



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست و دوم، شماره‌ی ۷۹
پاییز ۱۴۰۱، صفحات ۴۲-۲۱

DOI: DOI:10.52547/GeoSpa.22.3.21

محمد رضا آقاپوری^۱
* خلیل ولیزاده کامران^۲
علی اکبر رسولی^۳
داود مختاری^۴

شناسایی نقاط حادثه خیز جاده ای در محورهای ترانزیتی استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدلهای ANP و BWM

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۳

چکیده

افزایش وسایل نقلیه موتوری در نیم قرن اخیر، اثرات نامطلوبی را به دنبال داشته است که از آن جمله میزان تصادفات و میزان خسارات ناشی از آن در هر سال است. عوامل مختلفی ممکن است در بروز تصادفات جاده‌ای اثرگذار باشند از جمله این عوامل می‌توان به مشکلات طرح هندسی مسیر، شرایط محیطی و عوامل انسانی اشاره کرد. بر همین اساس در این تحقیق به شناسایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای در سطح جاده‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی با استفاده از دو مدل BWM و ANP پرداخته شده است. مدل BWM به‌عنوان مدلی نوین، از جمله مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که می‌تواند در مدل‌سازی‌های مختلف مکانی به کار برده شود. برای شناسایی نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای از ۴ معیار (عوامل اقلیمی، عوامل محیطی، عوامل توپوگرافی، عوامل جاده‌ای) و ۱۴ زیر معیار استفاده شده است. به‌منظور وزن‌دهی معیارها و زیر معیارها از دو مدل BWM و ANP استفاده شده است. پس از محاسبه وزن معیارها و زیر معیارها با استفاده از نرم افزارهای LINGO و Super Decision و تلفیق آن‌ها با لایه‌های معیار، نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای بر اساس هر دو مدل تهیه شده است. بر اساس نتایج به‌دست

E-mail: mrp91@yahoo.com

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه آزاد اسلامی مرنده.

E-mail: valizadeh@tabrizu.ac.ir

* ۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز. (نویسنده مسئول).

۳- گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز.

۴- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز.

آمده معیار عوامل اقلیمی در هر دو مدل، از بیشترین اهمیت در وقوع حوادث جاده‌ای برخوردار می‌باشد. در زیر معیارهای مورد استفاده نیز در هر دو مدل، زیر معیار بارش بیشترین اهمیت را در وقوع حوادث جاده‌ای دارد. از لحاظ مکانی در هر دو مدل مسیر کشکسرای - مرند خطرناک‌ترین مسیر در بین مسیرهای ترانزیتی استان آذربایجان- شرقی می‌باشد. نتایج مقایسه دو مدل نشان می‌دهد مدل BWM با نرخ سازگاری ۰/۰۷۵ نسبت به مدل ANP با نرخ سازگاری ۰/۰۹ عملکرد بهتری داشته است. همچنین تطبیق نتایج حاصل از دو مدل مورد استفاده با نقاط کنترل زمینی نشان از دقت و کارایی بیش تر مدل BWM نسبت مدل ANP دارد.

کلید واژه‌ها: نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای، محورهای ترانزیتی، مدل BWM، مدل ANP، آذربایجان شرقی.

مقدمه

حوادث برون شهری در جاده‌های ترانزیتی، بخش عمده‌ای از حوادث جاده‌ای را تشکیل می‌دهند. آمارها نشان می‌دهد که مرگ و میر در راه‌های برون شهری بیش از ۶۹ درصد از کل مرگ‌ومیرهای ناشی از تصادفات را در بر می‌گیرد (Zhai et al., 2018: 233). نقاط حادثه‌خیز با تعاریفی نظیر: موقعیت‌های خطرناک راه، مکان‌هایی با ریسک بالا، موقعیت‌های سانحه‌پذیر و... شناخته می‌شوند (Montella, 2010: 575). افزایش وسایل نقلیه موتوری و استفاده روزافزون از اتومبیل در نیم قرن اخیر، اثرات نامطلوبی را به دنبال داشته است که از آن جمله میزان تصادفات و میزان خسارات جانی و مالی ناشی از آن در هر سال است (Farajzadeh Asl & Bahooshi, 2012: 75). تعداد افراد کشته شده در حوادث جاده‌ای در سراسر جهان، سالیانه حدود ۱/۲ میلیون نفر تخمین زده می‌شود، در حالی که تعداد افراد مجروح شده در این گونه حوادث تا ۵۰ میلیون نفر می‌رسد که معادل جمعیت پنج شهر بزرگ دنیا می‌باشد (Peden, 2004: 16). عوامل مختلفی ممکن است در بروز تصادفات جاده‌ای اثرگذار باشند که برخی از عوامل اجتناب‌ناپذیر بوده و برخی قابل کنترل می‌باشند. از جمله این عوامل می‌توان به مشکلات طرح هندسی مسیر، شرایط محیطی و عوامل انسانی اشاره کرد (Heqimi et al., 2018: 205). حوادث جاده‌ای موضوعی تأثیرگذار در توسعه اقتصادی، توسعه سلامت و توسعه اجتماعی می‌باشد که هزینه‌های زیادی را به کشور تحمیل می‌کند؛ این هزینه‌ها در سطح جهانی به حدود ۵۱۸ میلیارد دلار در سال می‌رسد (Mousavi Foladi, 2011: 6). حوادث جاده‌ای نهمین عامل مرگ‌ومیر در جهان و دومین عامل مرگ‌ومیر در ایران بعد از بیماری‌های قلبی و عروقی می‌باشد. میزان تصادفات جاده‌ای در ایران ۲۰ برابر کشورهای صنعتی و ۵ برابر کشورهای هم سطح خود (مصر و ترکیه) می‌باشد، به طوری که تلفات جاده‌ای در ایران در هر ساعت ۳ نفر تخمین زده می‌شود (Nazmfar et al., 2017: 85). در ایران از هر ۱۰۰ نفر مجروح در حوادث جاده‌ای، ۲۴ نفر می‌میرند؛ در حالی که در کشورهای پیشرفته از هر ۱۰۰ نفر مجروح، یک نفر می‌میرد (Farajzadeh Asl et al., 2010: 41). شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای به علت وسعت جغرافیایی و تنوع عملکردی با مجموعه گسترده‌ای از حوادث طبیعی و انسانی مواجه است. عوامل طبیعی موثر در حوادث جاده‌ای عبارت‌اند از:

سیل، زلزله، زمین لغزش، جریان توده خاک، ریزش کوه، سقوط بهمن، توفان شن، کولاک برف، ریزش برف شدید، یخبندان و... عوامل انسانی موثر در حوادث جاده‌ای عبارت‌اند از: تصادفات رانندگی، انفجار خطوط گاز رسانی، حوادث ناشی از اشتباهات انسانی در مراحل طرح، اجرا و یا بهره‌برداری جاده‌ها، حوادث داخل تونل‌ها و... (Shabani & Arjrodi, 2007: 35). تحت شرایط جوی نامناسب، ریسک حوادث جاده‌ای افزایش می‌یابد، با توجه به گستردگی ایران و وجود ارتفاعات مختلف، شرایط اقلیمی مختلفی نیز در جاده‌های کشور وجود دارد، به طوری که همه ساله یخبندان‌های گسترده و طولانی مدت، سقوط بهمن‌های پی در پی، کولاک برف، لغزندگی جاده‌ها، طوفان گرد و خاک و شن و در نتیجه اختلال در شبکه حمل‌ونقل روی می‌دهد (Habibi Nokhandan, 2009: 188).

به‌منظور شناسایی مناطق پرخطر جاده‌ای نیاز به کمی کردن وضعیت خطر است. ساده‌ترین روش استفاده از فراوانی حوادث است، روش دیگر برای شناسایی مناطق پرخطر استفاده از مدل‌های آماری و تصمیم‌گیری است. با استفاده از این مدل‌ها، امکان رتبه‌بندی بر اساس پتانسیل کاهش خطر و یافتن نقاط دارای بیش‌ترین احتمال خطر ممکن می‌شود (Van Raemdonck et al., 2013: 58). مدل BWM^۵ از مدل‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد که با در نظر گرفتن بهترین و بدترین معیار و مقایسه زوجی سایر معیارها با آن‌ها، به وزن‌دهی معیارها می‌پردازد. در مدل ANP^۶ نیز که از مدل‌های پرکاربرد در زمینه تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد با ایجاد رابطه شبکه‌ای بین معیارها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر اقدام به وزن‌دهی به معیارها می‌گردد. موقعیت جغرافیایی استان آذربایجان شرقی و فرسودگی زیرساخت‌های حمل‌ونقلی در این استان، موجب افزایش روزافزون آسیب‌ها و هزینه‌های ناشی از وقوع حوادث در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای این استان گردیده است. بر این اساس در این پژوهش به شناسایی نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای در محورهای ترانزیتی استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل‌های ANP و BWM پرداخته شده است و همچنین نتایج این دو مدل نیز با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته است.

پیشینه پژوهش

تا کنون مطالعات مختلفی در زمینه بررسی و مدل‌سازی نقش عوامل اقلیمی در ایجاد حوادث جاده‌ای و شناسایی این نقاط صورت گرفته است که در ادامه به برخی از مطالعات صورت گرفته در داخل و خارج از کشور اشاره شده است؛ به طوری که (Rahmani (2016 طی پژوهشی به پهنه‌بندی تصادفات جاده‌ای با استفاده از GIS در مسیر همدان-ملایر پرداخت. او در این تحقیق با تعیین دقیق نقاط مورد نظر، ابتدا نسبت به دسته‌بندی نوع تصادفات اقدام و سپس اطلاعات را دسته‌بندی و در پایگاه داده نرم‌افزار ArcGIS وارد نموده است. نتایج نشان می‌دهد دهانه ورودی و خروجی شهر یعنی در تقاطع و انشعابات روستاهای سنگستان، سرخ‌آباد، آبشینه، کنجینه، یکانه از جمله نقاط ایجاد تصادفات، بالأخص تصادفات منجر به فوت می‌باشند. (Tavakoli & Saberi (2015 به ارزیابی پایداری شبکه حمل‌ونقل شهری در منطقه ۲۱ تهران با استفاده از مدل ANP پرداختند. آن معیارهای مورد نظر خود را جهت

5- Best-Worst Method

6- Analytic Network Process

بررسی پایداری شبکه حمل و نقل در چهار گروه اصلی شامل: حمل و نقل و ترافیک، کالبدی، اجتماعی و زیست محیطی قرار دادند؛ براساس نتایج به دست آمده ناحیه ۲ از بیشترین پایداری در شبکه حمل و نقل برخوردار است و پس از آن نیز نواحی ۱ و ۳ قرار دارند. (Momeni Mozhddeh et al (2016) طی مقاله‌ای به ارزیابی روشی جهت شناسایی و اولویت بندی نقاط مستعد مخاطرات در شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ای استان اصفهان پرداختند. آن‌ها ابتدا با استفاده از همپوشانی نقشه‌های مخاطرات و شبکه راه‌ها، نقاط حادثه خیز جاده‌ای را مشخص کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد به لحاظ خسارات ناشی از وقوع مخاطرات، شهرستان کاشان پرمخاطره‌ترین شهرستان استان اصفهان می‌باشد. (Agarwal et al (2013) به شناسایی نقاط حادثه خیز جاده‌ای با استفاده از مدل AHP^۷ پرداختند. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق مسیر جیپور-کیشنگاره^۸ می‌باشد، آن‌ها بدین منظور از سه معیار اصلی: وضعیت ایمنی در مسیرهای مستقیم، وضعیت ایمنی در پیچ جاده‌ها و وضعیت ایمنی در تقاطع‌ها استفاده کردند که هر کدام از آن‌ها دارای زیر معیارهایی می‌باشند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد ۸ کیلومتر مسیر جیپور-کیشنگاره^۹ دارای بیشترین خطر تصادفات جاده‌ای می‌باشد. (Shah et al (2019) طی پژوهشی به بررسی ارتباط بین ویژگی‌های ترافیکی جاده و حوادث جاده‌ای پرداختند. در این تحقیق به منظور تجزیه و تحلیل ایمنی راه از مدل DEA^{۱۰} استفاده شده است، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد سرعت و جریان ترافیک دو عامل اصلی ایجاد کننده حوادث جاده‌ای می‌باشند. (Malin et al (2019) در تحقیقی به بررسی خطر تصادف در جاده‌ها در شرایط مختلف آب و هوایی و جاده‌ای پرداختند. برای این منظور از گزارشات پلیس از حوادث جاده‌ای در ۴۳ جاده اصلی کشور فنلاند بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد حوادث جاده‌ای در شرایط بد آب و هوایی افزایش پیدا می‌کند. این خطرات در شرایط تگرگ و لغزندگی جاده‌ها به حداکثر میزان خود می‌رسد. همچنین بررسی شرایط جاده‌ای نشان می‌دهد خطر تصادفات در بزرگراه‌ها بیش تر از جاده‌های دو بانده و چند بانده می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده مشخص می‌شود محققان مختلف در مطالعات خود معیارهای مختلف محیطی و انسانی را در بررسی نقاط حادثه خیز جاده‌ای در نظر گرفته‌اند بر این اساس در این تحقیق نیز از چهار معیار اصلی عوامل اقلیمی، عوامل محیطی، عوامل توپوگرافی، عوامل جاده‌ای و ۱۴ زیر معیار مرتبط به آن‌ها در بررسی نقاط حادثه خیز جاده‌ای استفاده شده است.

منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین استان واقع در شمال غرب ایران است. مساحت این استان ۴۵۸۰۰ کیلومتر مربع است و بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ هجری شمسی ۳۹۰۹۶۵۲ نفر جمعیت دارد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). این استان از لحاظ جغرافیایی در مختصات ۳۶° ۴۵' ۵۵" الی ۳۹° ۲۳' ۵۲" عرض

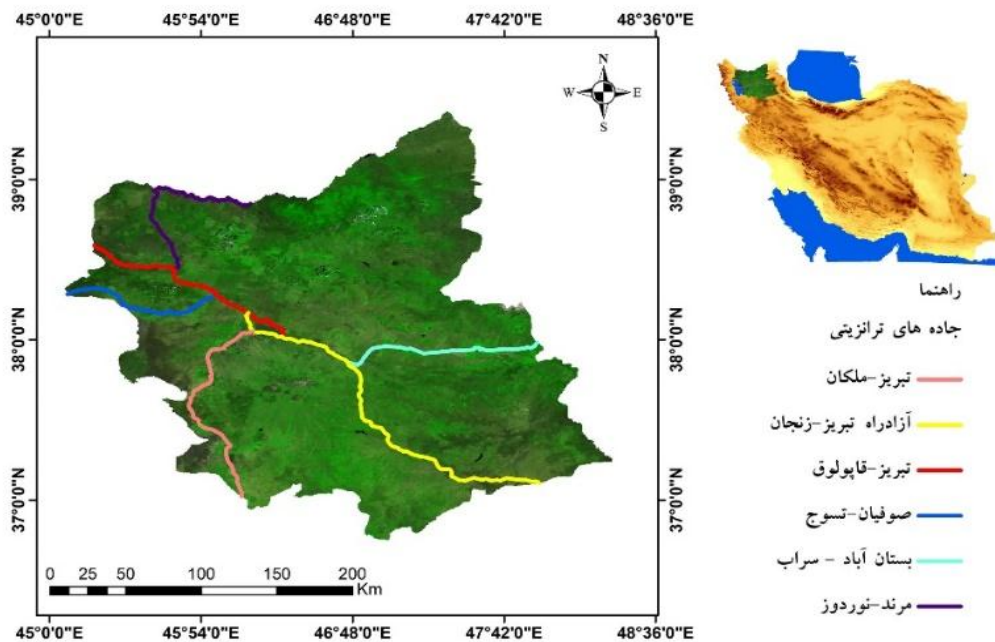
7- Analytical Hierarchy Process

8- Jaipur-Kiashangarh

9- Jaipur-Kiashangarh

10- Data Envelopment Analysis

شمالی و $۴۵^{\circ} ۵' ۲۳''$ الی $۴۸^{\circ} ۲۶' ۴۵''$ 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 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 می‌کنند که عبارتند 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) و ۶- مرند-نوردوز (تا انتهای حوزه استحفاظی). از این‌رو این استان از مهم‌ترین استان‌های ترانزیتی کشور محسوب می‌شود.



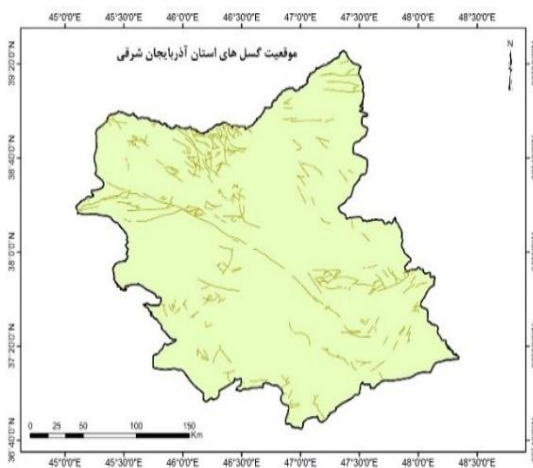
شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Location of the study area

مواد و روش‌ها

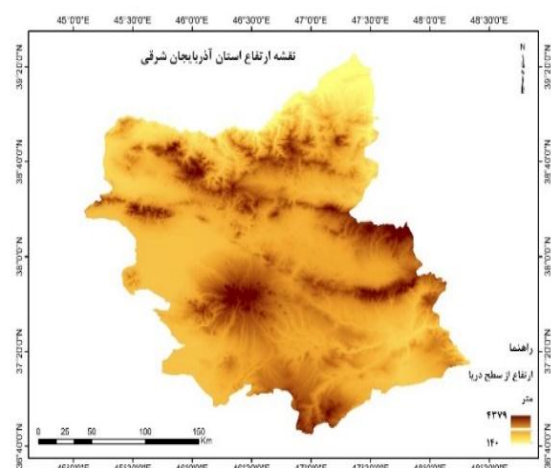
روش تحقیق در این پژوهش توصیفی-تحلیلی می‌باشد که برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق از بررسی‌های اسنادی، کتابخانه‌ای و پیمایش مطالعات میدانی استفاده شده است که شامل داده‌های مکانی و توصیفی مختلفی می‌باشد. این داده‌ها و اطلاعات به‌منظور مدل‌سازی و شناسایی نقاط حادثه‌خیز جاده در سطح جاده‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی با استفاده از دو مدل ANP و BWM مورد استفاده قرار گرفته 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 گردیده است، داده‌های بارش نیز از ماهواره TRMM اخذ گردیده است و برای تهیه نقشه سرعت باد از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استفاده گردیده است و با روش درون‌یابی کریجینگ^{۱۱} نسبت به تهیه نقشه سرعت باد اقدام گردیده است. عوامل محیطی شامل رود و گسل است که داده‌های آن به صورت وکتور از سازمان زمین‌شناسی اخذ شده است، عوامل توپوگرافی شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب و لیتولوژی است، پس از تهیه مدل رقومی ارتفاع^{۱۲} از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا نقشه‌های مربوط به شیب و جهت شیب با استفاده از توابع Slope و Aspect در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 تهیه گردیدند و داده مربوط به لیتولوژی نیز از سازمان زمین‌شناسی اخذ گردید. عوامل جاده‌ای شامل: کیفیت آسفالت جاده، نقاط پر تصادف، حجم ترافیک، موقعیت تونل‌ها و میانگین سرعت رانندگی است، که داده‌های مربوط به آن بر اساس آخرین مطالعات میدانی که در سال ۱۳۹۶ صورت گرفته است از سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ گردیده است. همچنین در این تحقیق از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 برای انجام تحلیل‌های مکانی، نرم‌افزار ENVI 5.3 برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای، برای وزن‌دهی به معیارها و زیر معیارها با توجه به نظر کارشناسان اقلیم‌شناسی و حمل‌ونقل از دو مدل ANP و BWM استفاده شده است. نرم‌افزار LINGO برای انجام مدل BWM و نرم‌افزار Super Decision برای انجام مدل ANP استفاده گردیده است. برای انجام مراحل تحقیق ابتدا داده‌های ماهواره‌ای از سایت ناسا به آدرس <https://search.earthdata.nasa.gov> اخذ شدند، در ادامه داده‌های ماهواره‌ای وارد محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 شده و نقشه‌های دما و بارش تهیه شدند. سایر معیارهای مورد استفاده نیز به فرمت وکتور تبدیل شده و وارد پایگاه داده نرم‌افزار ArcGIS 10.5 شدند تا در ادامه برای انجام مدل‌های BWM و ANP آماده شوند. در ادامه برخی از این معیارها نشان داده شده است.



شکل ۳: نقشه موقعیت گسل‌های استان آذربایجان شرقی

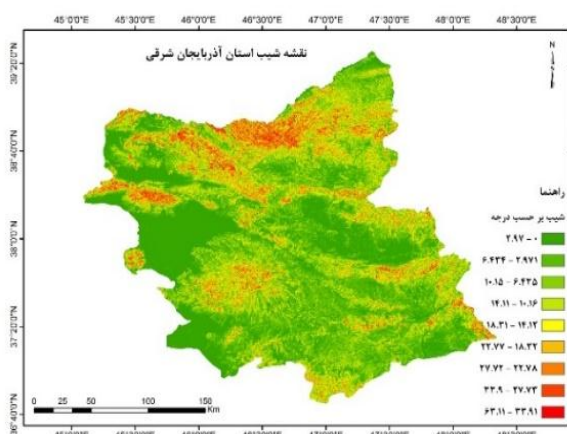
Figure 3: Map of the location of faults in East Azarbaijan province



شکل ۲: نقشه ارتفاع استان آذربایجان شرقی

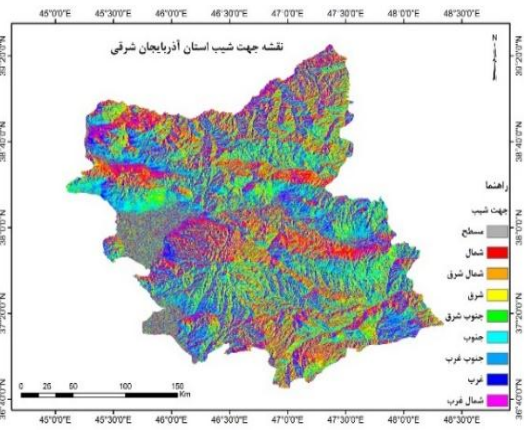
Figure 2: Elevation map of East Azarbaijan province

- 11- Kriging
- 12- Digital Elevation Model



شکل ۵: نقشه شیب استان آذربایجان شرقی

Figure 5: Slope map of East Azarbaijan province



شکل ۴: نقشه جهت شیب استان آذربایجان شرقی

Figure 4: Map of the slope direction of East Azarbaijan province



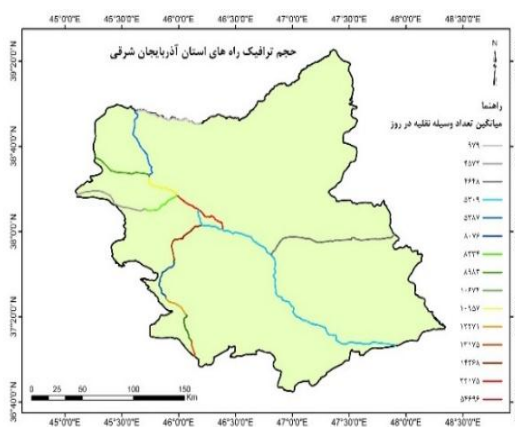
شکل ۷: نقشه کیفیت آسفالت جاده‌های استان آذربایجان شرقی

Figure 7: Asphalt quality map of roads in East Azarbaijan province



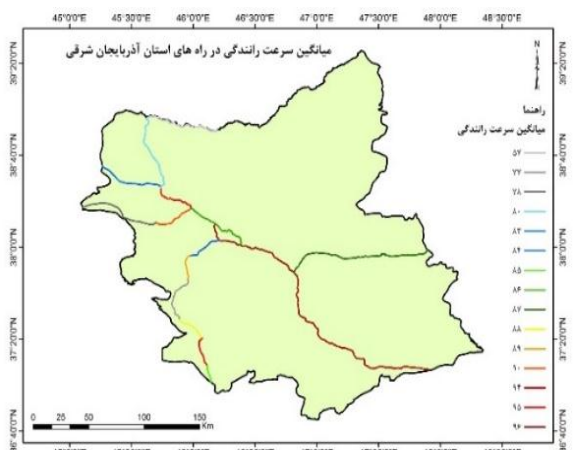
شکل ۶: موقعیت نقاط پر تصادم استان آذربایجان شرقی

Figure 6: The location of high accident spots in East Azarbaijan province



شکل ۹: نقشه حجم ترافیک راه های استان آذربایجان شرقی

Figure 9: Road traffic volume map of East Azarbaijan province



شکل ۸: میانگین سرعت رانندگی در راه‌های استان آذربایجان شرقی

Figure 8: Average driving speed on the roads of East Azerbaijan province

معیارها و زیر معیارهای استفاده شده در این پژوهش شامل چهار معیار اصلی می باشد که عبارتند از: عوامل اقلیمی، عوامل محیطی، عوامل توپوگرافی و عوامل جاده ای. معیار عوامل اقلیمی شامل سه زیر معیار: دما، سرعت باد و بارش می باشد. معیار عوامل محیطی شامل دو زیر معیار رود و گسل می باشد. معیار عوامل توپوگرافی شامل چهار زیر معیار: شیب، جهت شیب، ارتفاع و لیتولوژی می باشد و در نهایت معیار عوامل جاده ای شامل پنج زیر معیار: کیفیت آسفالت جاده، نقاط پر تصادف، حجم ترافیک، موقعیت تونل ها و میانگین سرعت رانندگی می باشد. معیارها و زیر معیارهای فوق الذکر، پس از مطالعه منابع و مقالات مختلف و ارائه نظر نویسندگان و در نهایت با استفاده از روش دلفی انتخاب گردیده اند.

مدل BWM

مدل بهترین-بدترین (BWM) اولین بار توسط رضایی^۳، استاد دانشگاه دلف هلند در سال ۲۰۱۵ ارائه گردیده است. در این روش پس از مشخص شدن معیارهای تصمیم گیری، بهترین (مهم ترین) و بدترین (کم اهمیت ترین) معیار توسط تصمیم گیرنده مشخص می شود و مقایسه زوجی بهترین معیار با سایر معیارها و سایر معیارها با بدترین معیار صورت می گیرد، در ادامه برای تعیین وزن معیارها یک مسئله حداکثری-حداقلی تشکیل شده و حل می شود. به منظور بررسی قابلیت اطمینان مقایسات زوجی از نرخ سازگاری که مخصوص این روش طراحی شده است استفاده می شود. ویژگی های برجسته این روش عبارتند از: ۱- نیاز به داده مقایسه ای کمتری دارد و ۲- منجر به مقایسه های استوارتر می گردد، که این امر بدین معنی می باشد که این روش نتایج قابل اعتمادتری را ارائه می دهد (Rezaei, 2015: 56).

مراحل روش بهترین-بدترین برای تعیین وزن معیارها به صورت زیر می باشد:

مرحله ۱: مشخص کردن مجموعه معیارهای تصمیم گیری.

در این مرحله معیارهایی (c_1, c_2, \dots, c_n) که برای رسیدن به تصمیم مورد نیاز می باشند تعیین می شوند.

مرحله ۲: مشخص کردن بهترین (مهم ترین) و بدترین (کم اهمیت ترین) معیار.

در این مرحله تصمیم گیرنده بهترین و بدترین معیار را در حالت کلی مشخص می کند. در این مرحله هیچ مقایسه ای انجام نمی شود.

مرحله ۳: مشخص کردن اهمیت بهترین معیار نسبت به معیارهای دیگر با انتخاب عددی بین ۱ تا ۹. در نتیجه بردار بهترین نسبت به سایرین تشکیل می شود:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}), \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن a_{Bj} نشان دهنده اهمیت بهترین معیار B نسبت به معیار j می باشد.

مرحله ۴: مشخص کردن اهمیت سایر معیارها نسبت به بدترین معیار با انتخاب عددی بین ۱ تا ۹. در نتیجه بردار سایرین نسبت به بدترین تشکیل می شود:

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots) \quad \text{رابطه (۲)}$$

a_{nw} که در آن a_{jw} نشان دهنده اهمیت معیار j نسبت به بدترین معیار می باشد.

مرحله ۵: پیدا کردن وزن های بهینه $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$.

وزن بهینه برای معیارها جایی است که در آن، برای هر جفت از w_B/w_j و w_j/w_w داشته باشیم $w_B/w_j = a_{Bj}$ و $w_j/w_w = a_{jw}$. برای برآورده شدن این شرایط برای همه j ها، باید راه حلی را پیدا کنیم که در آن حداکثر اختلاف مطلق (قدر مطلق اختلاف) $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$ و $\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right|$ برای همه j ها به حداقل برسد (مینیمم شود).

min ξ

s. t.

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \text{ for all } j$$

رابطه (۳)

$$\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi, \text{ for all } j$$

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \text{ for all } j$$

با حل رابطه شماره ۳، وزن های بهینه $w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$ و ξ^* به دست می آید.

محاسبه نرخ (نسبت) سازگاری^{۱۴}

یک مقایسه کاملاً سازگار است زمانی که برای همه j ها $a_{Bj} \times a_{jw} = a_{BW}$ ، که در آن a_{Bj} ، a_{jw} و a_{BW} به ترتیب اهمیت بهترین معیار نسبت به معیار j ، اهمیت معیار j نسبت به بدترین معیار و اهمیت بهترین معیار نسبت به بدترین معیار می باشد. به هر حال این امکان وجود دارد که برخی از j ها به طور کامل سازگار نباشند، به همین دلیل است که یک نسبت سازگاری برای نشان دادن سازگاری (ثبات) مقایسات ارائه شده است. نرخ (نسبت) سازگاری با استفاده از ξ^* محاسبه می شود. مقادیر بزرگتر ξ^* باعث افزایش نرخ سازگاری و کاهش قابلیت اعتماد مقایسات خواهند شد. از آنجا که $a_{Bj} \times a_{jw} = a_{BW}$ و $a_{BW} \in \{1, 2, 3, \dots, 9\}$ می باشد، می توان حداکثر مقدار ξ ($\max \xi$) را به دست آورد، از این حداکثر مقدار به عنوان شاخص سازگاری استفاده می گردد (جدول ۱)، با استفاده از شاخص سازگاری و رابطه شماره ۴ نسبت سازگاری محاسبه می شود. این نسبت بین ۰ تا ۱ می باشد و چقدر به صفر نزدیک تر باشد، مقایسات از سازگاری و ثبات بیشتر برخوردار می باشند و چقدر به یک نزدیک تر باشند، مقایسات از سازگاری و ثبات کمتری برخوردار می باشند.

جدول ۱- شاخص سازگاری

Table 1- Compatibility index

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	a_{BW}
۵/۲۳	۴/۴۷	۳/۷۳	۳	۲/۳	۱/۶۳	۱	۰/۴۴	۰	شاخص سازگاری ξ^* max

رابطه (۴)
$$\text{نسبت سازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}}$$



شکل ۱۰: فلوچارت مدل BWM

Figure 10: Flowchart of BWM model

مدل ANP

مدل ANP روشی جامع و قدرتمند برای تصمیم‌گیری است (Becker et al, 2018). در این روش عناصر مختلف به یکدیگر 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 et al., 2019)، بدین ترتیب مدل ANP به عنوان تعمیمی از مدل AHP ارائه گردیده است (Chou, 2018). در واقع اصطلاح خوشه در مدل ANP جایگزین اصطلاح سطح در مدل AHP گردیده است (Yalcin, 2008). به‌طور کلی روش ANP دارای سه قسمت کلی است: ۱- کنترل شبکه معیارها و زیرمعیارها، ۲- شبکه‌ای از روابط میان عناصر و خوشه‌ها، ۳- بازخورد بین خوشه‌های مختلف و عناصر داخل یک خوشه (Aragones et al., 2017). مراحل روش ANP برای تعیین وزن معیارها به‌صورت زیر می‌باشد:

مرحله ۱: ساخت مدل و پیکربندی مسأله: در مرحله اول مسأله باید به‌روشنی تعریف شود و اجزای آن به‌صورت شبکه‌ای تقسیم‌بندی شوند (Ataei, 2016: 21). بعد از این‌که عناصر شبکه مشخص شدند، آن‌ها باید به یکدیگر متصل شوند (Ertay et al., 2006).

مرحله ۲: 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 (Ataei, 2016: 22). با توجه به وجود وابستگی درونی، عناصر یک خوشه نیز باید مقایسه دودویی شوند (Zebardast, 2010: 86).

مرحله ۳: تشکیل سوپر ماتریس: سوپر ماتریس، ماتریسی از روابط بین اجزای شبکه است که از بردارهای اولویت این روابط به دست می‌آید (Mekaniki & Sadeghi, 2012: 130).

مرحله ۴: محاسبه توزیع ماندار سوپر ماتریس وزن دار شده: این امر مشابه با فرآیند زنجیره مارکوف با به توان رساندن سوپر ماتریس وزن دار شده به یک عدد بزرگ حاصل می‌شود (Ataei, 2016: 24).

مرحله ۵: نرمال کردن وزن‌های به دست آمده با در نظر گرفتن هر خوشه محاسبه نرخ (نسبت) سازگاری

به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از ماتریس‌های تصمیم‌گیری اقدام به محاسبه نرخ سازگاری می‌گردد. نرخ سازگاری در حالت مطلوب باید کمتر از ۰/۱ باشد. مراحل زیر برای محاسبه نرخ سازگاری به کار گرفته می‌شود:

مرحله ۱: محاسبه بردار مجموع وزنی،

مرحله ۲: محاسبه بردار سازگاری،

مرحله ۳: به دست آوردن λ_{max} ، برای این منظور میانگین عناصر بردار سازگاری محاسبه می‌گردد،

مرحله ۴: محاسبه شاخص سازگاری^{۱۵}، بدین منظور از رابطه شماره ۵ استفاده می‌شود.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن n تعداد معیارهای موجود در ماتریس مقایسه زوجی می‌باشد.

مرحله ۵. محاسبه نرخ (نسبت) سازگاری: نسبت سازگاری از تقسیم شاخص سازگاری بر شاخص تصادفی^{۱۶} به دست می‌آید.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطه (۶)}$$

جدول ۲- شاخص تصادفی

Table 2- Random index

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰	۰	۰/۵۲	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۵۴	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۸

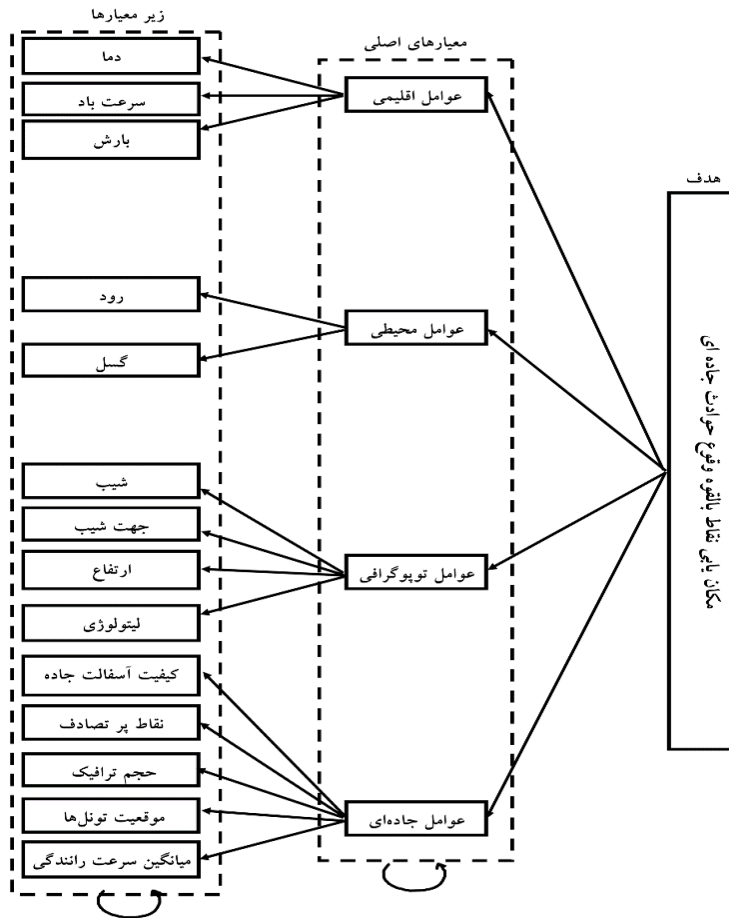
15- Consistency Index (CI)

16- Random Index (RI)



شکل ۱۱: فلوچارت مدل ANP

Figure 11: ANP model flowchart



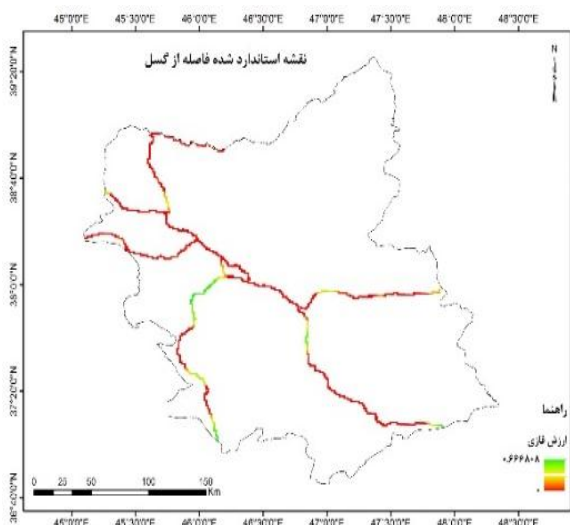
شکل ۱۲: پیکربندی مدل ANP

Figure 12: ANP model configuration

در ادامه به منظور شناسایی نقاط حادثه خیز جاده ای، تمام نقشه های معیار تهیه شده در محیط نرم افزار ArcGIS 10.5 با استفاده از تابع Euclidean Distance به فرمت رستر تبدیل گردیدند. در ادامه با استفاده از توابع استاندارد سازی فازی، تمامی نقشه های معیار استاندارد گردیدند. به منظور همپوشانی لایه های استاندارد شده معیارهای مورد نظر، از روش همپوشانی فازی و عملگر گاما در محیط GIS استفاده گردید و لایه ها و وزن های به دست آمده با یکدیگر تلفیق شده و نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده ای به دست آمد. این کار به طور جداگانه برای مدل های ANP و BWM انجام شد؛ سپس با استخراج پیکسل های مربوط به راه های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی در نقشه های نهایی حاصل از مدل ANP و BWM وضعیت راه های استان از نظر وقوع حوادث جاده ای بررسی گردید.

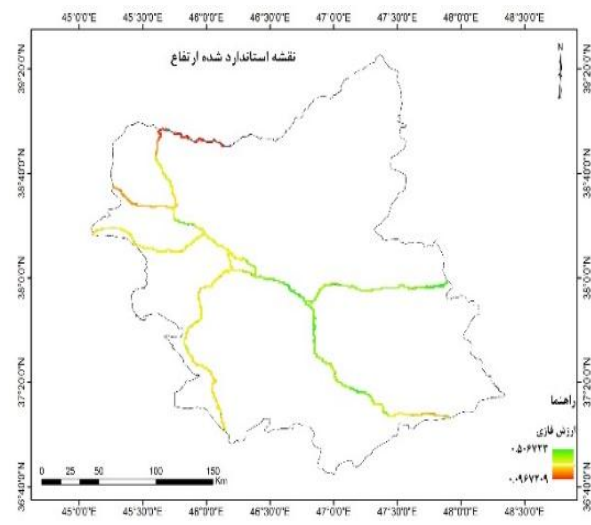
یافته ها و بحث

در ابتدا لایه های مربوط به معیارهای تصمیم گیری با استفاده از توابع فازی استاندارد گردیدند (شکل های ۱۳ تا ۲۶). برای اجرای مدل BWM پس از مشخص شدن معیارهای تصمیم گیری، بهترین معیار (عوامل اقلیمی) و بدترین معیار (عوامل محیطی) مشخص شد، در ادامه بهترین معیار (بارش) و بدترین معیار (رود) مشخص شد. پرسشنامه مربوط به مقایسات زوجی معیارها و زیر معیارها تهیه شده و بین ۳۰ نفر از کارشناسان اقلیم شناسی و حمل و نقل توزیع شد تا مقایسات زوجی بهترین معیار با سایر معیارها و سایر معیارها با بدترین معیار، طبق نظر آنها انجام شود؛ پس از جمع آوری پرسشنامه ها از آنها میانگین گیری شده و با تشکیل یک مدل خطی در محیط نرم افزار LINGO وزن های بهینه معیارها و زیر معیارها محاسبه گردید. در نهایت با توجه به رابطه نسبت سازگاری، ماتریس مقایسات زوجی از لحاظ استواری ارزیابی شده و نسبت سازگاری محاسبه گردید. به دلیل تعداد زیاد محاسبات و ماتریس های مربوطه، از ارائه همه آنها خودداری می شود و فقط به نتایج نهایی اشاره می شود (جدول ۳).



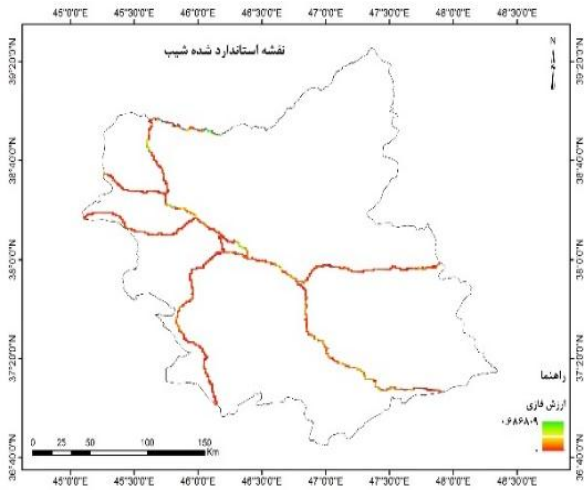
شکل ۱۴: نقشه استاندارد شده فاصله از گسل

Figure 14: Standardized map of the distance from the fault

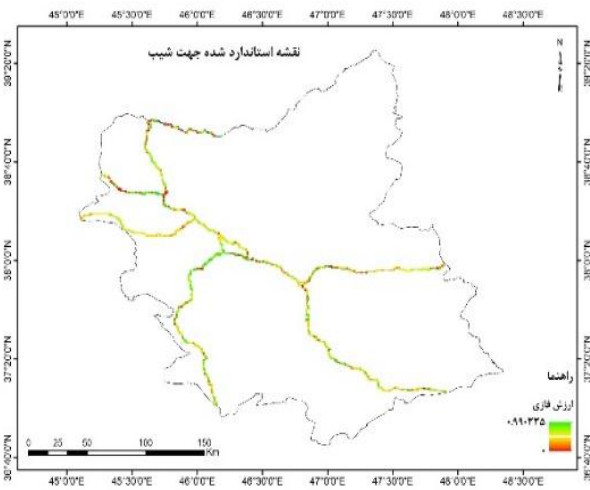


شکل ۱۳: نقشه استاندارد شده ارتفاع

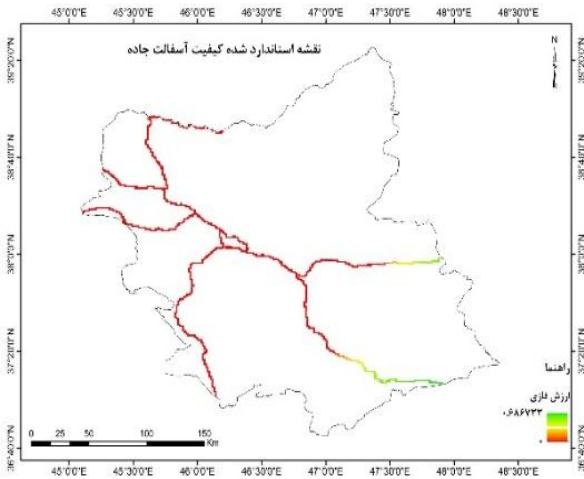
Figure 13: Standardized elevation map



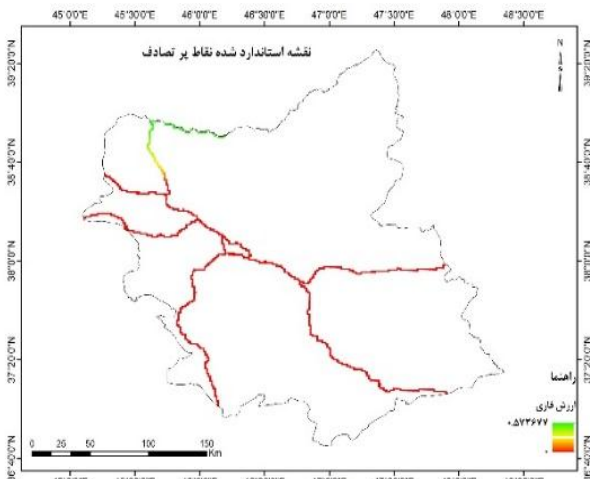
شکل ۱۶: نقشه استاندارد شده شیب
Figure 16: Standardized slope map



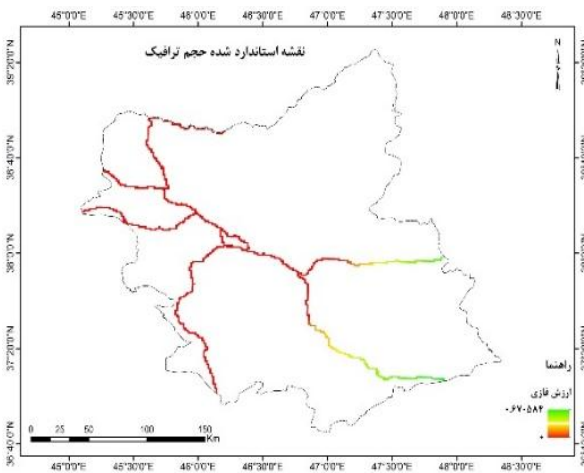
شکل ۱۵: نقشه استاندارد شده جهت شیب
Figure 15: Standardized slope direction map



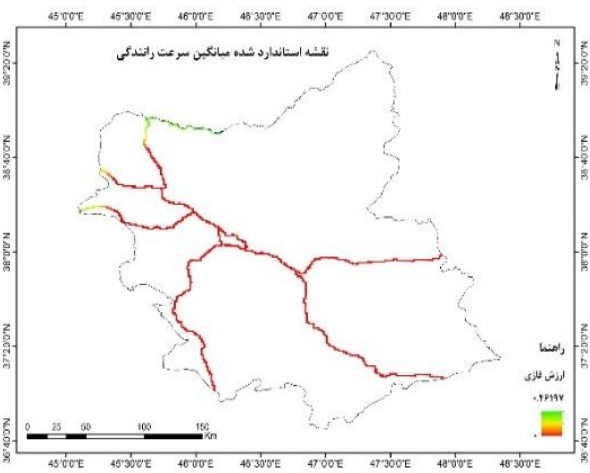
شکل ۱۸: نقشه استاندارد شده کیفیت آسفالت جاده
Figure 18: Standardized road asphalt quality map



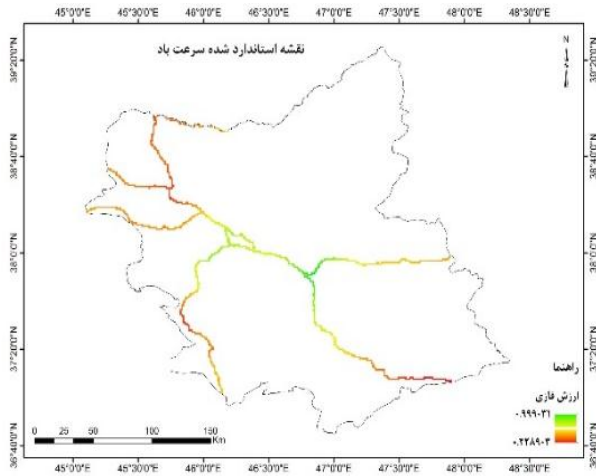
شکل ۱۷: نقشه استاندارد شده نقاط پر تصادف
Figure 17: Standardized map of accident hotspots



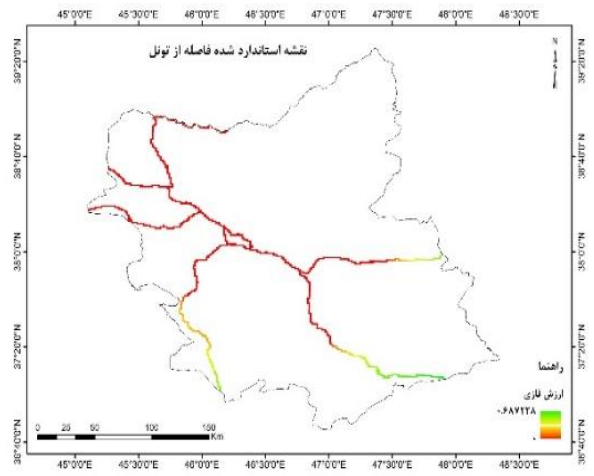
شکل ۲۰: نقشه استاندارد شده حجم ترافیک
Figure 20: Standardized traffic volume map



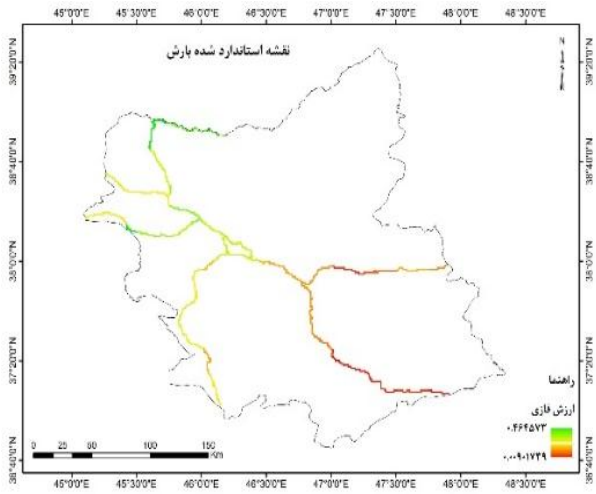
شکل ۱۹: نقشه استاندارد شده میانگین سرعت رانندگی
Figure 19: Standardized map of average driving speed



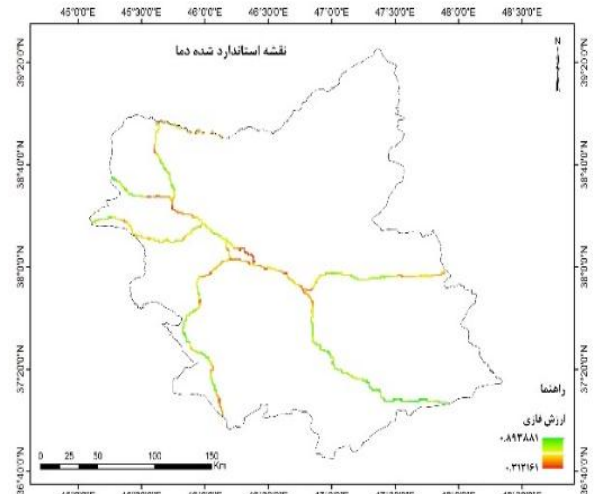
شکل ۲۲: نقشه استاندارد شده سرعت باد
Figure 22: Standardized map of wind speed



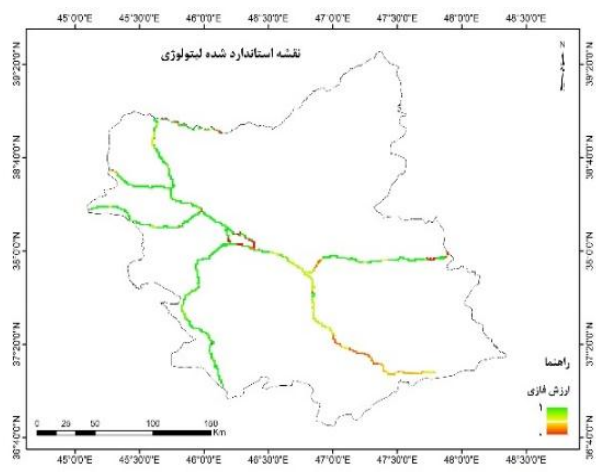
شکل ۲۱: نقشه استاندارد شده فاصله از تونل
Figure 21: Standardized map of the distance from the tunnel



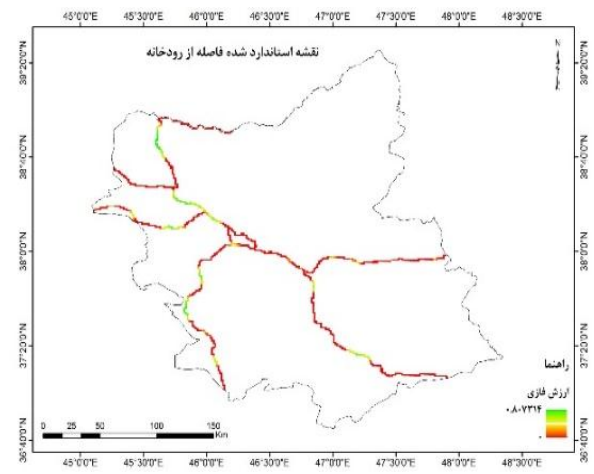
شکل ۲۴: نقشه استاندارد شده بارش
Figure 24: Standardized precipitation map



شکل ۲۳: نقشه استاندارد شده دما
Figure 23: Standardized temperature map



شکل ۲۶: نقشه استاندارد شده لیتولوژی
Figure 26: Standardized lithology map



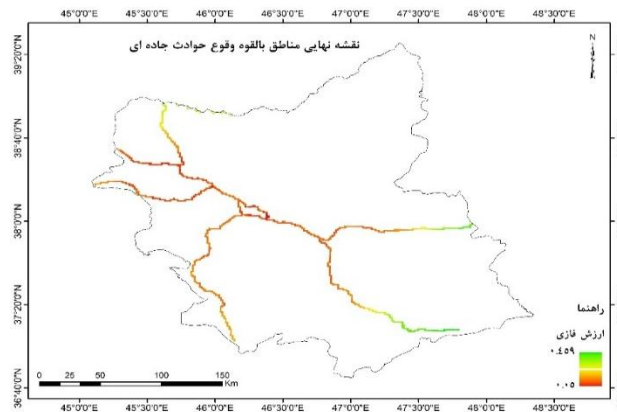
شکل ۲۵: نقشه استاندارد شده فاصله از رودخانه
Figure 25: Standardized map of the distance from the river

جدول ۳- وزن‌های نهایی به‌دست آمده از روش BWM برای معیارها و زیر معیارها

Table 3- The final weights obtained from the BWM method for criteria and sub-criteria

وزن	زیر معیار	وزن	معیار
۰/۰۸۵	دما	۰/۶	عوامل اقلیمی
۰/۰۳۶	سرعت باد		
۰/۱۸۵	بارش		
۰/۰۱۶	رود	۰/۰۶۴	عوامل محیطی
۰/۰۳۸	گسل		
۰/۰۴۳	شیب	۰/۱۰۶	عوامل توپوگرافی
۰/۰۳۷	جهت شیب		
۰/۰۶۴	ارتفاع		
۰/۰۲۲	لیتولوژی		
۰/۰۹۹	کیفیت آسفالت جاده	۰/۲۳	عوامل جاده‌ای
۰/۰۹۸	نقاط پرتصادف		
۰/۱۰۴	حجم ترافیک		
۰/۰۶۶	موقعیت تونل‌ها		
۰/۰۹۷	میانگین سرعت رانندگی		
مقدار \sum * ۰/۳۹۴۴۴۸۷ شاخص سازگاری ۵/۲۳ نرخ (نسبت) سازگاری ۰/۰۷۵			

پس از وزن‌دهی لایه‌های موجود، نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای تهیه شد (شکل ۲۷) بر اساس نتایج به‌دست آمده مناطق بسیار پر خطر بیش‌ترین مناطق را در پهنه استان آذربایجان شرقی به‌خود اختصاص داده است و پس از آن مناطق پر خطر، متوسط، کم خطر و بسیار کم خطر 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 شده 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 شدند (جدول ۴) و راه‌های ترانزیتی استان از این لحاظ مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۲۷: نقشه نهایی مناطق بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای بر اساس مدل BWM

Figure 27: The final map of the potential areas of road accidents based on the BWM model

جدول ۴- رتبه بندی راه های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی از لحاظ پتانسیل وقوع حوادث جاده ای بر اساس مدل BWM

Table 4- Ranking of the transit roads of East Azarbaijan province in terms of the potential of road accidents based on the BWM model

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

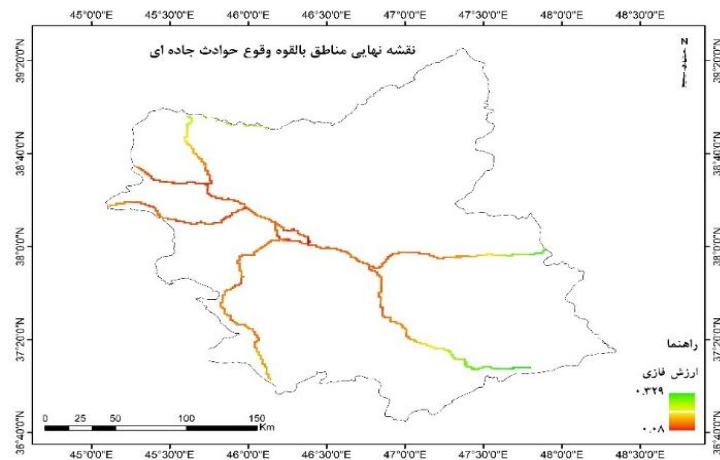
پس از تشکیل شبکه مسأله مورد بررسی و تعیین وابستگی های بیرونی و داخلی معیارها (۲۴) با استفاده از قضاوت های ترجیحی کارشناسان وزن لایه های موثر بر مکان بایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده ای تعیین گردید. به این صورت که پرسشنامه هایی (۳۰ پرسشنامه) بین کارشناسان مربوطه توزیع شد و کارشناسان قضاوت های ترجیحی خود را در زمینه میزان اهمیت هر یک از معیارها و زیر معیارها بیان کردند. سپس با استفاده از مدل ANP در محیط نرم افزار Super Decisions وزن هر یک از معیارها و زیر معیارها در هر یک از پرسشنامه های متخصصان محاسبه گردید (به دلیل تعداد زیاد محاسبات و ماتریس های مربوطه، از ارائه همه آنها خودداری می شود و فقط به نتایج نهایی اشاره می شود) (جدول ۵).

جدول ۵- وزن های نهایی به دست آمده از روش ANP برای معیارها و زیر معیارها

Table 5- The final weights obtained from the ANP method for criteria and sub-criteria

وزن	زیر معیار	وزن	معیار
۰/۰۷۱	دما	۰/۶۷۵	عوامل اقلیمی
۰/۰۳۹	سرعت باد		
۰/۱۶۴	بارش		
۰/۰۱۴	رود	۰/۰۱۹	عوامل محیطی
۰/۰۳۵	گسل		
۰/۰۴۱	شیب	۰/۱۳۴	عوامل توپوگرافی
۰/۰۳۴	جهت شیب		
۰/۰۶۲	ارتفاع		
۰/۰۳۵	لیتولوژی		
۰/۱۰۱	کیفیت آسفالت جاده	۰/۱۷۲	عوامل جاده ای
۰/۱	نقاط پر تصادف		
۰/۱۰۶	حجم ترافیک		
۰/۰۹۵	موقعیت تونل ها		
۰/۱۰۳	میانگین سرعت رانندگی		
			نرخ (نسبت) سازگاری: ۰/۰۹

پس از وزن دهی لایه های موجود، نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده ای تهیه شد (شکل ۲۸) بر اساس نتایج به دست آمده مناطق بسیار پر خطر بیشترین مناطق را در پهنه استان آذربایجان شرقی به خود اختصاص داده است و پس از آن مناطق پر خطر، متوسط، کم خطر و بسیار کم خطر قرار دارند. در ادامه با استفاده از تابع Extract Value to Points در محیط نرم افزار ArcGIS 10.5 پیکسل های مربوط به جاده های ترانزیتی استان استخراج شده و بر اساس اعداد میانگین به دست آمده در دو مسیر رفت و برگشت در قطعات مختلف جاده های ترانزیتی، جاده های ترانزیتی استان از لحاظ پتانسیل وقوع حوادث جاده ای رتبه بندی شدند (جدول ۶) و راه های ترانزیتی استان از این لحاظ مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۲۸: نقشه نهایی مناطق بالقوه وقوع حوادث جاده ای بر اساس مدل ANP

Figure 28: The final map of the potential areas of road accidents based on the ANP model

جدول ۶- رتبه بندی راه های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی از لحاظ پتانسیل وقوع حوادث جاده ای بر اساس مدل ANP

Table 6- Ranking of the transit roads of East Azarbaijan province in terms of the potential of road accidents based on the ANP model

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

بر اساس نتایج به دست آمده از مدل BWM مسیر کشکسرای - مرند خطرناکترین مسیر از لحاظ احتمال وقوع حوادث جاده ای است. مسیر صوفیان-شبستر نیز در رتبه بعدی خطرناکترین مسیرها از لحاظ احتمال وقوع حوادث

جاده‌ای قرار دارد و پس از آن مسیر مرند-صوفیان قرار دارد. مسیرهای بعدی نیز از این حیث به ترتیب در جدول (۴) 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. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل ANP 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 (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. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص می‌شود که هر دو مدل مسیر کشکسرای - مرند را به عنوان خطرناک‌ترین مسیر و مسیر جلفا - نوردوز به عنوان کم خطرترین مسیر در نظر گرفته‌اند و اختلاف دو مدل در مسیرهای دیگر می‌باشد. برای مقایسه دو مدل از نرخ (نسبت) سازگاری استفاده گردید بر این اساس مدل BWM با نرخ سازگاری ۰/۰۷۵ نسبت به مدل ANP با نرخ سازگاری ۰/۰۹ عملکرد بهتری داشته است. همچنین برای تطبیق نتایج دو مدل با نقاط کنترل زمینی، ۳۰ نقطه که در آن تصادفات بیش‌تری اتفاق افتاده بود به صورت تصادفی انتخاب گردید، بر اساس نتایج به دست آمده در مدل BWM ۲۶ نقطه از این نقاط با مناطق پر خطر منطبق بودند و در مدل ANP ۲۲ نقطه از این نقاط با مناطق پر خطر منطبق بودند، این موضوع نشان دهنده دقت بیش‌تر مدل BWM نسبت به مدل ANP می‌باشد.

نتیجه‌گیری

افزایش وسایل نقلیه موتوری و استفاده روزافزون از اتومبیل در نیم قرن اخیر، اثرات نامطلوبی را به دنبال داشته است که از آن جمله میزان تصادفات و میزان خسارات جانی و مالی ناشی از آن می‌باشد. عوامل مختلفی ممکن است در بروز تصادفات جاده‌ای اثرگذار باشند که برخی از عوامل اجتناب‌ناپذیر بوده و برخی قابل کنترل می‌باشند. از جمله این عوامل می‌توان به مشکلات طرح هندسی مسیر، شرایط محیطی و عوامل انسانی اشاره کرد. به منظور شناسایی مناطق پرخطر جاده‌ای نیاز به کمی کردن وضعیت خطر است. بدین منظور در این تحقیق از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و دو مدل ANP و BWM 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، عوامل جاده‌ای) و ۱۴ زیر معیار است. با توجه به نتایج به دست آمده از هر دو مدل مورد استفاده، و وزن‌های به دست آمده از آن‌ها معیار عوامل اقلیمی بیش‌ترین اهمیت را در وقوع حوادث جاده‌ای دارد و زیر معیار بارش 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 در نتایج هر دو مدل، مسیر کشکسرای - مرند خطرناک‌ترین مسیر و مسیر جلفا - نوردوز

کم خطرترین مسیر از لحاظ احتمال وقوع حوادث جاده‌ای در سطح جاده‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی هستند. در نهایت نتایج دو مدل با یکدیگر مقایسه شد، بر این اساس مدل BWM با نرخ سازگاری ۰/۰۷۵ نسبت به مدل ANP با نرخ سازگاری ۰/۰۹ عملکرد بهتری داشته است. همچنین تطبیق نتایج حاصل از دو مدل مورد استفاده با نقاط کنترل زمینی نشان از دقت و کارایی بیش‌تر مدل BWM نسبت مدل ANP دارد. نتایج این تحقیق همسو با نتایج تحقیق افندی‌زاده و همکاران است که از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به‌عنوان ابزاری موثر برای شناسایی نقاط پر تصادف جاده‌ای یاد کرده‌اند. در نهایت می‌توان گفت مدل BWM به‌عنوان مدلی نوین، کارایی مناسبی به‌منظور مکان‌یابی و شناسایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای دارد 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 دیگر تصمیم‌گیری چند معیاره نیز استفاده گردد و نتایج آن‌ها با یکدیگر و به‌خصوص با مدل BWM مقایسه شود و همچنین با استفاده از معیارها و داده‌های برداشت شده زمینی بیش‌تر دقت و کیفیت مدل‌سازی افزایش یابد.

References

- Agarwal, P. K., Patil, P. K., Mehar, R., (2013), "A methodology for ranking road safety hazardous locations using analytical hierarchy process", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104: 1030-1037.
- Aragonés-Beltrán, P., García-Melón, M., 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*, 35 (3): 451-462.
- Ataei, M., (2016), "*Multi-criteria decision making*", Shahroud: Shahroud University of Technology pub. [In Persian].
- Becker, J., Becker, A., Sulikowski, P., Zdziebko, T., (2018), "ANP-based analysis of ICT usage in Central European enterprises", *Procedia computer science*, 126: 2173-2183.
- Chou, C. C., (2018), "Application of ANP to the selection of shipping registry: The case of Taiwanese maritime industry", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 67: 89-97.
- Ertay, T., Ruan, D., Tuzkaya, U. R., (2006), "Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems", *Information Sciences*, 176 (3): 237-262.
- Farajzadeh Asl, M., Bahooshi, A., (2012), "Analysis of deathly road accidents in Novrooz holidays of year 2007 with climate approach", *Geography and Development Iranian Journal*, 26 (10): 73-85. [In Persian].
- Farajzadeh Asl, M., Gholizadeh, M. H., Adabi Firozjai, A., (2010), "Spatial analysis of accidents with climatic hazards approach Case study: Karaj-chalous road", *Physical Geography Research Quarterly*, 73: 37-51. [In Persian].
- Farias, L. M. S., Santos, L. C., Gohr, C. F., Rocha, L. O., (2019), "An ANP-based approach for lean and green performance assessment", *Resources, Conservation and Recycling*, 143: 77-89.
- Habibi Nokhandan, M., (2009), "Study of spatial and temporal distribution of rainfall and its effects on road transport safety in Iran", *Journal of Transportation Research*, 6 (2): 185-192. [In Persian].
- Hellebrandt, T., Heine, I., Schmitt, R. H., (2018), "ANP-based knowledge management solutions framework for the long-term complaint knowledge transfer", *Total Quality Management & Business Excellence*, 29 (9-10): 1074-1088.
- Heqimi, G., Gates, T. J., Kay, J. J., (2018), "Using spatial interpolation to determine impacts of annual snowfall on traffic crashes for limited access freeway segments", *Accident Analysis & Prevention*, 121: 202-212.
- Malin, F., Norros, I., Innamaa, S., (2019), "Accident risk of road and weather conditions on different road types", *Accident Analysis & Prevention*, 122: 181-188.
- Mekaniki, J., Sadeghi, H., (2012), "Locating health centers (hospitals) in Birjand by integrating the ANP process and comparing couples in the GIS environment", *Journal Management System*, 19 (5): 121-142. [In Persian].
- Moemeni-Mojhdeh, A. H., Abtahi-Foroushani, S. M., Safavi, H. R., (2016), "The method for recognize and hazard zoning on Esfahan road network", *Journal of Transportation Research*, 13 (3): 104-131. [In Persian].
- Montella, A., (2010), "A comparative analysis of hotspot identification methods", *Accident Analysis & Prevention*, 42 (2): 571-581.
- Mousavi Foladi, S. R., (2011), "The role of climatic elements in reducing the safety of the terrestrial transport network the axis studied on the road of Semnan- Sari", *Second National*

Conference on Road Accidents, Railways and Air Crashes, Zanzan, Azad University of Zanzan 132-147. [In Persian].

- Nazmfar, H., Eshghei Char Borj, A., Alavi, S., Jasaraty, A., (2017), "Spatial analysis of road accidents resulting in death approach to climate (Case study: Ardabil province)", *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 103 (26): 83-97. [In Persian].

- Peden, M., (2004), "World report on road traffic injury prevention", London: INTL Press, 144 PP.

- Rahmani, M., (2016), "Zoning of road accident-prone to determine the black spots by using GIS (Case Malayer, Hamedan path)", *Journal Management System*, 34 (9): 155-175. [In Persian].

- Rezaei, J., (2015), "Best-worst multi-criteria decision-making method", *Omega*, 53: 49-57.

- Saaty, T. L., (2008), "Decision making with the analytic hierarchy process", *International Journal of Services Sciences*, 1 (1): 83-98.

- Shabani, Sh., Arjrodi, A., (2007), "*Crash data collection black spot identification*", Tehran: Ministry of Roads and Urban Development Press. [In Persian].

- Shah, S. A. R., Ahmad, N., Shen, Y., Kamal, M. A., Basheer, M. A., Brijs, T., (2019), "Relationship between road traffic features and accidents: An application of two-stage decision making approach for transportation engineers", *Journal of Safety Research*, 3 (2): 34-49.

- Tavakoli, H., Saberi, H., (2016), "Evaluation the sustainability of urban transportation network through analytical network process (ANP) (Case study: District 21-Tehran)", *Urban Management Studies*, 28 (8): 83-99. [In Persian].

- Van Raemdonck, K., Macharis, C., Mairesse, O., (2013), "Risk analysis system for the transport of hazardous materials", *Journal of safety research*, 45: 55-63.

- Yalcin, A., (2008), "GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations", *Catena*, 72 (1): 1-12.

- Zebardast, E., (2010), "The application of analytic network process (ANP) in urban and regional planning", *Honar-Ha-Ye-Ziba Memari-Va-Shahrsazi*, 41 (2): 79-90. [In Persian].

- Zhai, X., Huang, H., Gao, M., Dong, N., Sze, N. N., (2018), "Boundary crash data assignment in zonal safety analysis: an iterative approach based on data augmentation and Bayesian spatial model", *Accident Analysis & Prevention*, 121: 231-237.