



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

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه علمی فضای جغرافیایی

DOI: DOI:10.52547/GeoSpa.22.3.21

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

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

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۳

چکیده

افزایش وسائل 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 به عنوان مدلی نوین، از جمله مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که می‌تواند در مدل‌سازی‌های مختلف مکانی به کار برد شود. برای شناسایی نقاط حادثه خیز جاده‌ای از ۴ معیار (عوامل اقلیمی، عوامل محیطی، عوامل توپوگرافی، عوامل جاده‌ای) و ۱۴ زیر معیار استفاده شده است. به منظور 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 بدست

E-mail: mrap91@yahoo.com

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

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 0.75% نسبت به مدل ANP با نرخ سازگاری 0.9% 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.

کلید واژه‌ها: نقاط حادثه خیز جاده‌ای، محورهای ترانزیتی، مدل BWM، مدل ANP، آذربایجان‌شرقی.

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 مرگ و میرهای ناشی از تصادفات را در بر می‌گیرد (Zhai et al., 2018: 233). نقاط حادثه خیز با تعاریفی نظری: موقعیت‌های خطرناک راه، مکان‌هایی با ریسک بالا، موقعیت‌های سانحه‌پذیر و... شناخته می‌شوند (Montella, 2010: 575). افزایش وسائل نقلیه موتوری و استفاده روزافرونه 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 & Bahrooshi, 2012: 75). تعداد افراد کشته شده در حوادث جاده‌ای در سراسر جهان، سالیانه حدود $1/2$ میلیون نفر تخمین زده می‌شود، در حالی که تعداد افراد مجروح شده در این گونه حوادث تا 50 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 518 بیلیون دلار در سال می‌رسد (Mousavi Foladi, 2011: 6). حوادث جاده‌ای نهمین عامل مرگ و میر در جهان و دومین عامل مرگ و میر در ایران بعد از بیماری‌های قلبی و عروقی می‌باشد. میزان تصادفات جاده‌ای در ایران 20 برابر کشورهای صنعتی و 5 برابر کشورهای هم سطح خود (مصر و ترکیه) می‌باشد، به طوری که تلفات جاده‌ای در ایران در هر ساعت 3 نفر تخمین زده می‌شود (Nazmfar et al., 2017: 85). در ایران از هر 100 نفر مجروح در حوادث جاده‌ای، 24 نفر می‌میرند؛ در حالی که در کشورهای پیشرفته از هر 100 نفر مجروح، یک نفر می‌میرد (Farajzadeh Asl et al., 2010: 41). شبکه حمل و نقل 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، زمین‌لغزش، جریان توده خاک، ریزش کوه، سقوط بهمن، توفان شن، کولاک برف، ریزش برف شدید، یخbandان و... عوامل انسانی موثر در حوادث جاده‌ای عبارت‌اند از: تصادفات رانندگی، انفجار خطوط گاز رسانی، حوادث ناشی از اشتباها 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 گسترده‌گی ایران و وجود ارتفاعات مختلف، شرایط اقلیمی مختلفی نیز در جاده‌های کشور وجود دارد، به‌طوری که همه ساله یخbandان‌های 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 حمل و نقل روی می‌دهد (Habibi Nokhandan, 2009: 188).

به‌منظور شناسایی مناطق پر خطر جاده‌ای نیاز به کمی کردن وضعیت خطر است. ساده‌ترین روش استفاده از فراوانی حوادث است، روش دیگر برای شناسایی مناطق پر خطر 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 BWM⁵ 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 ANP⁶ 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 حمل و نقلی در این استان، موجب افزایش روزافزون آسیب‌ها و هزینه‌های ناشی از وقوع حوادث در شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ای این استان گردیده است. بر این اساس در این پژوهش به شناسایی نقاط حادثه خیز جاده‌ای در محورهای ترانزیتی استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل‌های BWM و ANP 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؛ به‌طوری که (Rahmani 2016) طی پژوهشی به پنهان‌بندی 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 رostaهای سنگستان، سرخآباد، آبشیشه، کنجینه، یکانه از جمله نقاط ایجاد تصادفات، بالاخص تصادفات منجر به فوت می‌باشند. (Tavakoli & Saberi 2015) به ارزیابی پایداری شبکه حمل و نقل 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 زیست‌محیطی 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 Mozhdeh et al 2016) طی مقاله‌ای به ارایه روشی جهت شناسایی و اولویت‌بندی نقاط مستعد مخاطرات در شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ای استان اصفهان پرداختند. آن‌ها ابتدا با استفاده از همپوشانی نقشه‌های مخاطرات و شبکه راه‌ها، نقاط حادثه‌خیز 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 حادثه‌خیز جاده‌ای با استفاده از مدل AHP^۷ پرداختند. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق مسیر جیپور-کیشنگاره^۸ می‌باشد، آن‌ها بدین‌منظور 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 کیلومتر ۸ 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 این‌منظور 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 لغزنده‌گی جاده‌ها به حداقل میزان خود می‌رسد. همچنین بررسی شرایط جاده‌ای نشان می‌دهد خطر تصادفات در بزرگراه‌ها بیشتر 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 حادثه‌خیز 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 حادثه‌خیز جاده‌ای استفاده شده است.

منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین استان واقع در شمال‌غرب 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 $۳۶^{\circ} ۴۵' ۵۵''$ الی $۳۹^{\circ} ۲۳' ۵۲''$ عرض

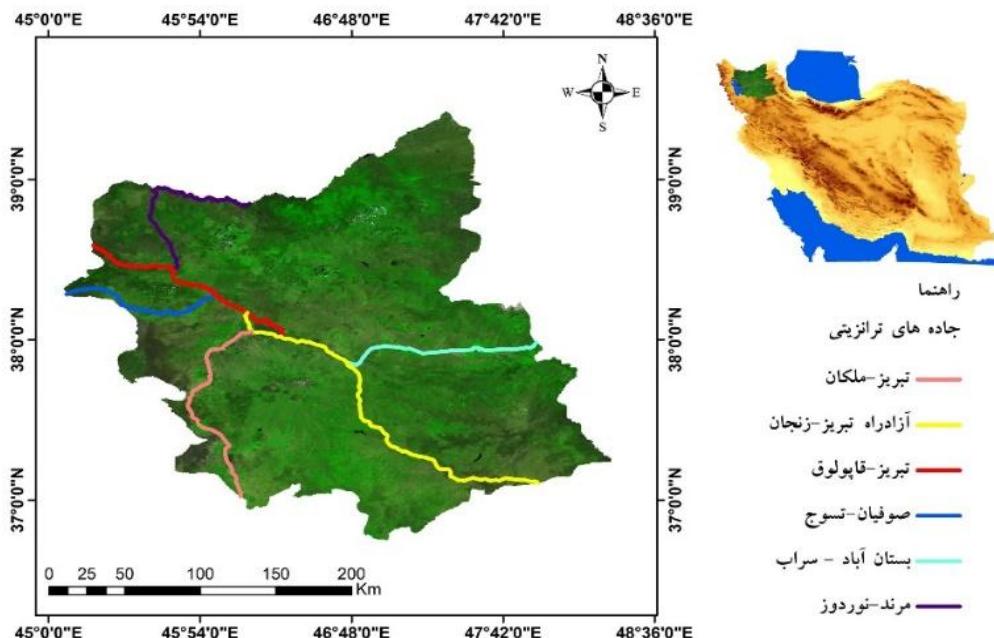
7- Analytical Hierarchy Process

8- Jaipur-Kiashangarh

9- Jaipur-Kiashangarh

10- Data Envelopment Analysis

شمالی و $23^{\circ} 5' 45''$ الی $26^{\circ} 48'$ 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 هم مرز 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 که عبارتند از: ۱- آزادراه تبریز - زنجان (تا انتهای حوزه استحفاظی)، ۲- تبریز-قابولوق (تا انتهای حوزه استحفاظی)، ۳- بستان آباد - سراب (تا انتهای حوزه استحفاظی)، ۴- صوفیان-تسوچ (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.

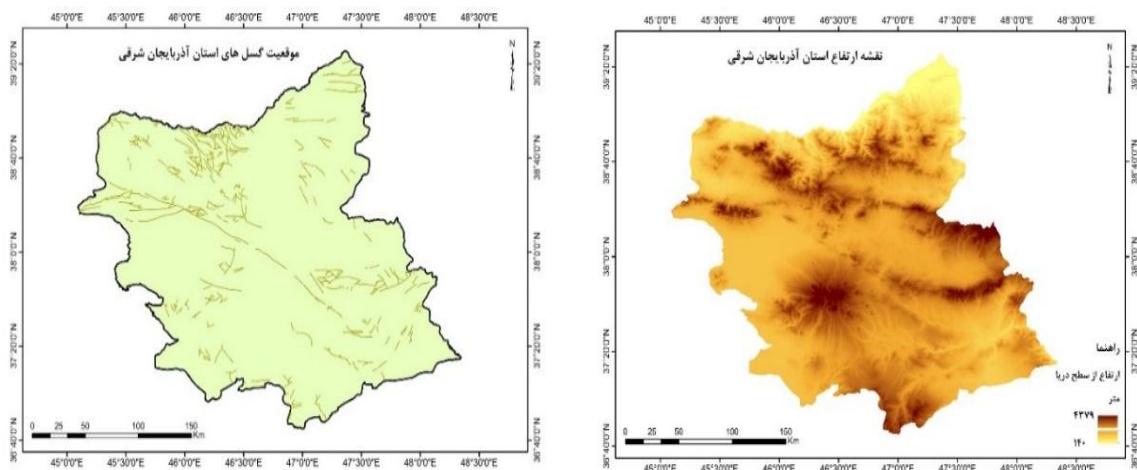


شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1: Location of the study area

مواد و روش‌ها

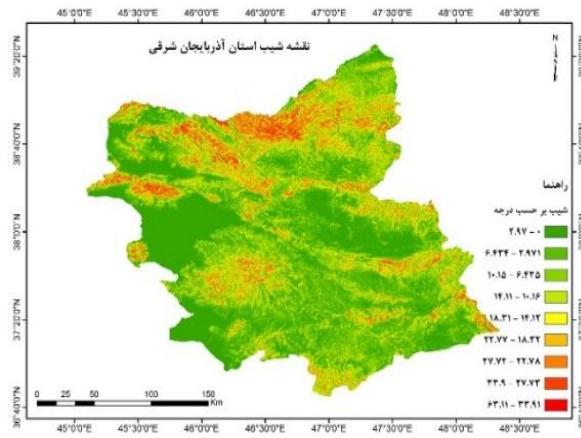
روش تحقیق در این پژوهش توصیفی-تحلیلی می‌باشد که برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق از بررسی‌های استنادی، کتابخانه‌ای و پیمایش مطالعات میدانی استفاده شده است که شامل داده‌های مکانی و توصیفی مختلفی می‌باشد. این داده‌ها و اطلاعات به منظور مدل‌سازی و شناسایی نقاط حادثه‌خیز جاده در 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 لیتوژوئی 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 لیتوژوئی 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 حمل و نقل 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 وزن دهی به معیارها و زیر معیارها با توجه به نظر کارشناسان اقلیم شناسی و حمل و نقل از Super Decision و BWM استفاده شده است. نرمافزار LINGO برای انجام مدل ANP و نرمافزار BWM برای انجام مدل ANP استفاده گردیده است. برای انجام مراحل تحقیق ابتدا داده‌های ماهواره‌ای از سایت NASA 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 ANP و BWM آماده شوند. در ادامه برخی از این معیارها نشان داده شده است.



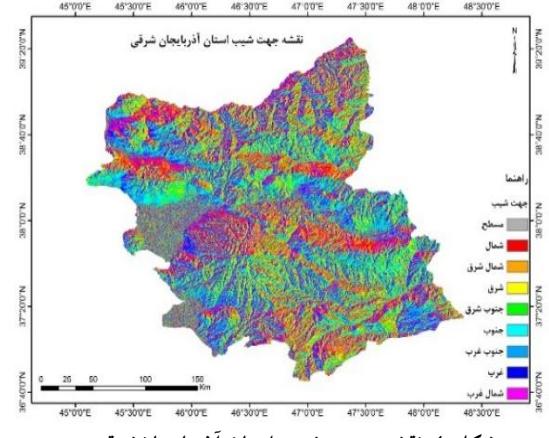
شکل ۲: نقشه ارتفاع استان آذربایجان شرقی

Figure 2: Elevation map of East Azarbaijan province



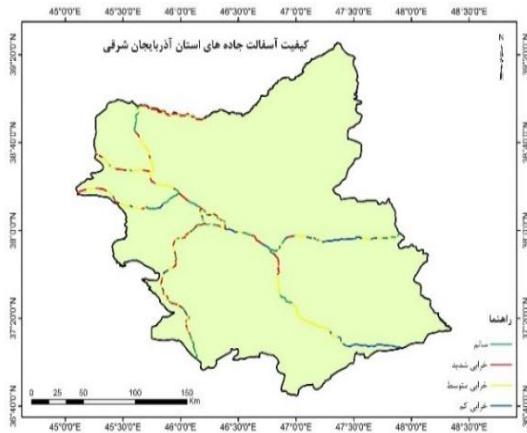
شکل ۵: نقشه شیب استان آذربایجان شرقی

Figure 5: Slope map of East Azerbaijan province



شکل ۴: نقشه جهت شیب استان آذربایجان شرقی

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



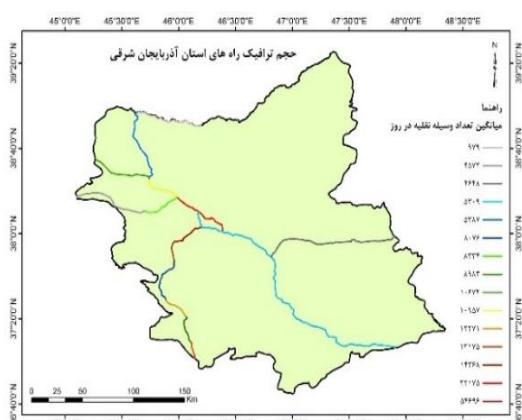
شکل ۷: نقشه کیفیت آسفالت جاده های استان آذربایجان شرقی

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



شکل ۶: موقعیت نقاط پر تصادف استان آذربایجان شرقی

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



شکل ۹: نقشه حجم ترافیک راه های استان آذربایجان شرقی

Figure 9: Road traffic volume map of East Azerbaijan province



شکل ۸: میانگین سرعت رانندگی در راه های 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 می‌باشد که عبارتند از: عوامل اقلیمی، عوامل محیطی، عوامل توپوگرافی و عوامل جاده‌ای. معیار عوامل اقلیمی شامل سه زیر معیار: دما، سرعت باد و بارش می‌باشد. معیار عوامل محیطی شامل دو زیر معیار رود و گسل می‌باشد. معیار عوامل توپوگرافی شامل چهار زیر معیار: شبیب، جهت شبیب، ارتفاع و لیتلولوژی می‌باشد و در نهایت معیار عوامل جاده‌ای شامل پنج زیر معیار: کیفیت آسفالت جاده، نقاط پر تصادف، حجم ترافیک، موقعیت تونل‌ها و میانگین سرعت رانندگی می‌باشد. معیارها و زیر معیارهای فوق الذکر، پس از مطالعه منابع و مقالات مختلف و ارائه نظر نویسندها و در نهایت با استفاده از روش دلfüی انتخاب گردیده‌اند.

مدل BWM

مدل بهترین-بدترین (BWM) اولین بار توسط رضایی^{۱۳}، استاد دانشگاه دلف هلند در سال ۲۰۱۵ ارائه گردیده است. در این روش پس از مشخص شدن معیارهای تصمیم‌گیری، بهترین (مهم‌ترین) و بدترین (کم اهمیت‌ترین) معیار توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و مقایسه زوجی بهترین معیار با سایر معیارها و سایر معیارها با بدترین معیار صورت می‌گیرد، در ادامه برای تعیین وزن معیارها یک مسئله حداقلی-حداکثری تشکیل شده و حل می‌شود. به منظور بررسی قابلیت اطمینان مقایسات زوجی از نرخ سازگاری که مخصوص این روش طراحی شده است استفاده می‌شود. ویژگی‌های بر جسته این روش عبارتند از: ۱- نیاز به داده مقایسه‌ای کمتری دارد و ۲- منجر به مقایسه‌های استوارتر می‌گردد، که این امر بدین معنی می‌باشد که این روش نتایج قابل اعتمادتری را ارائه می‌دهد (Rezaei, 2015: 56). مراحل روش بهترین-بدترین برای تعیین وزن معیارها به صورت زیر می‌باشد:

مرحله ۱: مشخص کردن مجموعه معیارهای تصمیم‌گیری.

در این مرحله معیارهایی (c1, c2, ..., cn) که برای رسیدن به تصمیم مورد نیاز می‌باشند تعیین می‌شوند.

مرحله ۲: مشخص کردن بهترین (مهم‌ترین) و بدترین (کم اهمیت‌ترین) معیار.

در این مرحله تصمیم‌گیرنده بهترین و بدترین معیار را در حالت کلی مشخص می‌کند. در این مرحله هیچ مقایسه‌ای انجام نمی‌شود.

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 می‌شود:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}), \quad (1)$$

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

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 می‌شود:

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

a_{jw}^t 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_j/w_B و w_j/w_w داشته باشیم $w_j = w_B/w_j = a_{Bj}$ 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 حداقل اختلاف مطلق $|w_j/w_w - a_{jw}|$ برای همه j ها به حداقل برسد (مینیمم شود).

$$\min \xi$$

s.t.

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \text{for all } j \quad (3)$$

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

$$\sum_j w_j = 1$$

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

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 $a_{Bj} \times a_{jw} = a_{BW}$ و a_{jw} 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 (ثبت) مقایسات ارائه شده است. نرخ (نسبت) سازگاری با استفاده از ξ محاسبه می شود. مقادیر بزرگ تر ξ باعث افزایش نرخ سازگاری و کاهش قابلیت اعتماد مقایسات خواهد شد. از آنجا که $a_{BW} \in \{1, 2, 3, \dots, 9\}$ و $a_{Bj} \times a_{jw} = a_{BW}$ می باشد، می توان حداقل مقدار ξ ($\max(\xi)$) را به دست آورد، از این حداقل 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 بیشتری 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 $\max(\xi)$

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



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 آلترا ناتیوهای 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 خوشیده در مدل ANP جایگزین اصطلاح سطح در مدل AHP گردیده است (Yalcin, 2008). به طور کلی روش ANP دارای سه قسمت کلی است: ۱- کنترل شبکه معیارها و زیرمعیارها، ۲- شبکه‌ای از روابط میان عناصر و خوشیده، ۳- بازخورد بین خوشیده‌های مختلف و عناصر داخل یک خوشیده (Aragones et al., 2017).

مراحل روش ANP برای تعیین وزن معیارها به صورت زیر می‌باشد:

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

مرحله ۲: تشکیل ماتریس های 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 می شود (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 می آید (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 می شود (Ataei, 2016: 24).

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

به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از ماتریس های تصمیم گیری اقدام به محاسبه نرخ سازگاری می گردد. نرخ سازگاری در حالت مطلوب باید کمتر از ۱/۰ باشد. مراحل زیر برای محاسبه نرخ سازگاری به کار گرفته می شود:

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 می گردد،

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

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

که در آن n تعداد معیارهای موجود در ماتریس مقایسه زوجی می باشد.

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

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

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	.	.	۰/۵۲	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۵۴	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۸

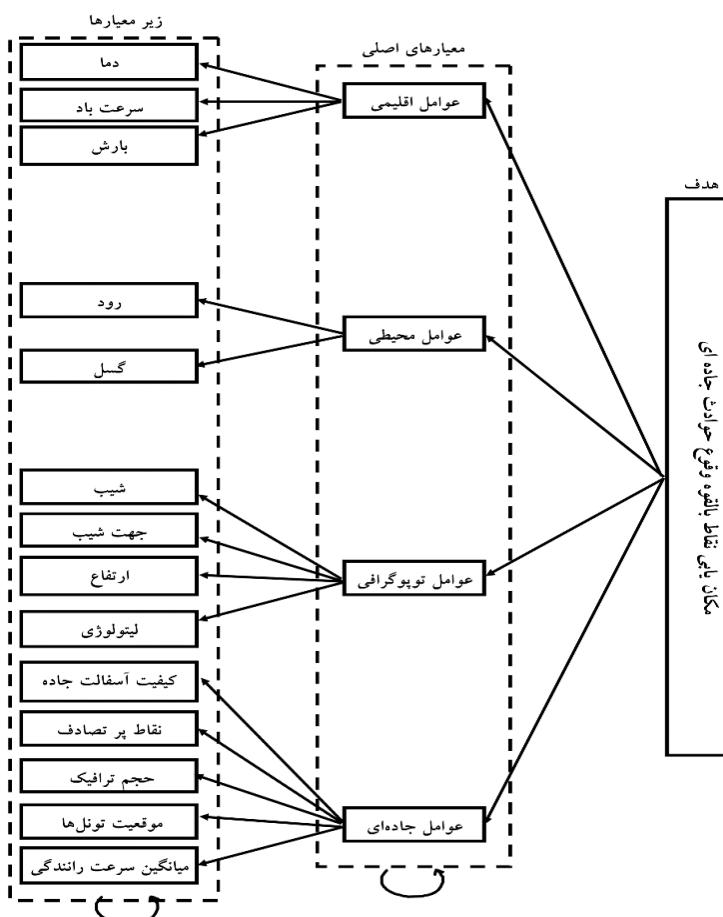
15- Consistency Index (CI)

16- Random Index (RI)



شکل ۱۱: فلوچارت مدل ANP

Figure 11: ANP model flowchart



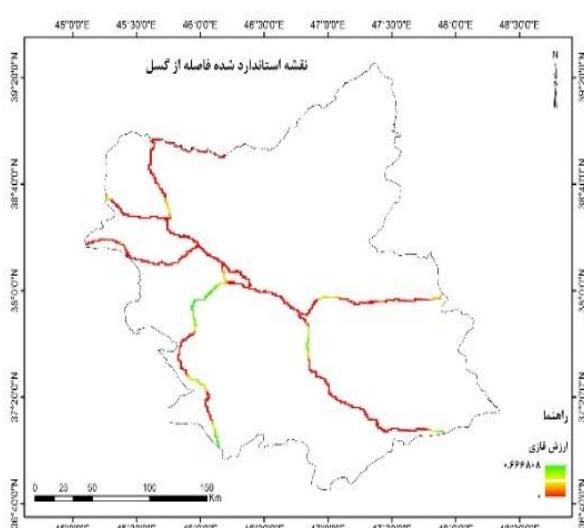
شکل ۱۲: پیکربندی مدل ANP

Figure 12: ANP model configuration

در ادامه به منظور شناسایی نقاط حادثه خیز جاده‌ای، تمام نقشه‌های معیار تهیه شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 با استفاده از تابع Euclidean Distance به فرمت رستر تبدیل گردیدند. در ادامه با استفاده از توابع استاندارد سازی فازی، تمامی نقشه‌های معیار استاندارد گردیدند. به منظور همپوشانی لایه‌های استاندارد شده معیارهای مورد نظر، از روش همپوشانی فازی و عملگر گاما در محیط GIS استفاده گردید و لایه‌ها و وزن‌های به دست آمده با یکدیگر تلفیق شده و نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای به دست آمد. این کار به طور جداگانه برای مدل‌های ANP و BWM انجام شد؛ سپس با استخراج پیکسل‌های مربوط به راه‌های ترانزیتی استان آذربایجان شرقی در نقشه‌های نهایی حاصل از مدل ANP و BWM وضعیت راه‌های استان از نظر وقوع حوادث جاده‌ای بررسی گردید.

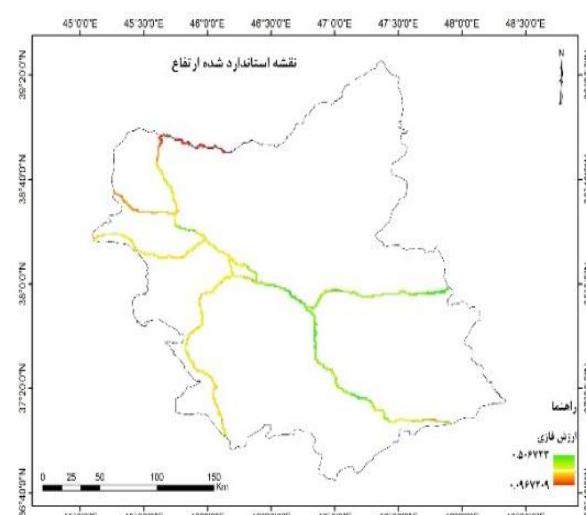
یافته‌ها و بحث

در ابتدا لایه‌های مربوط به معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده از توابع فازی استاندارد گردیدند (شکل‌های ۱۳ تا ۲۶). برای اجرای مدل BWM پس از مشخص شدن معیارهای تصمیم‌گیری، بهترین معیار (عوامل اقلیمی) و بدترین معیار (عوامل محیطی) مشخص شد، در ادامه بهترین زیر معیار (بارش) و بدترین زیر 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 جمع‌آوری پرسشنامه‌ها از آن‌ها میانگین‌گیری شده و با تشکیل یک مدل خطی در محیط نرم‌افزار LINGO وزن‌های بهینه معیارها و زیرمعیارها 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 ماتریس‌های مربوطه، از ارائه همه آن‌ها خودداری می‌شود و فقط به نتایج نهایی اشاره می‌شود (جدول ۳).



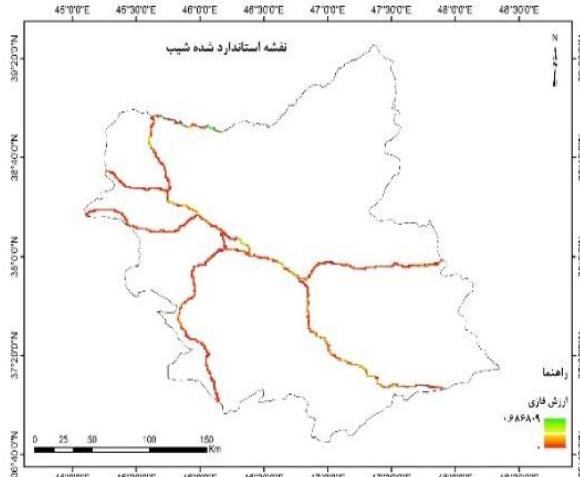
شکل ۱۴: نقشه استاندارد شده فاصله از گسل

Figure 14: Standardized map of the distance from the fault



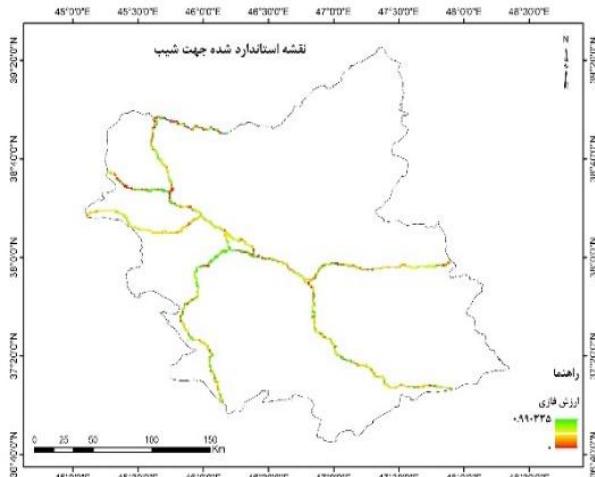
شکل ۱۳: نقشه استاندارد شده ارتفاع

Figure 13: Standardized elevation map



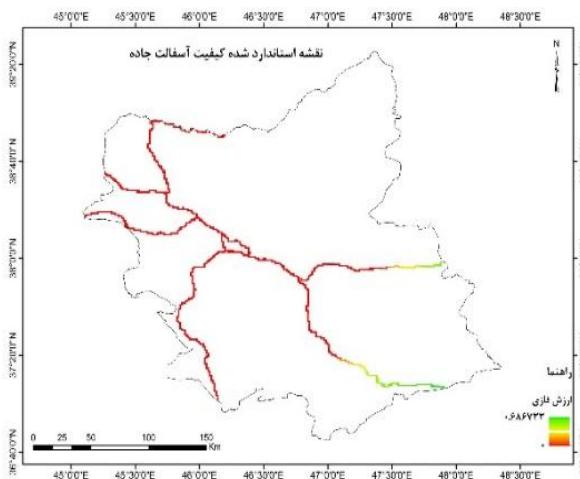
شکل ۱۶: نقشه استاندارد شده شیب

Figure 16: Standardized slope map



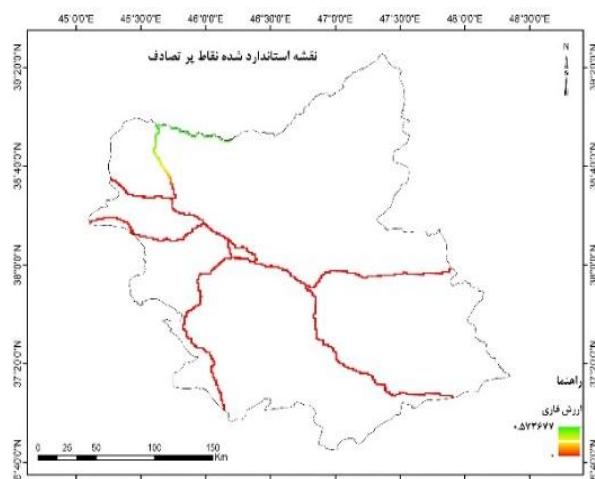
شکل ۱۵: نقشه استاندارد شده جهت شیب

Figure 15: Standardized slope direction map



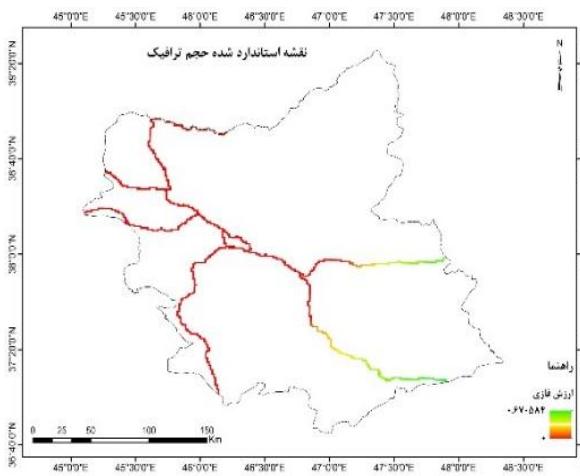
شکل ۱۸: نقشه استاندارد شده کیفیت آسفالت جاده

Figure 18: Standardized road asphalt quality map



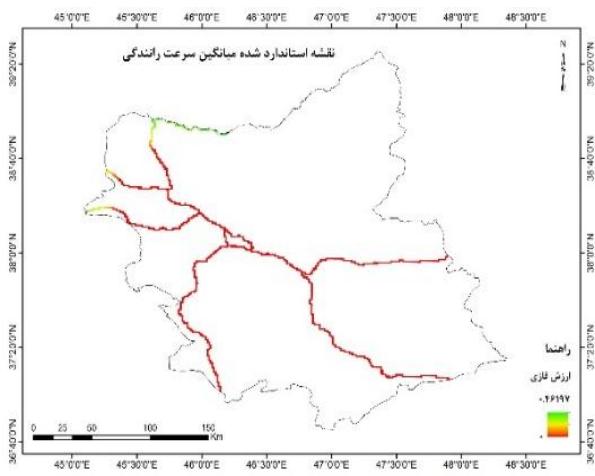
شکل ۱۷: نقشه استاندارد شده نقاط پر تصادف

Figure 17: Standardized map of accident hotspots



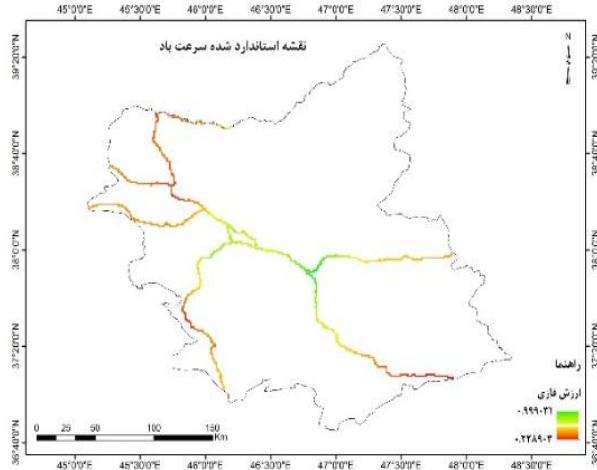
شکل ۲۰: نقشه استاندارد شده حجم ترافیک

Figure 20: Standardized traffic volume map



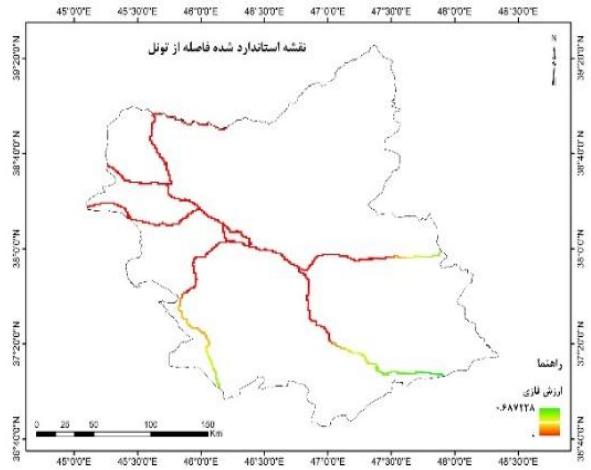
شکل ۱۹: نقشه استاندارد شده میانگین سرعت رانندگی

Figure 19: Standardized map of average driving speed



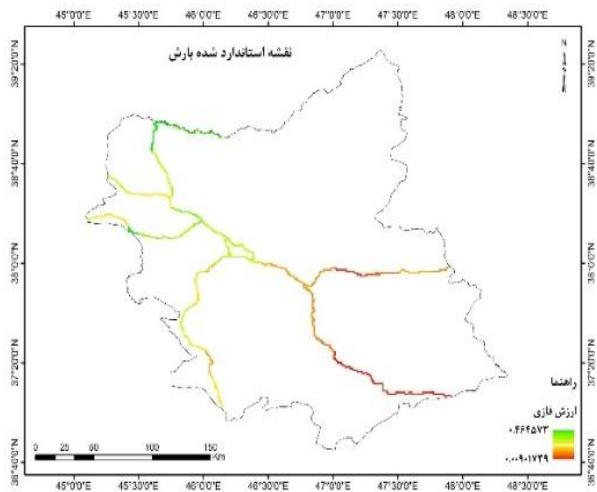
شکل ۲۲: نقشه استاندارد شده سرعت باد

Figure 22: Standardized map of wind speed



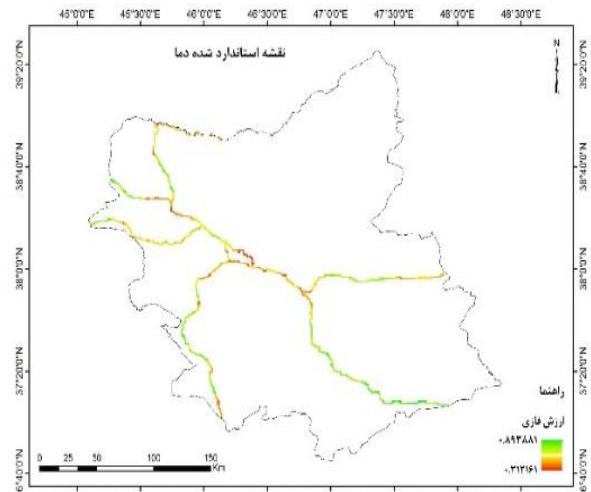
شکل ۲۱: نقشه استاندارد شده فاصله از تونل

Figure 21: Standardized map of the distance from the tunnel



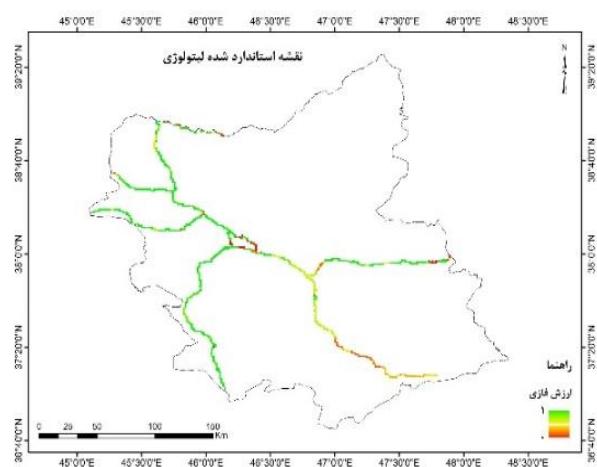
شکل ۲۴: نقشه استاندارد شده بارش

Figure 24: Standardized precipitation map



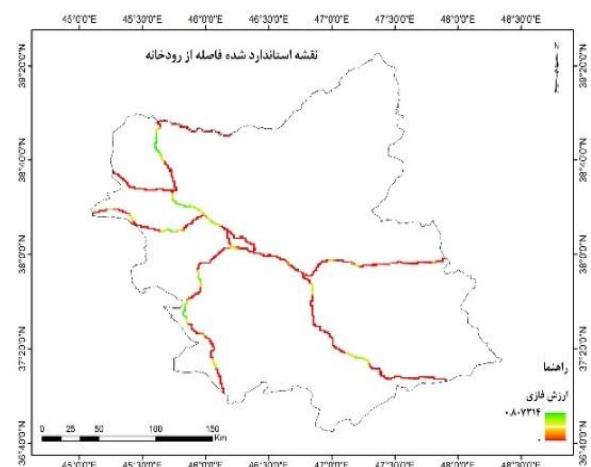
شکل ۲۳: نقشه استاندارد شده دما

Figure 23: Standardized temperature map



شکل ۲۶: نقشه استاندارد شده لیتوژوئی

Figure 26: Standardized lithology map



شکل ۲۵: نقشه استاندارد شده فاصله از رودخانه

Figure 25: Standardized map of the distance from the river

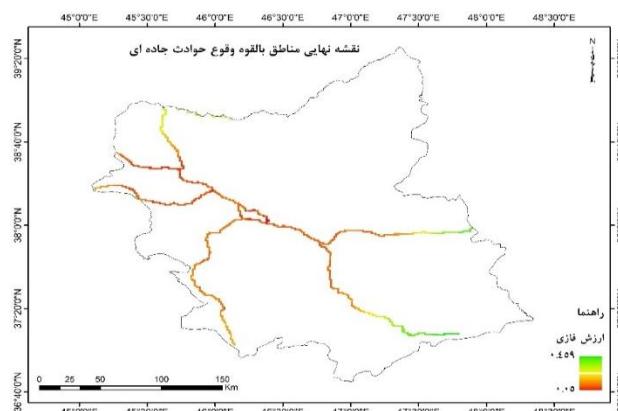
جدول ۳- وزن‌های نهایی به دست آمده از روش BWM برای معیارها و زیر معیارها

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		
۰/۰۳۷	جهت شیب	۰/۱۰۶	عوامل توپوگرافی
۰/۰۶۴	ارتفاع		
۰/۰۳۲	لیتولوژی		
۰/۰۹۹	کیفیت آسفالت جاده	۰/۲۳	عوامل جاده‌ای
۰/۰۹۸	نقاط پر تصادف		
۰/۱۰۴	حجم ترافیک		
۰/۰۶۶	موقعیت تونل‌ها		
۰/۰۹۷	میانگین سرعت رانندگی		

مقدار $\sum \lambda = 0.394487$ 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 به دست آمده مناطق بسیار پر خطر بیشترین مناطق را در پهنه استان آذربایجان شرقی به خود اختصاص داده است و Extract Value پس از آن مناطق پر خطر، متوسط، کم خطر و بسیار کم خطر قرار دارند. در ادامه با استفاده از تابع Points to Extract در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 پیکسل‌های مربوط به جاده‌های ترانزیتی استان استخراج شده و بر اساس اعداد میانگین به دست 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- رتبه‌بندی راههای ترانزیتی استان آذربایجان شرقی از لحاظ پتانسیل وقوع حوادث جاده‌ای 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

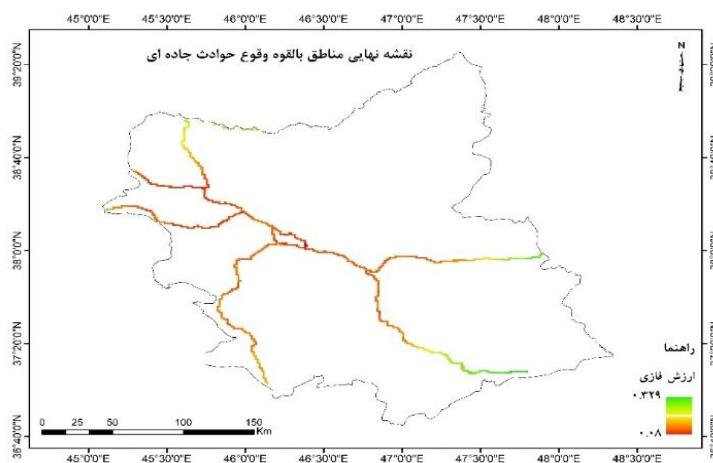
پس از تشکیل شبکه مسئله مورد بررسی و تعیین وابستگی‌های بیرونی و داخلی معیارها (۲۴) با استفاده از قضاوت‌های ترجیحی کارشناسان وزن لایه‌های موثر بر مکان‌یابی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای تعیین گردید. به این صورت که پرسشنامه‌هایی (۳۰ پرسشنامه) بین کارشناسان مربوطه توزیع شد و کارشناسان قضاوت‌های ترجیحی خود 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 (به دلیل تعداد زیاد محاسبات و ماتریس‌های مربوطه، از ارائه همه آن‌ها خودداری می‌شود و فقط به نتایج نهایی اشاره می‌شود) (جدول ۵).

جدول ۵- وزن‌های نهایی بدست آمده از روش ANP برای معیارها و زیر معیارها

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

معیار	عوامل تopoگرافی	عوامل محیطی	عوامل اقلیمی
دما	۰/۰۷۱	۰/۰۷۵	
سرعت باد	۰/۰۳۹		
بارش	۰/۱۶۴		
رود	۰/۰۱۴	۰/۰۱۹	
گسل	۰/۰۳۵		
شیب	۰/۰۴۱	۰/۱۳۴	
جهت شیب	۰/۰۳۴		
ارتفاع	۰/۰۶۲		
لیتلولژی	۰/۰۳۵		
کیفیت آسفالت جاده	۰/۱۰۱	۰/۱۷۲	
نقاط پر تصادف	۰/۱		
حجم ترافیک	۰/۱۰۶		
موقعیت تونل‌ها	۰/۰۹۵		
میانگین سرعت رانندگی	۰/۱۰۳		
نرخ (نسبت) سازگاری:	۰/۰۹		

پس از وزن دهن لایه های موجود، نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای 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 Extract Value to Points در محیط نرم افزار ArcGIS 10.5 پیکسل‌های مربوط به جاده‌های ترانزیتی استان استخراج شده و بر اساس اعداد میانگین به دست آمده در دو مسیر رفت و برگشت در قطعات مختلف جاده‌های ترانزیتی، جاده‌های ترانزیتی استان از لحاظ پتانسیل وقوع حوادث جاده‌ای رتبه‌بندی شدند (جدول ۶) و راههای ترانزیتی استان از این لحاظ مورد بررسی قرار گرفتند.



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

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

جدول ۶- رتبه‌بندی راههای ترانزیتی استان آذربایجان شرقی از لحاظ پتانسیل وقوع حوادث جاده‌ای 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 - نوروز	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 جاده‌ای 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-زنگان 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-زنگان 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 دقیق‌تر 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 پر خطر جاده‌ای نیاز به کمی کردن وضعیت خطر است. بدین منظور در این تحقیق از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و دو مدل BWM و 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، عوامل جاده‌ای) و ۱۴ زیر معیار است. با توجه به نتایج به دست آمده از هر دو مدل 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 به عنوان ابزاری موثر برای شناسایی نقاط پر تصادف جاده‌ای یاد کرده‌اند. در نهایت می‌توان گفت مدل BWM به عنوان مدلی نوین، کارایی مناسبی به منظور 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 به خصوص 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, Zanjan, Azad University of Zanjan 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.