دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست ودوم، شماره‌ی ۷۹
پاییز ۱۴۰۱، صفحات ۴۲-۲۱

DOI: DOI:10.52547/GeoSpa.22.3.21

محمدرضا آقاپوری[۱]
*خلیل ولیزاده کامران[۲]
علی اکبر رسولی[۳]
داود مختاری[٤]

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰٦

## چکیده

افزایش وسایل نقلیه موتوری در نیم قرن اخیر، اثرات نامطلوبی را به‌دنبال 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 ٤ معیار (عوامل اقلیمی، عوامل محیطی، عوامل توپوگرافی، عوامل جاده‌ای) و ١٤ 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

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه آزاداسلامی مرند. E-mail: mrap91@yahoo.com
*۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز. (نویسنده مسئول). E-mail: valizadeh@tabrizu.ac.ir
۳- گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز.
٤- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

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، 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 ٦٩ 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 به‌دنبال 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 حالی‌که تعداد افراد مجروح شده در این‌گونه 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 بیلیون 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، به‌طوری 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، ٢٤ نفر می‌میرند؛ در حالی‌که در کشورهای پیشرفته از هر ۱۰۰ نفر مجروح، یک نفر می‌میرد (Farajzadeh Asl et al., 2010: 41). شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای به‌علت وسعت جغرافیایی و تنوع عملکردی با مجموعه گسترده‌ای از حوادث طبیعی و انسانی مواجه است. عوامل طبیعی موثر در حوادث جاده‌ای عبارت‌اند از:

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

سیل، زلزله، زمین‌لغزش، 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، به‌طوری 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[5] 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[6] 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 آذربایجان‌شرقی 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 آذربایجان‌شرقی 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 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 تقاط و انشعابات روستاهای سنگستان، سرخ‌آباد، آبشینه، کنجینه، یکانه از جمله نقاط ایجاد تصادفات، بالأخص تصادفات منجربه 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

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

بررسی پایداری شبکه حمل‌ونقل در چهار گروه اصلی شامل: حمل‌ونقل و ترافیک، کالبدی، اجتماعی و زیست‌محیطی قرار دادند؛ براساس نتایج به‌دست آمده ناحیه ۲ از بیش‌ترین پایداری در شبکه حمل‌ونقل 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 حمل‌ونقل 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 مدلAHP[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 بیش ترین خطر تصادفات جاده‌ای می‌باشد. Shah et al (2019) طی پژوهشی به بررسی ارتباط بین ویژگی‌های ترافیکی جاده و حوادث جاده‌ای پرداختند. در این تحقیق به‌منظور تجزیه‌وتحلیل 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 آب‌وهوایی و جاده‌ای پرداختند. برای این‌منظور از گزارشات پلیس از حوادث جاده‌ای در ٤٣ جاده اصلی کشور فنلاند بین سال‌های ٢٠١٤ تا ٢٠١٦ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد حوادث جاده‌ای در شرایط بد آب‌وهوایی 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 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 ١٤ زیر معیار مرتبط به آن‌ها در بررسی نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای استفاده شده است.

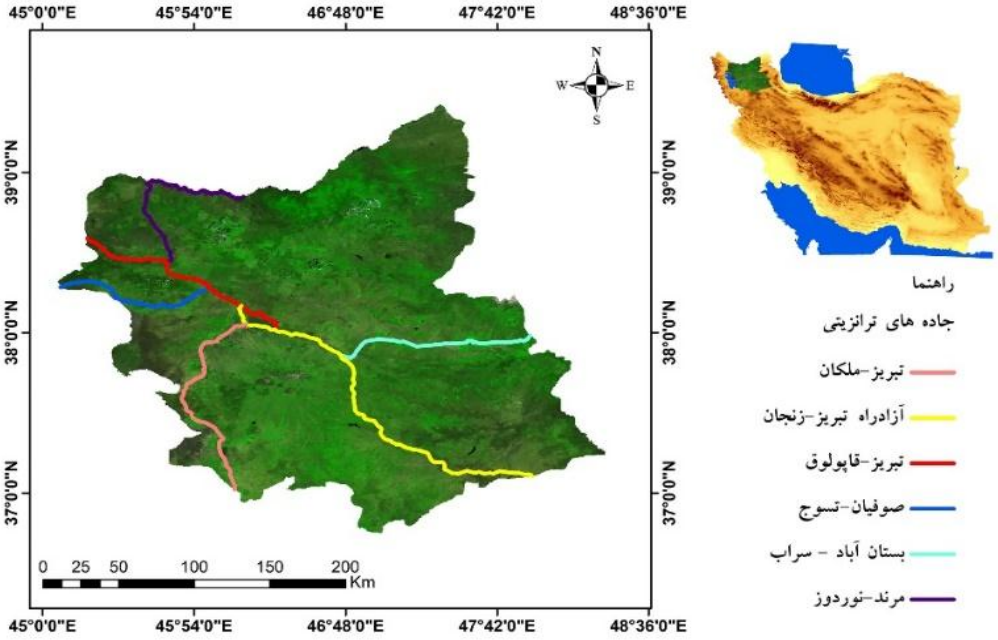
## منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان‌شرقی بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین استان واقع در شمال‌غرب ایران است. مساحت این استان ٤٥٨٠٠ کیلومتر مربع است و بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ هجری شمسی ۳۹۰۹٦٥۲ نفر جمعیت دارد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). این استان از لحاظ جغرافیایی در مختصات ´´۵۵ ´٤٥ °۳٦ الی ´´۵۲ ´۲۳ °۳۹ عرض

7- Analytical Hierarchy Process
8- Jaipur-Kiashangarh
9- Jaipur-Kiashangarh
10- Data Envelopment Analysis

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

شمالی و ″۲۳ ′۵ °۴۵ الی ″۴۵ ′۲۶ °۴۸ طول شرقی قرار دارد. استان آذربایجان‌شرقی از سمت شمال با جمهوری آذربایجان و ارمنستان، از سمت غرب و جنوب‌غرب با استان آذربایجان‌غربی، 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 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)، ٤- صوفیان-تسوج (تا انتهای حوزه استحفاظی)، ٥- تبریز-ملکان (تا انتهای حوزه استحفاظی) و ٦- مرند-نوردوز (تا انتهای حوزه استحفاظی). از این‌رو این استان از مهم‌ترین استان‌های ترانزیتی کشور محسوب می‌شود.




**شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه**

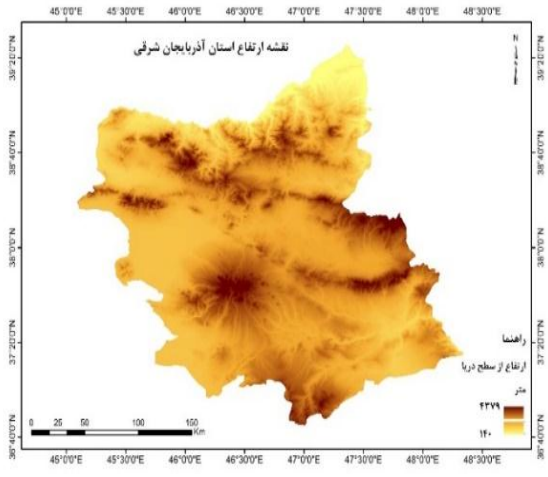
**Figure 1: Location of the study area**

## 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 آذربایجان‌شرقی 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،

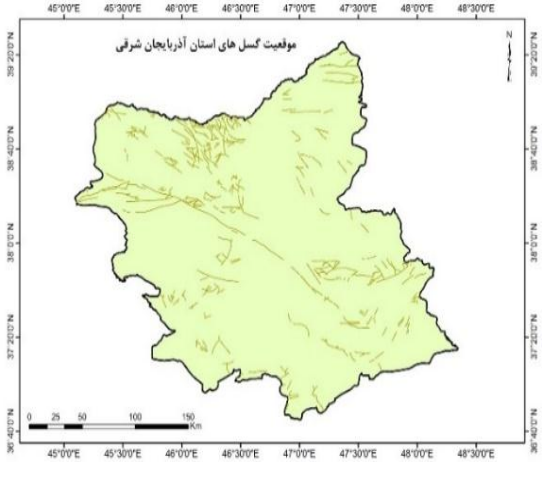
[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

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[11] نسبت به تهیه نقشه سرعت باد اقدام گردیده است. عوامل محیطی شامل رود و گسل است که داده‌های آن به‌صورت وکتور از سازمان زمین‌شناسی اخذ شده است، عوامل توپوگرافی شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب و لیتولوژی است، پس از تهیه مدل رقومی ارتفاع[12] از سایت سازمان زمین شناسی 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 زمین شناسی 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 آذربایجان‌شرقی 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 اقلیم شناسی 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 ۲: نقشه ارتفاع استان آذربایجان‌شرقی**

**Figure 2: Elevation map of East Azarbaijan province**

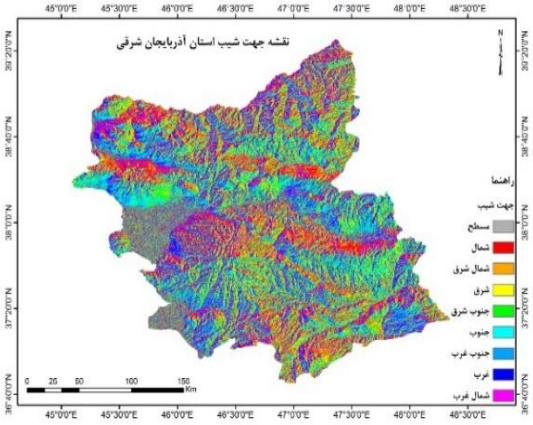



**شکل ۳: نقشه موقعیت گسل‌های استان آذربایجان‌شرقی**

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

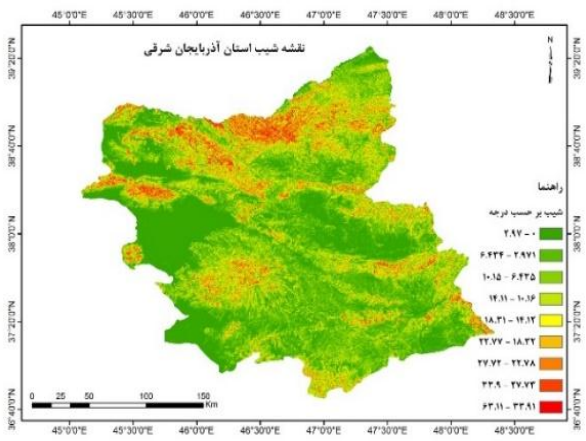
11- Kriging
12- Digital Elevation Model

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]




شکل ٤: نقشه جهت شیب استان آذربایجان‌شرقی

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




شکل ۵: نقشه شیب استان آذربایجان‌شرقی

**Figure 5: Slope map of East Azarbaijan province**



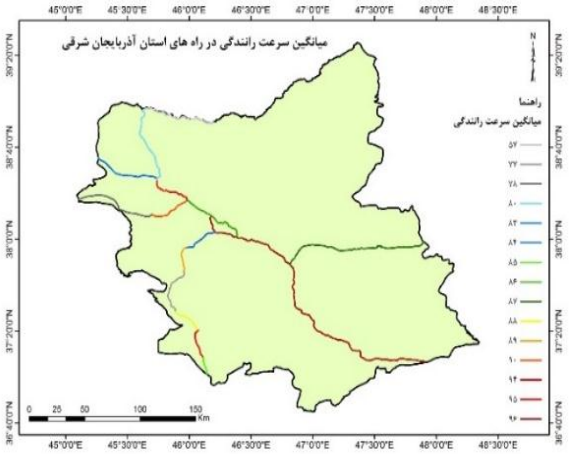

شکل ٦: موقعیت نقاط پر تصادف استان آذربایجان‌شرقی

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



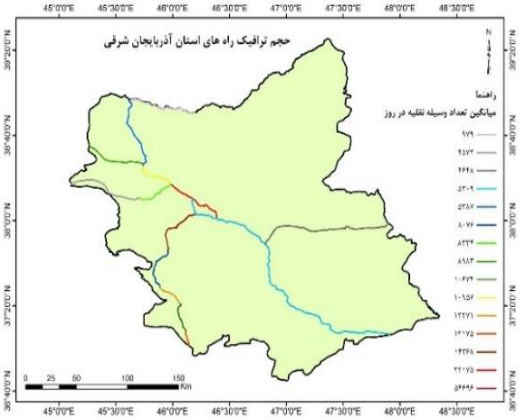

شکل ۷: نقشه کیفیت آسفالت جاده‌های استان آذربایجان‌شرقی

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




شکل ۸: میانگین سرعت رانندگی در راه‌های استان آذربایجان‌شرقی

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




شکل ۹: نقشه حجم ترافیک راه های استان آذربایجان شرقی

**Figure 9: Road traffic volume map of East Azarbaijan province**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

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: شیب، جهت شیب، ارتفاع و لیتولوژی 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 فوق‌الذکر، پس از مطالعه منابع و مقالات مختلف و ارائه نظر نویسندگان و در نهایت با استفاده از روش دلفی 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 حداکثری-حداقلی تشکیل شده و حل می‌شود. به‌منظور بررسی قابلیت اطمینان مقایسات زوجی از نرخ سازگاری که مخصوص این روش طراحی شده است استفاده می‌شود. ویژگی‌های برجسته این روش عبارتند از: ۱- نیاز به داده مقایسه‌ای کم‌تری دارد و ۲- منجربه 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 به‌صورت زیر می‌باشد:

مرحله ۱: مشخص کردن مجموعه معیارهای تصمیم‌گیری.

در این مرحله معیارهایی ($c1, c2, \ldots, cn$) 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:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \ldots, a_{Bn}),$$ رابطه (۱)

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

مرحله ٤: 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:

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \ldots,)$$ رابطه (۲)

13- Jafar Rezaei

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

$a_{nw})^t$, که در آن $a_{jw}$ نشان دهنده اهمیت معیار j نسبت به بدترین معیار می‌باشد.

مرحله ۵: پیدا کردن وزن‌های 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 راه‌حلی 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).

رابطه (۳)

$$\min \xi$$
$$s.t.$$
$$\left|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}\right| \le \xi, for\ all\ j$$
$$\left|\frac{w_j}{w_w} - a_{jw}\right| \le \xi, for\ all\ j$$
$$\sum_j w_j = 1$$
$$w_j \ge 0, for\ all\ j$$

با حل رابطه شماره ۳، وزن‌های بهینه $w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$ و $\xi^*$ به‌دست می‌آید.

محاسبه نرخ (نسبت) سازگاری[14]

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 $a_{BW}$ به‌ترتیب اهمیت بهترین معیار نسبت به معیار j، اهمیت معیار j نسبت به بدترین معیار و اهمیت بهترین معیار نسبت به بدترین معیار می‌باشد. به هر حال این امکان وجود دارد که برخی از j ها به‌طور 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 $\xi^*$ محاسبه می‌شود. مقادیر بزرگ‌تر $\xi^*$ باعث افزایش نرخ سازگاری و کاهش قابلیت اعتماد مقایسات خواهند شد. از آنجا که $a_{Bj} \times a_{jW} = a_{BW}$ و $a_{BW} \in \{1,2,3,\dots,9\}$ می‌باشد، می‌توان حداکثر مقدار $\xi$ $(\max \xi)$ را به‌دست آورد، از این حداکثر مقدار به‌عنوان شاخص سازگاری استفاده می‌گردد (جدول ۱)، با استفاده از شاخص سازگاری و رابطه شماره ٤ نسبت سازگاری محاسبه می‌شود. این نسبت بین ۰ تا ۱ می‌باشد و چقدر به صفر نزدیک‌تر باشد، مقایسات از سازگاری و ثبات بیش‌تری برخوردار می‌باشند و چقدر به یک نزدیک‌تر باشند، مقایسات از سازگاری و ثبات کم‌تری برخوردار می‌باشند.

**جدول ۱- شاخص سازگاری**

**Table 1- Compatibility index**

| $a_{BW}$ | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | ۸ | ۹ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شاخص سازگاری $\xi$ max | ۰ | ۰/٤٤ | ۱ | ۱/٦۳ | ۲/۳ | ۳ | ۳/۷۳ | ٤/٤۷ | ٥/۲۳ |

14 - Consistency Ratio

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

رابطه (٤)

$$\text{نسبت سازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}}$$




**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 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 et al., 2019)، بدین‌ترتیب مدل ANP به‌عنوان 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).

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

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 به‌دست می‌آید (Mekaniki & Sadeghi, 2012: 130).

مرحله ٤: 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 (Ataei, 2016: 24).

مرحله ۵: نرمال کردن وزن‌های به‌دست آمده با در نظر گرفتن هر خوشه

محاسبه نرخ (نسبت) سازگاری

به‌منظور اعتبارسنجی نتایج به‌دست 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 به‌کار گرفته می‌شود:

مرحله ۱: محاسبه بردار مجموع وزنی،

مرحله ۲: محاسبه بردار سازگاری،

مرحله ۳: به‌دست آوردن $\lambda max$ ، برای این منظور میانگین عناصر بردار سازگاری محاسبه می‌گردد،

مرحله ٤: محاسبه شاخص سازگاری[15]، بدین‌منظور از رابطه شماره ۵ استفاده می‌شود.

رابطه (۵)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

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[16] به‌دست می‌آید.

رابطه (٦)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

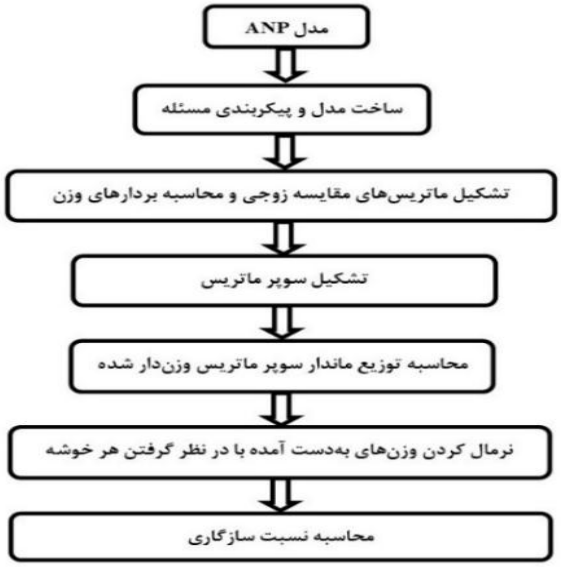
**جدول ۲- شاخص تصادفی**

**Table 2- Random index**

| N | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ۵ | ٦ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱٤ | ۱۵ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RI | ۰ | ۰ | ۰/۵۲ | ۰/۸۹ | ۱/۱۱ | ۱/۲۵ | ۱/۳۵ | ۱/٤۰ | ۱/٤۵ | ۱/٤۹ | ۱/۵۱ | ۱/۵٤ | ۱/۵٦ | ۱/۵۷ | ۱/۵۸ |

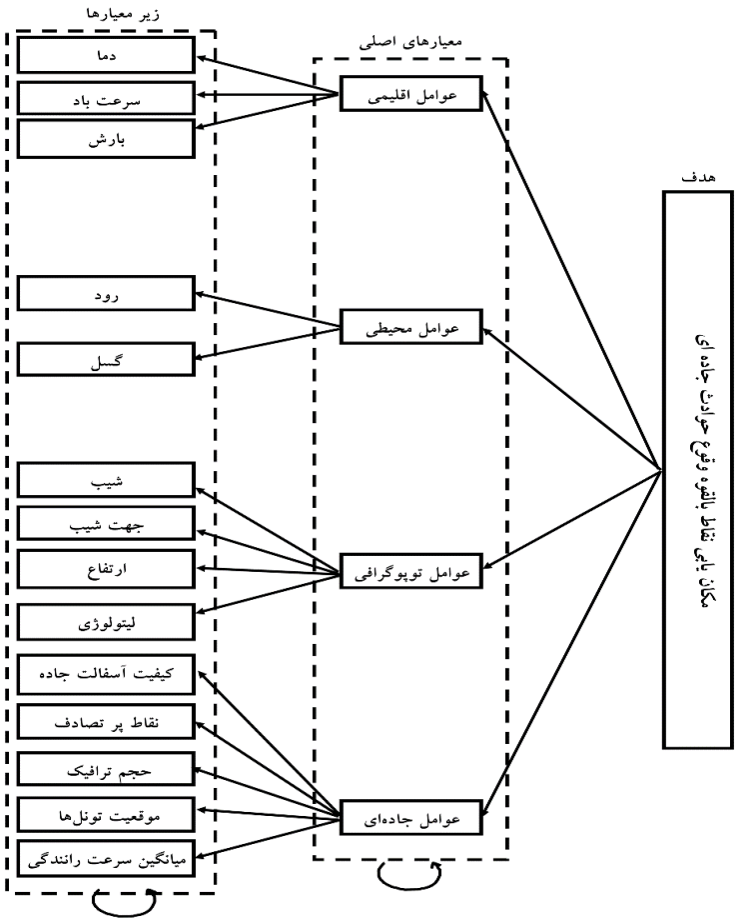
15- Consistency Index (CI)
16- Random Index (RI)

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]




**شکل ۱۱: فلوچارت مدل ANP**

**Figure 11: ANP model flowchart**




**شکل ۱۲: پیکربندی مدل ANP**

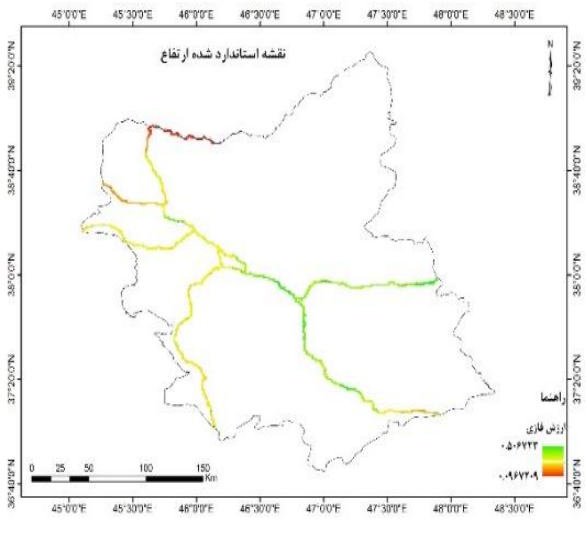
**Figure 12: ANP model configuration**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

در ادامه به‌منظور شناسایی نقاط حادثه‌خیز 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. به‌منظور همپوشانی لایه‌های استاندارد شده معیارهای مورد نظر، از روش همپوشانی فازی و عملگر گاما در محیط GIS استفاده گردید و لایه‌ها و وزن‌های به‌دست آمده با یکدیگر تلفیق شده و نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای به‌دست آمد. این کار به‌طور جداگانه برای مدل‌های ANP و BWM انجام شد؛ سپس با استخراج پیکسل‌های مربوط به راه‌های ترانزیتی استان آذربایجان‌شرقی در نقشه‌های نهایی حاصل از مدل ANP و BWM وضعیت راه‌های استان از نظر وقوع حوادث جاده‌ای بررسی گردید.

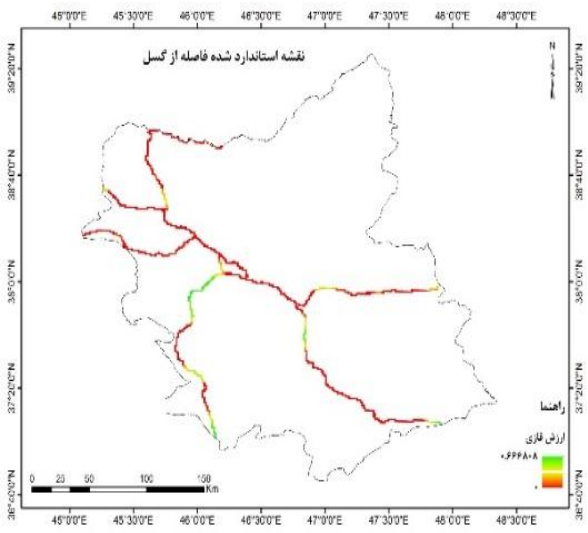
## یافته‌ها و بحث

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 حمل‌ونقل 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. به‌دلیل تعداد زیاد محاسبات و ماتریس‌های مربوطه، از ارائه همه آن‌ها خودداری می‌شود و فقط به نتایج نهایی اشاره می‌شود (جدول ۳).




**شکل ۱۳: نقشه استاندارد شده ارتفاع**

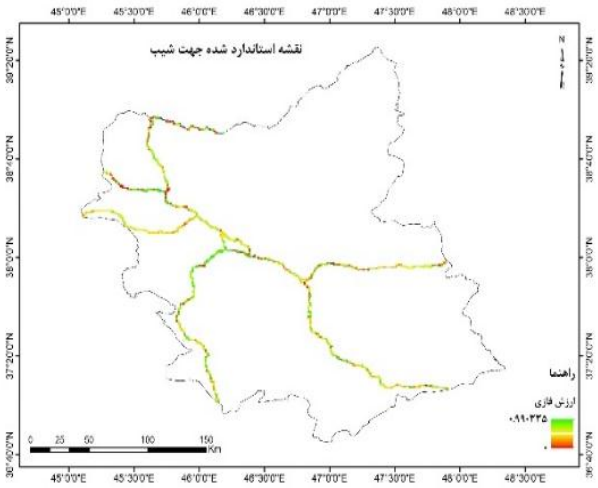
**Figure 13: Standardized elevation map**




**شکل ۱٤: نقشه استاندارد شده فاصله از گسل**

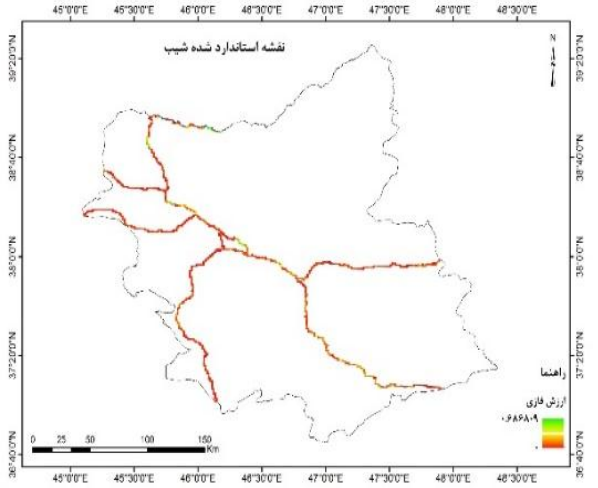
**Figure 14: Standardized map of the distance from the fault**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]



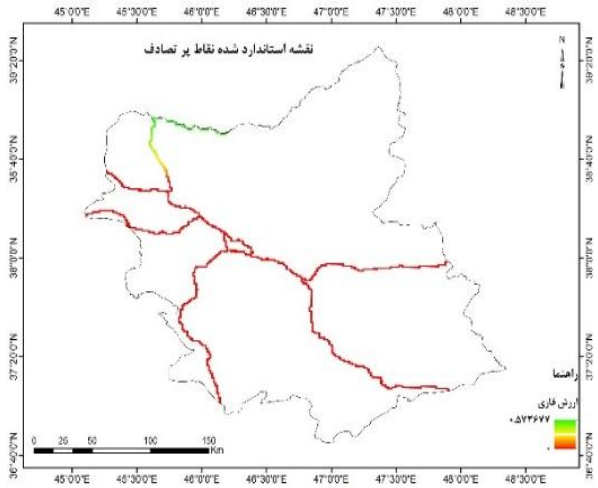

شکل ۱۵: نقشه استاندارد شده جهت شیب

**Figure 15: Standardized slope direction map**



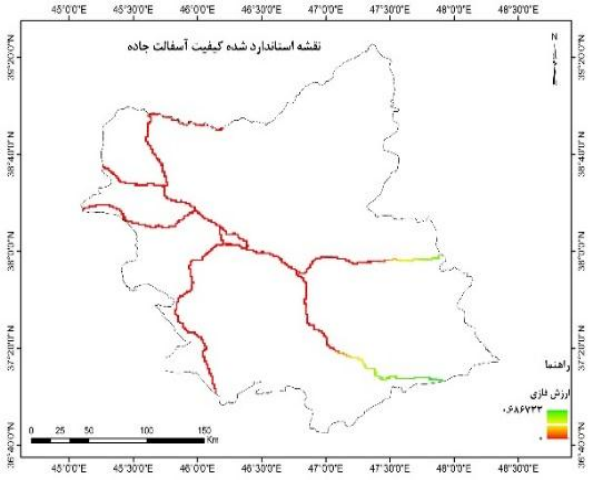

شکل ۱۶: نقشه استاندارد شده شیب

**Figure 16: Standardized slope map**



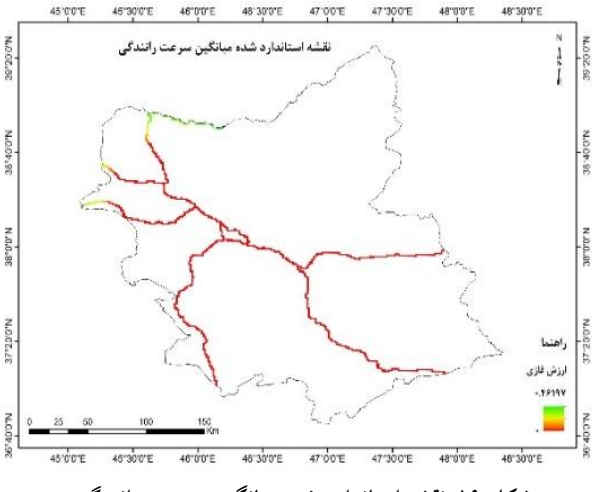

شکل ۱۷: نقشه استاندارد شده نقاط پر تصادف

**Figure 17: Standardized map of accident hotspots**



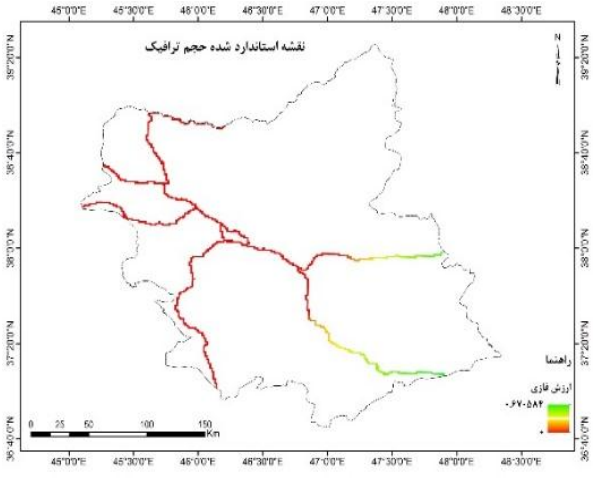

شکل ۱۸: نقشه استاندارد شده کیفیت آسفالت جاده

**Figure 18: Standardized road asphalt quality map**




شکل ۱۹: نقشه استاندارد شده میانگین سرعت رانندگی

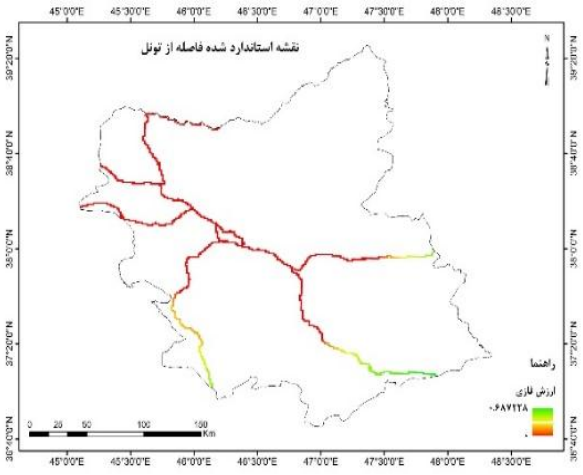
**Figure 19: Standardized map of average driving speed**




شکل ۲۰: نقشه استاندارد شده حجم ترافیک

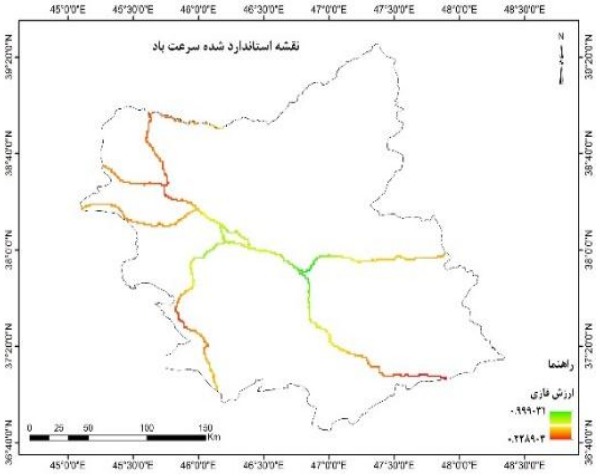
**Figure 20: Standardized traffic volume map**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]



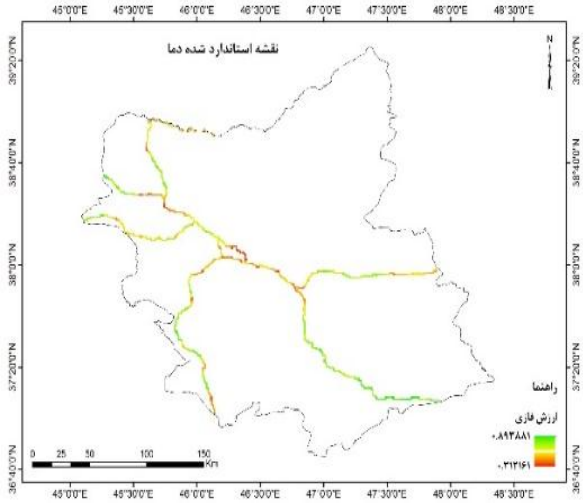

شکل ۲۱: نقشه استاندارد شده فاصله از تونل

**Figure 21: Standardized map of the distance from the tunnel**



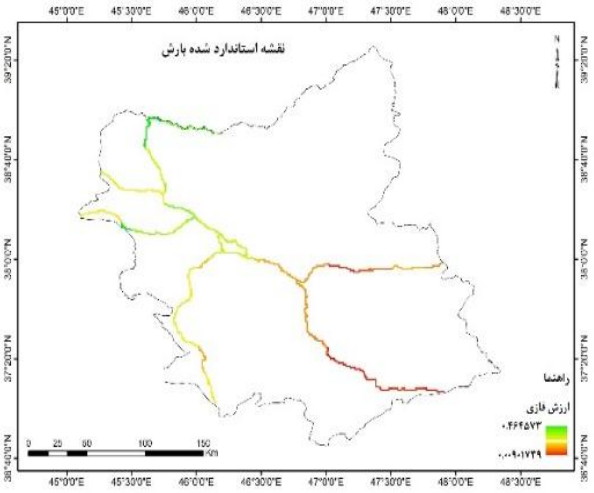

شکل ۲۲: نقشه استاندارد شده سرعت باد

**Figure 22: Standardized map of wind speed**



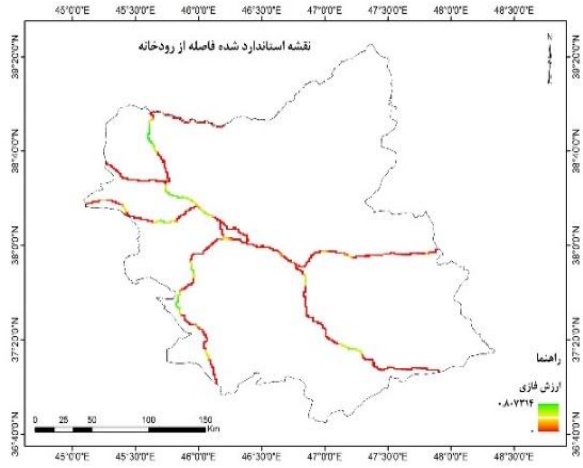

شکل ۲۳: نقشه استاندارد شده دما

**Figure 23: Standardized temperature map**



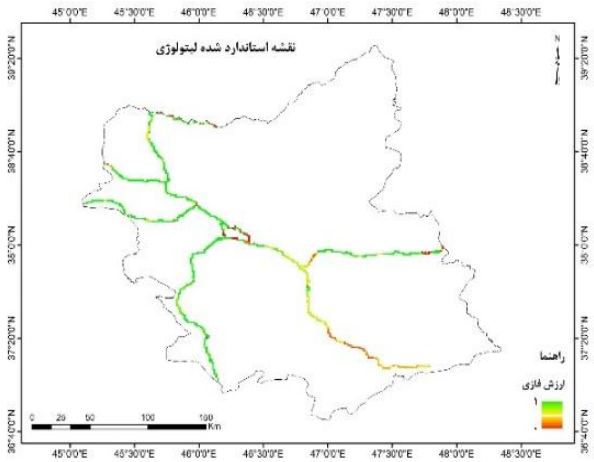

شکل ۲۴: نقشه استاندارد شده بارش

**Figure 24: Standardized precipitation map**




شکل۲۵: نقشه استاندارد شده فاصله از رودخانه

**Figure 25: Standardized map of the distance from the river**




شکل ۲۶: نقشه استاندارد شده لیتولوژی

**Figure 26: Standardized lithology map**

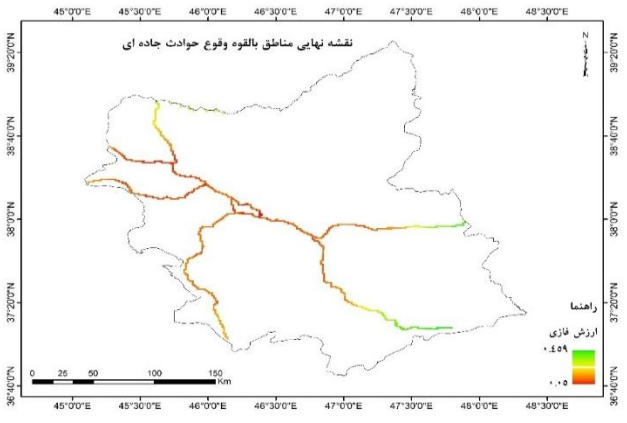
[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

**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**

| معیار | وزن | زیر معیار | وزن |
|---|---|---|---|
| عوامل اقلیمی | ۰/٦ | دما | ۰/۰۸۵ |
| | | سرعت باد | ۰/۰۳٦ |
| | | بارش | ۰/۱۸۵ |
| عوامل محیطی | ۰/۰٦٤ | رود | ۰/۰۱٦ |
| | | گسل | ۰/۰۳۸ |
| عوامل توپوگرافی | ۰/۱۰٦ | شیب | ۰/۰٤۳ |
| | | جهت شیب | ۰/۰۳۷ |
| | | ارتفاع | ۰/۰٦٤ |
| | | لیتولوژی | ۰/۰۳۲ |
| عوامل جاده‌ای | ۰/۲۳ | کیفیت آسفالت جاده | ۰/۰۹۹ |
| | | نقاط پر تصادف | ۰/۰۹۸ |
| | | حجم ترافیک | ۰/۱۰٤ |
| | | موقعیت تونل‌ها | ۰/۰٦٦ |
| | | میانگین سرعت رانندگی | ۰/۰۹۷ |
| مقدار $\xi^*$ ۰/۳۹٤٤٤۸۷ 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 آذربایجان‌شرقی 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 ٤) 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**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

**جدول ٤- رتبه‌بندی راه‌های ترانزیتی استان آذربایجان‌شرقی 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**

| مسیر | رتبه | مسیر | رتبه | مسیر | رتبه |
|---|---|---|---|---|---|
| کشکسرای – مرند | ۱ | ایلخچی – آذرشهر | ٦ | ملکان – میاندوآب | ۱۱ |
| صوفیان – شبستر | ۲ | آذرشهر – عجب‌شیر | ۷ | مرند – جلفا | ۱۲ |
| مرند – صوفیان | ۳ | تبریز – ایلخچی | 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 |

پس از تشکیل شبکه مسأله مورد بررسی و تعیین وابستگی‌های بیرونی و داخلی معیارها (٢٤) 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 (به‌دلیل تعداد زیاد محاسبات و ماتریس‌های مربوطه، از ارائه همه آن‌ها خودداری می‌شود و فقط به نتایج نهایی اشاره می‌شود) (جدول ۵).

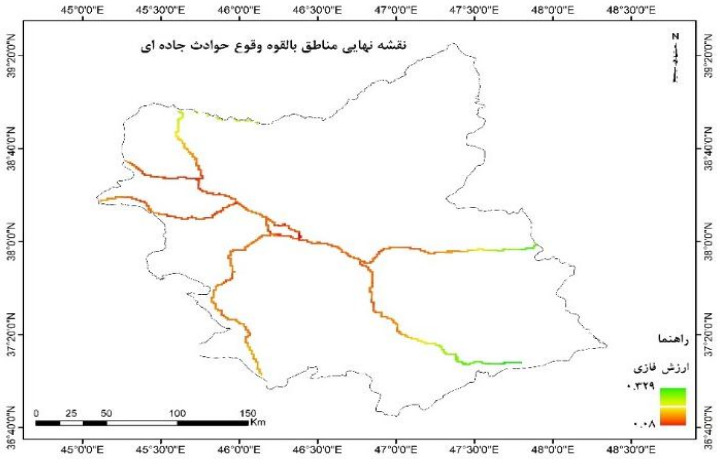
**جدول ۵- وزن‌های نهایی به‌دست آمده از روش ANP برای معیارها و زیر معیارها**

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

| معیار | وزن | زیر معیار | وزن |
|---|---|---|---|
| عوامل اقلیمی | ۰/٦۷۵ | دما | ۰/۰۷۱ |
| | | سرعت باد | ۰/۰۳۹ |
| | | بارش | ۰/۱٦٤ |
| عوامل محیطی | ۰/۰۱۹ | رود | ۰/۰۱٤ |
| | | گسل | ۰/۰۳۵ |
| عوامل توپوگرافی | ۰/۱۳٤ | شیب | ۰/۰٤۱ |
| | | جهت شیب | ۰/۰۳٤ |
| | | ارتفاع | ۰/۰٦۲ |
| | | لیتولوژی | ۰/۰۳۵ |
| عوامل جاده‌ای | ۰/۱۷۲ | کیفیت آسفالت جاده | ۰/۱۰۱ |
| | | نقاط پر تصادف | ۰/۱ |
| | | حجم ترافیک | ۰/۱۰٦ |
| | | موقعیت تونل‌ها | ۰/۰۹۵ |
| | | میانگین سرعت رانندگی | ۰/۱۰۳ |
| نرخ (نسبت) سازگاری: ۰/۰۹ | | | |

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

پس از وزن‌دهی لایه‌های موجود، نقشه نهایی نقاط بالقوه وقوع حوادث جاده‌ای تهیه شد (شکل ۲۸) بر اساس نتایج به‌دست آمده مناطق بسیار پر خطر بیش‌ترین مناطق را در پهنه استان آذربایجان‌شرقی 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 ٦) 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 ٦- رتبه‌بندی راه‌های ترانزیتی استان آذربایجان‌شرقی 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**

| 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 |

بر اساس نتایج به‌دست 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

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

جاده‌ای قرار دارد و پس از آن مسیر مرند–صوفیان قرار دارد. مسیرهای بعدی نیز از این حیث به‌ترتیب در جدول (٤) 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. بر اساس نتایج به‌دست 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 به‌ترتیب در جدول (۲) نشان داده شده است و بر اساس آن مسیر جلفا – نوردوز کم‌خطرترین مسیر از لحاظ احتمال وقوع حوادث جاده‌ای در میان راه‌های ترانزیتی استان آذربایجان‌شرقی محسوب می‌شود؛ و پس از آن به‌ترتیب مسیرهای سراب – بستان‌آباد و آزاد راه تبریز – زنجان قرار دارند. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص می‌شود که هر دو مدل مسیر کشکسرای – مرند را به‌عنوان خطرناک‌ترین مسیر و مسیر جلفا – نوردوز به‌عنوان کم‌خطرترین 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 به‌صورت تصادفی انتخاب گردید، بر اساس نتایج به‌دست آمده در مدل BWM ٢٦ 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 به‌دنبال 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. به‌منظور شناسایی مناطق پرخطر جاده‌ای نیاز به کمی کردن وضعیت خطر است. بدین‌منظور 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 آذربایجان‌شرقی 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 ١٤ زیر معیار است. با توجه به نتایج به‌دست آمده از هر دو مدل مورد استفاده، و وزن‌های به‌دست 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

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

کم‌خطرترین مسیر از لحاظ احتمال وقوع حوادث جاده‌ای در سطح جاده‌های ترانزیتی استان آذربایجان‌شرقی 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.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

## 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

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

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.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]