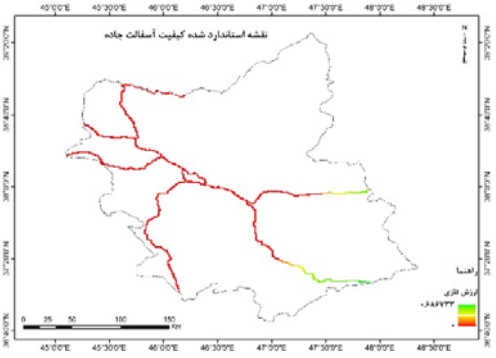
شکل ۱۲. نقشه استاندارد شده جهت شیب



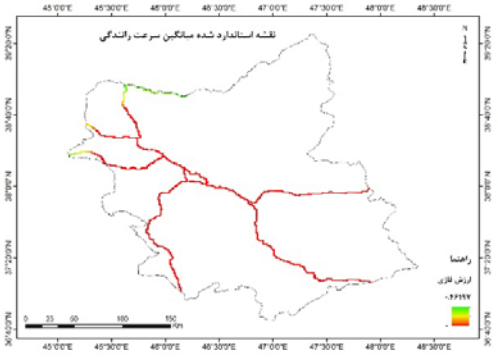
شکل ۱۳. نقشه استاندارد شده شیب



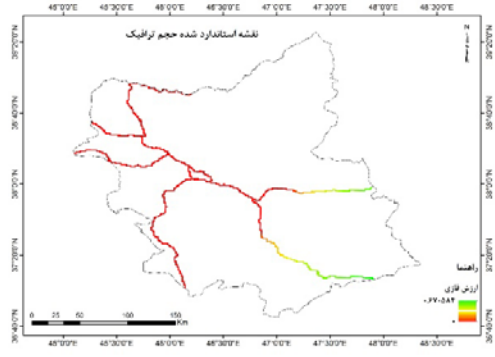
شکل ۱۴. نقشه استاندارد شده نقاط پر تصادف



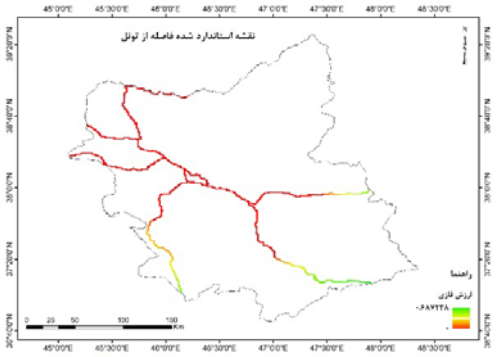
شکل ۱۵. نقشه استاندارد شده کیفیت آسفالت جاده



شکل ۱۶. نقشه استاندارد شده میانگین سرعت رانندگی

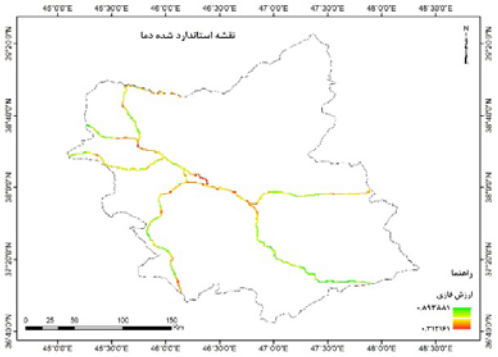


شکل ۱۷. نقشه استاندارد شده حجم ترافیک

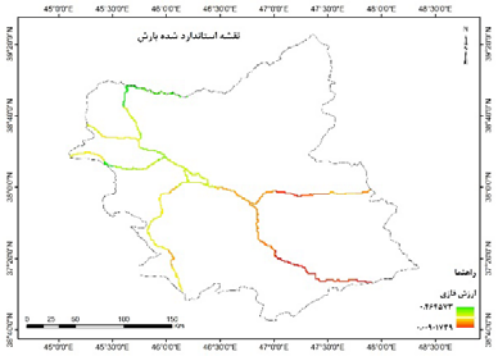


شکل ۱۸. نقشه استاندارد شده فاصله از تونل

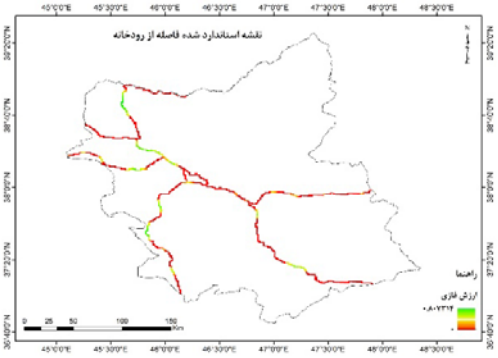
شکل ۱۹. نقشه استاندارد شده سرعت باد



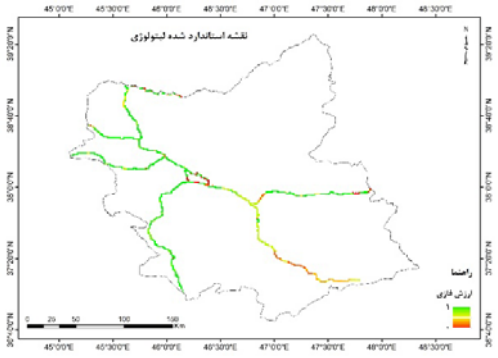
شکل ۲۰. نقشه استاندارد شده دما



شکل ۲۱. نقشه استاندارد شده بارش



شکل ۲۲. نقشه استاندارد شده فاصله از رودخانه



شکل ۲۳. نقشه استاندارد شده لیتولوژی

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 به‌روشنی تعریف شد و سپس اجزای آن در ساختاری منطقی و منظم، به‌صورت شبکه‌ای با ارتباط‌های منطقی، تقسیم‌بندی شد. در این مرحله معیارهایی که در تصمیم‌گیری نهایی مؤثرند، 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).

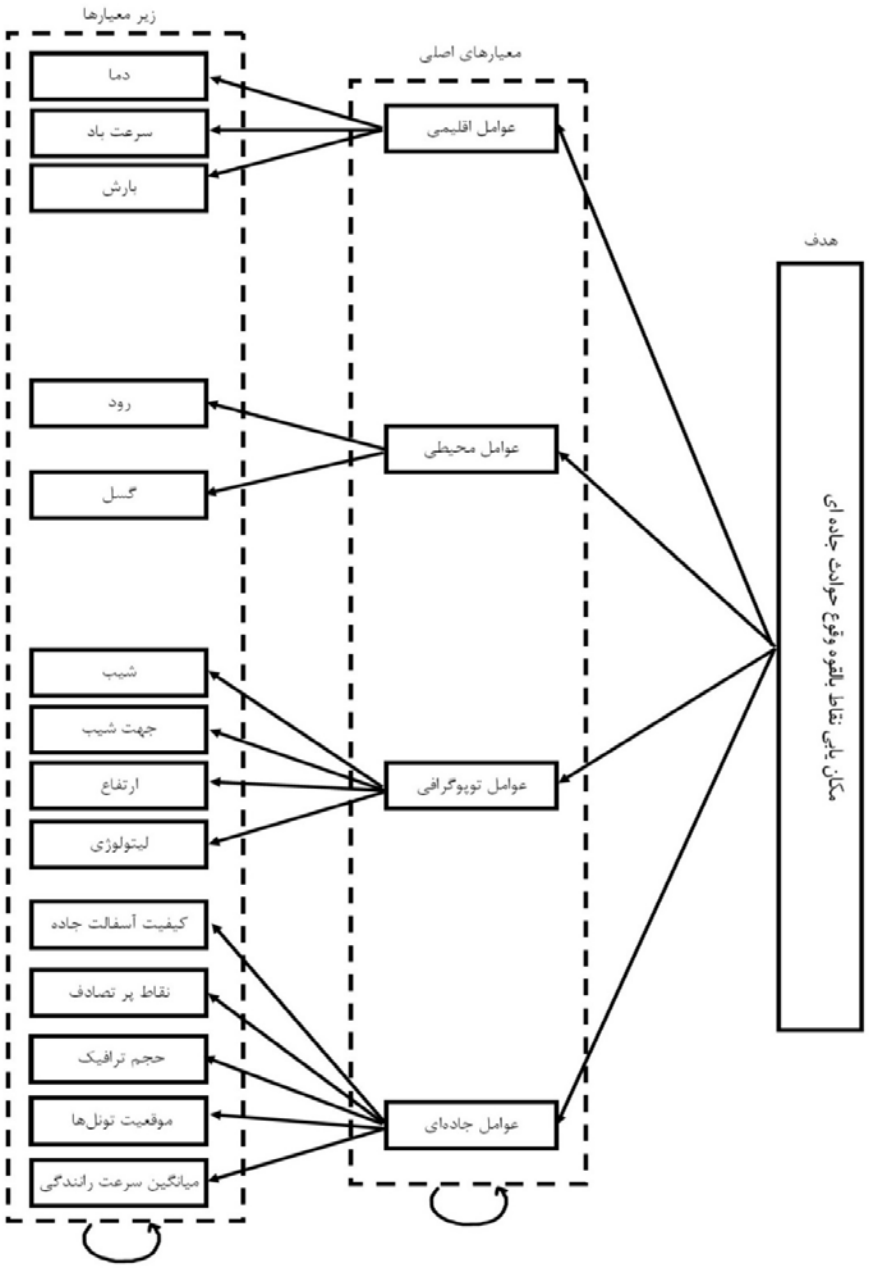
تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه بردارهای وزن: ماتریس مقایسه زوجی بر اساس تأثیر معیارها و

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 دوبه‌دو 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 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 آذربایجان‌شرقی در نقشه نهایی حاصل از مدل ANP وضعیت راه‌های استان از نظر وقوع حوادث جاده‌ای بررسی شد.



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

نتایج

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 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 (به‌دلیل تعداد زیاد محاسبات و ماتریس‌های مربوطه، از ارائه همه آن‌ها خودداری می‌شود و فقط به نتایج نهایی اشاره می‌شود) (جدول

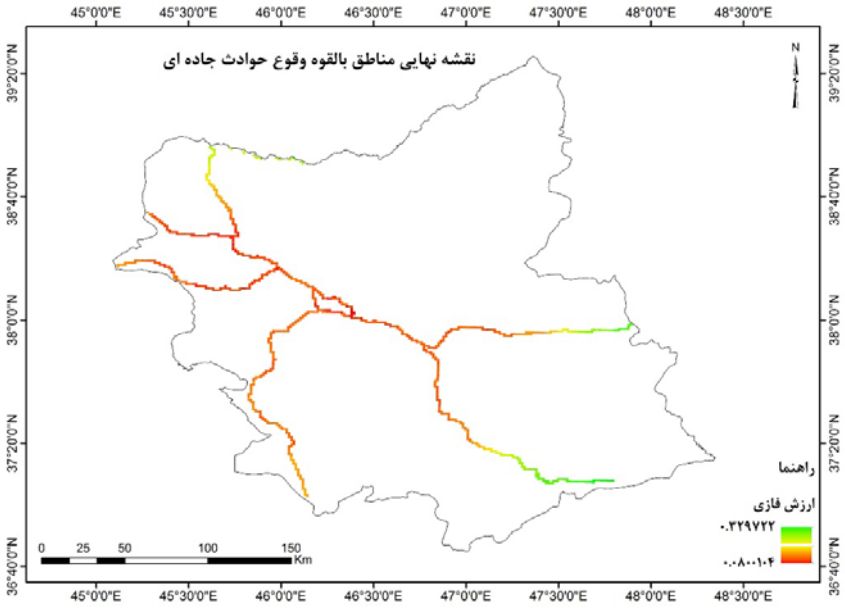
۱). پس از وزن‌دهی لایه‌های موجود، نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای تهیه گردید (شکل ۲۵) بر اساس نتایج به‌دست آمده مناطق بسیار پرخطر بیشترین مناطق را در پهنه استان آذربایجان‌شرقی به خود اختصاص داده است و پس از آن مناطق پرخطر، متوسط، کم‌خطر و بسیار کم‌خطر قرار دارند.

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 رفت‌وبرگشت 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.

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 به‌ترتیب 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 به‌ترتیب مسیرهای سراب–بستان‌آباد و آزاد راه تبریز–زنجان قرار دارند.

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

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



شکل ۲۵. نقشه نهایی مناطق بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای

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

مسیر	رتبه	مسیر	رتبه	مسیر	رتبه
کشکسرای-مرند	۱	ایلخچی-آذرشهر	٦	ملکان-میاندوآب	۱۱
مرند-صوفیان	۲	تبریز-ایلخچی	۷	مرند-جلفا	۱۲
صوفیان-شبستر	۳	آذرشهر-عجب‌شیر	۸	آزاد راه تبریز-زنجان	۱۳
صوفیان-تبریز	٤	بناب-عجب‌شیر	۹	سراب-بستان آباد	١٤
شبستر-تسوج	۵	بناب-ملکان	۱۰	جلفا-نوردوز	۱۵

۵- نتیجه‌گیری

شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای به‌علت وسعت جغرافیایی و تنوع عملکردی با مجموعه گسترده‌ای از حوادث طبیعی و انسانی مواجه است. وقوع مخاطرات علاوه‌بر تحمیل آسیب‌های مستقیم بر شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای، موجب وارد آمدن آسیب‌های غیرمستقیم بر کاربران این شبکه‌ها و حتی کل جامعه می‌گردد. به‌منظور شناسایی مناطق پرخطر جاده‌ای نیاز به کمی کردن وضعیت خطر است. بدین‌منظور 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 این‌منظور از معیارها و زیرمعیارهای مختلفی استفاده گردید که شامل چهار معیار اصلی (عوامل اقلیمی، عوامل محیطی، عوامل توپوگرافی، عوامل جاده‌ای) و ١٤ زیر معیار است. با توجه به نتایج به‌دست آمده و بر اساس نتایج پرسشنامه و وزن‌های به‌دست 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-مرند خطرناک‌ترین مسیر و مسیر جلفا-نوردوز کم‌خطرترین مسیر از لحاظ احتمال وقوع حوادث جاده‌ای در سطح جاده‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی هستند. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نتایج تحقیق توکلی و صابری را در مورد استفاده از مدل ANP در ارزیابی شبکه حمل‌ونقل شهری را تأیید

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 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.

٦- 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

- افندی‌زاده، شهریار، توکلی کاشانی، علی و تقی‌زاده؛ (۱۳۹٦). شناسایی مکان‌های پرتصادف جاده‌ای با استفاده از روش تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله مراتبی (AHP/DEA). *پژوهشنامه حمل‌ونقل، دوره ١٤*، شماره چهارم، ٤٥-٣٣.

- 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 ٤١، ٩٠-٧٩.

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

- شعبانی، شاهین و ارجرودی، عبدالرضا (۱۳۸٦). روش‌های ثبت تصادفات و شناسایی نقاط پر تصادف. چاپ اول، تهران، *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، ٦٨-٥٥.

- 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 جغرافیای انسانی*، دوره ٤٢، شماره ٧٢، ١٥٥-١٣٥.

- 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

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 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.

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