Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol 12, Issue 35, March 2023

Rockfall risk Mapping Using Multiple Criteria Decision Making (MCDM) AHP, and Fuzzy-Gamma methods in Khorramabad-Pol-e-Zal Freeway

Mohammad Reza Eskandari[1], Ahad Nazarpour[2*], Navid Khayat[3]

1. M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
2. *Corresponding Author*, Assistant Professor, Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 24 January 2022
Revised: 14 November 2022
Accepted: 03 January 2023

Keywords:
Rockfall, Zoning, GIS, Fuzzy-Gamma, AHP, Khorramabad-Pol-e-Zal.

ABSTRACT

Khorramabad-Pol-e-Zal freeway is one of the mountainous and high-risk routes that need to study the risk of rockfall. Therefore, the present study was conducted to investigate and zone the risk of rock fall on the Khorramabad-Zal freeway in 1400. In this study, fuzzy-gamma and AHP multi-criteria decision-making methods were used to prioritize and weigh the criteria. All studied layers and sub-layers include: land use, distance from faults, average rainfall, distance from waterways, distance from roads, slope classes, slope direction, lithology, and digital elevation model (DEM) They were weighed using the fuzzy-gamma method and ranged from 0 to 1 and Fuzzy layers with gamma value (γ) of 0.95 were combined and maps of areas prone to rock fall in the study area were obtained. Then, using the AHP method, areas at risk of rock fall Khorramabad-Pol-e-Zal freeway were identified. The results of the AHP method showed that the distance from the road with a weight of 0.1633 and the rock material with a weight of 0.1621 is the most important principles for measuring the risk of rockfall. The results showed that the Hierarchical Analysis (AHP) method compared to the fuzzy-gamma method identified areas more prone to rock fall risk, which indicates the higher accuracy of this method compared to the fuzzy-gamma method.

Cite this article: Eskandari, M. R., Nazarpour, A., & Khayat, N. (2023). Rockfall risk Mapping Using Multiple Criteria Decision Making (MCDM) AHP, and Fuzzy-Gamma methods in Khorramabad-Pol-e-Zal Freeway. Journal of Natural Environmental Hazards, 12(35), 139-156. DOI: 10.22111/jneh.2023.41400.1872

© Ahad Nazarpour.
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2023.41400.1872

* Corresponding Author Email: A.nazarpour@iauahvaz.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۵، فروردین ۱۴۰۲

پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در آزادراه خرم‌آباد–پل زال

محمدرضا اسکندری[۱]، احد نظرپور[۲*]، نوید خیاط[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران (نویسنده مسئول)
۳. استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۴

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۱/۱۰/۱۳

واژه‌های کلیدی:
ریزش سنگ، پهنه‌بندی، GIS، لیتولوژی، خرم‌آباد–پل زال.

چکیده

آزادراه خرم‌آباد–پل زال ازجمله مسیرهای کوهستانی و پرخطر است که نیازمند مطالعه خطر ریزش سنگ است. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی و پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ در محور خرم‌آباد–زال در سال ۱۴۰۰ انجام شده است. در این پژوهش از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی–گاما و AHP برای اولویت‌بندی و وزن‌دهی به معیارها استفاده شد. لایه‌ها و زیرلایه‌های مورداستفاده در این مطالعه شامل: کاربری اراضی، فاصله از گسل‌ها، میانگین بارندگی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از جاده‌ها، طبقات شیب، جهت شیب، لیتولوژی و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با استفاده از روش فازی- گاما وزن‌دهی و در دامنه‌ی ۰ تا ۱ قرار گرفتند و لایه‌های فازی‌سازی با مقدار گامای (95/0 (γ با یکدیگر تلفیق و نقشه‌های مناطق مستعد خطر ریزش سنگ در منطقه مورد مطالعه حاصل شد. سپس با بهره‌گیری از روش AHP مناطق مستعد خطر ریزش سنگ در آزادراه خرم‌آباد–پل زال شناسایی گردید. نتایج حاصل از روش AHP نشان داد که معیار فاصله از جاده با وزن ۰/۱۶۳۳ و جنس سنگ با وزن ۰/۱۶۲۱ مهم‌ترین معیارهای سنجش خطر ریزش سنگ هستند. نتایج حاصل نشان داد روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در مقایسه با روش فازی–گاما، مناطق مستعد خطر ریزش سنگ بیشتری را مشخص کرده که این نشان‌دهنده‌ی دقت بالاتر این روش در مقایسه با روش فازی–گاما است.

استناد: اسکندری، محمدرضا، نظرپور، احد، خیاط، نوید. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در آزادراه خرم‌آباد–پل زال. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲(۳۵)، ۱۳۹-۱۵۶. DOI: 10.22111/jneh.2023.41400.1872

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© محمدرضا اسکندری، احد نظرپور*، نوید خیاط.

*- احد نظرپور (نویسنده مسئول)

Email: A.nazarpour@iauahvaz.ac.ir

مقدمه

ریزش سنگ نوعی جنبش توده‌ای سریع رایج در مناطق کوهستانی رایج در سراسر دنیا است. این پدیده از فرایندهای ژئومرفیکی طبیعی فعال روی دامنه‌های پرشیب نواحی کوهستانی بوده و مربوط به حرکت‌های ناگهانی یا تند بلوک‌های لق‌شده یا مجموعه‌هایی از سنگ‌های سخت جداشده از دیواره‌های سنگی پرشیب است (حاتمی فرد و همکاران، ۱۳۹۱). ریزش‌ها معمولاً در امتداد سطوح لایه‌بندی، درزها و مناطق یا سطوح گسلی رخ می‌دهند (Omran et al., 2021). وجود طبقات سخت و نرم و زیر شویی طبقه نرم منجر به خالی شدن قسمت تحتانی و تسریع ریزش می‌شود (Guzzetti et al., 2000). هرچند سقوط سنگ‌ها و ریزش توده‌های سنگی ممکن است در هر مکانی رخ بدهند، با این وجود برخی از نواحی کره زمین دارای استعداد بیشتری در این زمینه هستند (Lee et al., 2004, Alemdag et al., 2022). ریزش سنگ باعث آسیب شدید به ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها، خطوط راه آهن و راه‌ها می‌شود. یک راه ساده و مؤثر برای کاهش پتانسیل آسیب‌های آینده از خطرات ریزش، برنامه‌ریزی دقیق کاربری اراضی و بهبود مدیریت زمین بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی خطر است. نقشه‌های پهنه‌بندی برای اولویت‌بندی و انتخاب مناسب اقدامات کاهشی مؤثر هستند (حاتمی فرد و همکاران، ۱۳۹۱).

پدیده ریزش یک خطر بزرگ در مناطق کوهستانی است و می‌تواند باعث ایجاد آسیب شدید به زیرساخت‌ها و همچنین صدمات جدی و مرگ و میر شود. به‌طورکلی، سنگ‌ریزش‌ها و رانش زمین در مقیاس بزرگ به‌عنوان یک خطر اقتصادی و اجتماعی مطرح می‌شوند (Gallo et al., 2021; Baroni et al., 2000). ریزش‌ها غیرقابل پیش‌بینی و ناگهانی بوده و توانایی ایجاد آسیب گسترده بسته به حجم و شدت جرم در حال سقوط را دارند (اسفندیاری درآباد و هاشمی، ۱۳۹۱). به‌طوری‌که بنا بر نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام‌شده، تعداد افرادی که در اثر سوانح ریزش سنگ ناشی از راه‌سازی در مناطق کوهستانی کشته شده‌اند با تعداد افرادی که در سایر انواع گسیختگی‌ها و ناپایداری شیبی جان باخته‌اند، برابر است (Santi et al, 2011, Chowdhury et al., 2022).

ریزش هنگامی رخ می‌دهد که یک سنگ، تخته سنگ و یا گروه کوچک از سنگ‌ها به‌طور مستقل جابه‌جا و متحرک شوند. این حرکت، نوعی حرکت رو به پایین بوده و سقوط آزاد تحت اثر نیروی جاذبه زمین صورت پذیرفته است. عوامل و فاکتورهای بسیاری در ایجاد این نوع پدیده ریزش سنگ نقش دارند که ازجمله آنها می‌توان به درجه و جهت شیب، انحنای شیب، ارتفاع، جنس مواد، فاصله پای دامنه تا سطح جاده، پوشش گیاهی، فاصله از گسل و... را نام برد (Saroglou, 2019). فاکتورهای شیب و جنس سنگ از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ریزش در مناطق کوهستانی هستند، بدین صورت که هر چقدر شیب دامنه بیشتر باشد به نسبت آن سرعت سقوط مواد ریزشی و مسافت بیشتری را طی خواهد کرد. جنس زمین نیز در تعیین نوع حرکت و میزان آسیب مهم است، به‌طوری‌که هر چقدر مواد ریزشی سخت و درشت دانه‌تر و از نظر حجم ریزش بیشتر باشند، خطر بیشتری را ایجاد می‌کنند (Wang et al., 2021).

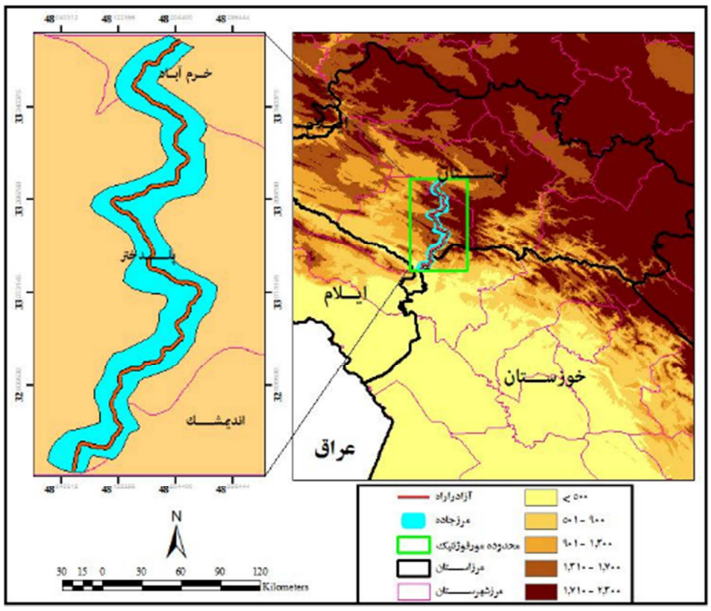
در این زمینه از مطالعات داخلی انجام‌شده می‌توان به مطالعه نگهبان و همکاران (۱۳۹۹) پرداخت. آنها به تبیین جایگاه روش‌شناسی اثباتی و فراثباتی در مخاطرات ژئومورفولوژیک (مطالعه موردی: پهنه‌بندی مخاطرات ریزش سنگ در آزادراه رودبار- رستم‌آباد) پرداختند. همچنین اصغری و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی عوامل مؤثر بر ریزش سنگی و پهنه‌بندی خطر آن با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز علی‌آباد چای هوراند پرداختند.

در ایران به‌دلیل وجود شیب‌های تند و حضور بارندگی‌های با شدت ریزش بالا، به‌خصوص در نواحی کوهستانی حرکات توده‌ای از مشکلات عمده بشمار می‌آید. به‌گونه‌ای که به‌دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی و توپوگرافی فعالیت فرسایش، ریزش‌ها یکی از انواع غالب حرکت‌های توده‌ای در مناطق کوهستانی هستند که بیشتر در دامنه‌های پرشیب و دارای سطوح فرسایشی فراوان و یا در امتدادهای فعال گسلی به چشم می‌خورند (جوکار سرهنگی و علیزاده، ۱۳۹۳). بنابراین، با توجه به موارد یادشده، لزوم شبیه‌سازی و بررسی پدیده ریزش سنگ در مناطق کوهستانی و پهنه‌بندی نواحی به لحاظ میزان خطر از اهمیت بالایی برخوردار است (Aretouyap et al., 2021). بنابراین هدف از این مطالعه، پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ در محور آزاد راه خرم‌آباد - پل زال با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP، Fuzzy-Gamma با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.

منطقه مورد مطالعه

محور مورد مطالعه در فاصله ۴۸۰ کیلومتری جنوب غرب تهران، در دره‌ای خوش آب‌وهوا با درختان انبوه و جویبارهای پر آب در میان کوه‌های بلند واقع شده و به لحاظ طبیعت خاص خود دارای مناظر دیدنی و جاذبه‌های طبیعی فراوان است. از لحاظ قدمت و سابقه تاریخی، خرم‌آباد یکی از شهرهای قدیمی ایران به شمار می‌آید که در طی تاریخ دستخوش تغییرات زیادی شده است. خرم‌آباد شهری فرهنگی، تجاری، خدماتی و توریستی است. منطقه مورد مطالعه از شمال شرق به شهرستان بروجرد، از شرق به شهرستان‌های دورود و الیگودرز، از جنوب به شهرستان اندیمشک و از غرب و جنوب غرب به شهرستان‌های دوره و پلدختر محدود می‌شود. منطقه مورد مطالعه دارای آب-وهوایی مدیترانه‌ای، معتدل و نیمه مرطوب است و دارای میزان بارندگی بسیار، به‌خصوص در بهار است. وجود منابع آب‌های زیرزمینی و چشمه‌های درون شهر از نکات قابل‌توجه در جغرافیای شهر خرم‌آباد به حساب می‌آید.

مسیر مورد مطالعه آزادراه خرم آباد - اندیمشک بوده که به آزادراه خرم‌آباد - پل زال موسوم است. این آزاد راه با طول ۱۰۴ کیلومتر در سال ۱۳۸۹ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. بخش خیلی زیادی از طول مسیر از رودخانه‌های غزال، چمشک، چول هول و به‌ویژه زال عبور می‌کند. محور اصلی جاده به‌صورت بغل بری (ترانشه) در دل کوه احداث شده و در محل تلاقی با دره‌ها، راه از روی خاکریزها یا پل‌های و تونل‌های حفرشده عبور می‌کند. این مسیر که از ارتفاعات زاگرس چین خورده با امتداد تقریبی شمالی جنوبی عبور می‌کند، در واقع شهرستان خرم‌آباد را به اندیمشک وصل می‌کند. نقطه شروع مسیر مورد مطالعه در ارتفاع حدود ۱۲۰۰ متر از سطح دریا، نقاط میانی جاده، با ارتفاعی معادل ۲۳۱۵ متر از سطح دریا واقع در کوه اثر و انتهای راه به ۶۰ کیلومتری نرسیده به شهرستان اندیمشک با ارتفاع ۳۲۰ متر از سطح دریا پایان می‌یابد. با توجه به بلندترین نقطه ارتفاعی در محدوده مورد مطالعه با ارتفاع ۲۷۰۰ متر از سطح دریا و وجود اختلاف ارتفاع نسبتاً زیاد (۲۳۸۰)، منطقه در چند اقلیم متفاوت قرارگرفته است، به‌طوری‌که بر پایه طبقه‌بندی دومارتن در چهار طبقه اقلیمی مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک قرار دارد. ابتدای آزاد راه مورد مطالعه دارای عرض جغرافیائی ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیائی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و انتهای آن نیز از عرض جغرافیائی ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیائی ۴۸ درجه و ۴ دقیقه شرقی می‌گذرد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی جاده خرم‌آباد-پل زال

داده ها و روش‌ها

این مطالعه از نظر هدف کاربردی و از نظر شیوه انجام، توصیفی – تحلیلی بوده و با هدف پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ در محور آزادراه خرم‌آباد-پل زال است. شناسایی پارامترهای اولیه اثرگذار بر پهنه‌بندی ریزش سنگ بر اساس روش اسنادی شناسایی و به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و GIS اولویت‌بندی می‌شود. در این رابطه با توجه به اهمیت نتایج ژئومورفولوژیکی در پژوهش‌های مربوط به پروژه‌های مهندسی و راه‌سازی، شناسایی مخاطرات ژئومورفولوژیک بخش‌هایی از آزادراه خرم‌آباد-زال می‌تواند زمینه‌ساز بهره‌برداری بهینه از امکانات محیط طبیعی تلقی شود. بر این اساس از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به منظور تهیه نقشه‌های شیب و جهت شیب، مقادیر ارتفاعی و کاربری اراضی استفاده شده است.

استفاده از AHP برای وزن‌دهی پارامترهای اولیه تأثیرگذار بر پهنه‌بندی سنگ‌ها

مراحل و روش اولویت‌بندی معیارها به شرح زیر می‌باشد:

۱- تشکیل ماتریس مقایسات زوجی AHP که در آن عوامل دو به دو با هم قیاس می‌شوند.

۲- محاسبه وزن: در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به‌صورت زوجی مقایسه و وزن آنها محاسبه می‌شود. این وزن‌ها، وزن نسبی هستند و با تلفیق وزن نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص شده و آن را وزن مطلق می‌نامند. کلیه مقایسه‌ها در فرآیند سلسله‌مراتبی به‌صورت زوجی انجام می‌شود. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد، به‌گونه‌ای که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود، تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت i بر j یکی از حالت‌های زیر است که آنها مطابق جدول ۱ به یکی از مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده‌اند (Behera et al., 2019). بدین منظور از فرآیند پرسشنامه استفاده

گردید و تعداد ۲۵ پرسشنامه بین کارشناسان توزیع و خواسته شد که در هر بخش با توجه به معیار کنترلی، عناصر و خوشه‌ها را بر حسب میزان برتری نسبی از ۱ تا ۹ مطابق جدول ۱ مقایسه کنند.

جدول ۱: مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی (Behera et al., 2019).

ترجیحات (قضاوت‌های شفاهی)		مقدار عددی
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا مطلوب‌تر	(Extremely Preferred)	۹
ترجیح یا مطلوبیت خیلی قوی	(Very Strongly Preferred)	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	(Strongly Preferred)	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	(Moderately Preferred)	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	(Equally Preferred)	۱
ترجیحات بین فواصل بالا		۸ و ۶ و ۴ و ۲

در تکمیل این ماتریس، ترجیح هر عنصر بر خودش برابر ۱ می‌باشد. بنابراین، تمامی عناصر روی قطر اصلی در ماتریس مقایسه زوجی برابر یک هستند. در صورتی که ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر با n باشد، ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر $1/n$ است. جهت محاسبه وزن هر گزینه از ماتریس مقایسه زوجی (وزن نسبی) از روش‌های تقریبی (میانگین حسابی که روش نسبتاً ساده‌ای است) استفاده شده که شامل سه مرحله ذیل است:

قدم اول: مقادیر هر یک از ستون‌ها را با هم جمع می‌کنند. این ماتریس در جدول ۲ آمده است:

جدول ۲: ماتریس AHP زوجی و به‌دست‌آوردن جمع ستون‌ها.

عوامل	عنصر A	عنصر B	عنصر C
عنصر A	۱	۱/۲	۳
عنصر B	۲	۱	۱/۴
عنصر C	۱/۳	۴	۱
جمع کل			

قدم دوم: هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی را به جمع ستون خودش تقسیم کرده تا ماتریس مقایسه زوجی نرمال شود (جمع مقادیر ستون‌ها در یک ماتریس نرمالی‌شده معادل یک است).

قدم سوم: مقدار متوسط (میانگین) عناصر در هر سطر از ماتریس نرمال‌شده را محاسبه کرده و این مقادیر متوسط تخمینی از وزن‌های مورد نظر است که نتایج مربوط به قدم دوم و سوم در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳: نتایج حاصل از قدم سوم الگوریتم (به‌دست‌آوردن متوسط سطرها).

عوامل	عنصر A	عنصر B	عنصر C	جمع سطرها	میانگین سطرها
عنصر A	X_1	z_1	s_1	$(X_1+z_1+s_1) \div N4$	وزن نسبی عنصر A
عنصر B	X_2	z_2	s_2	$(X_2+z_2+s_2) \div N4$	وزن نسبی عنصر B
عنصرC	X_3	z_3	s_3	$(X_3+z_3+s_3) \div N4$	وزن نسبی عنصر C
جمع عناصر ستون‌ها	N_1	N_2	N_3	N_4	
جمع عناصر نرمالیزه‌شده	۱	۱	۱		۱

روش منطق فازی

تئوری منطق فازی به‌عنوان یک روش دانش‌محور برای اولین بار توسط Zadeh (1965) معرفی شده است. این روش بر پایه تئوری مجموعه فازی می‌باشد که در آن وزن‌دهی به لایه‌های مختلف بر مبنای میزان اهمیت هر یک از لایه‌ها بر اساس قضاوت کارشناسان و متخصص صورت می‌پذیرد (Behera et al., 2019). اساس این روش به‌صورت تبدیل داده‌های ورودی به خروجی‌های نرمال‌شده با محاسبه وزن عضوهای فازی‌شده بر اساس تئوری مجموعه فازی است (Zhang et al., 2017). همچنین، مقادیر عضو فازی برای هر یک از پیکسل‌های موجود در هر لایه اکتشافی به‌صورت مقادیر پیوسته از صفر تا یک می‌باشند (Tan et al., 2014). در تئوری منطق فازی بر اساس فواصل معنادار از ویژگی‌های مختلف عضوهای فازی وزن‌دهی می‌شوند. برای هر پیکسل یا موقعیت فضایی، یک وزن به‌خصوص بین صفر تا یک در نظر گرفته می‌شود (Najafi et al., 2014). در هر مدل‌سازی با استفاده از تئوری منطق فازی، پنج عملگر کاربرد فراوانی برای ترکیب لایه‌های مختلف فازی‌سازی‌شده دارند که شامل عملگرهای AND فازی، OR فازی، PRODUCT جبری فازی، SUM جبری فازی و GAMMA فازی می‌باشند (Ghezelbash et al., 2019). در این پژوهش از عملگر فازی- گاما (GAMMA) که مطابق رابطه (۱) بیان می‌شود، برای مدل‌سازی پتانسیل ریزش سنگ در محور آزادراه خرم‌آباد- زال مورد استفاده قرارگرفته است:

$$F^{Combination} = (\text{SUM فازی})^{\gamma} \times (\text{PRODUCT فازی})^{1-\gamma} \quad (۱)$$

عملگر فازی- گاما (GAMMA)، ترکیبی از عملگر فازی حاصل‌ضرب جبری (PRODUCT) و عملگر فازی حاصل جمع جبری (SUM) است که در آن پارامتر γ (گاما) در محدود صفر تا یک انتخاب می‌شود. به‌طوری‌که، اگر γ (گاما) یک باشد، ترکیب همان حاصل جمع جبری (SUM) خواهد بود و اگر γ (گاما) صفر باشد، ترکیب مساوی حاصل-ضرب جبری (PRODUCT) است. انتخاب صحیح و آگاهانه γ (گاما)، مقادیری در خروجی به وجود می‌آورد که نقش فزاینده جمع جبری فازی و نقش کاهنده ضرب جبری فازی در آن عمل کرده و کل مجموعه را به حالت تعادل می‌رساند (Jafari et al, 2020).

نتایج و بحث

نقشه کاربری اراضی

منظور از کاربری، نوع و نحوه استفاده از زمین در حال حاضر است به‌طور مسلم نوع کاربری اراضی، همیشه نقش تعیین کننده‌ای در تغییرات محیطی، به‌ویژه ایجاد و تشدید حرکت‌های دامنه‌ای ایفا می‌کند و انواع مختلف کاربری‌ها عملکردهای متفاوتی در ناپایداری دامنه‌ها دارند. مساحت محدوده معادل ۱۰۴۵۴۳۲۸۵ متر مربع (۱۰۴/۵ کیلومتر مربع) می‌باشد. یکی از معیارهای اصلی جهت تعیین میزان خطر ناشی از ریزش سنگ در یک محدوده جغرافیایی، کاربری اراضی است که از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ قابلیت استخراج را دارند. نتایج حاصل از نقشه کاربری اراضی به‌دست‌آمده و تجزیه‌وتحلیل داده‌های مربوط به آن نشان داد که ۰/۵۴٪ از مساحت محدوده دارای کاربری مناطق مسکونی، درختچه‌ها و جنگل‌های نیمه متراکم، ۸۵/۵٪ کاربری جنگل‌های پراکنده و مراتع انبوه، ۱۱/۹۶٪ کاربری مراتع نیمه پراکنده، کشاورزی خشک و زمین‌های بایر و ۱/۹۹٪ دارای کاربری بستر رودخانه، کشاورزی، آبیاری و

باغ‌ها هستند (شکل A۲ و جدول ۴). بیشترین و کمترین امتیاز به مقدار بستر رودخانه، کشاورزی، آبیاری و باغ‌ها و مقدار کم به جنگل‌های پراکنده و مراتع انبوه اختصاص یافت.

جدول ۴: طبقات کاربری اراضی و مساحت هر یک از طبقات.

کاربری	درصد
مناطق مسکونی، درختچه‌ها و جنگل‌های نیمه متراکم	۰/۵۴
جنگل‌های پراکنده و مراتع انبوه	۸۵/۵
مراتع نیمه پراکنده، کشاورزی خشک و زمین‌های بایر	۱۱/۹۶
بستر رودخانه، کشاورزی، آبیاری و باغ‌ها	۱/۹۹

فاصله از گسل‌ها

گسل‌های بزرگ در پوسته زمین نتیجه حرکت برشی زمین بوده و زمین‌لرزه نتیجه نیروی آزادشده در حین لغزش سریع لبه‌های یک گسل به هم می‌باشد. در محور مورد مطالعه، تعداد ۱۴ گسل فعال وجود دارد (شکل ۳). وجود گسل عامل ثانویه و متغیر مستقل، در ایجاد حرکات توده‌ای بسیار قابل‌توجه است. با توجه به اینکه مسیر گسل‌های بالقوه بر نقاط پایدار زمین می‌باشند و همچنین به‌دلیل گسیختگی در دامنه‌ها و ایجاد شکستگی در لایه‌ها و خردشدن توده‌های سنگی عموماً در مسیر سیستمی از درزها و شکاف‌ها ایجاد می‌شود و در نتیجه نفوذ آب به داخل زمین موجب کاهش مقاومت برشی دامنه می‌شود. از آنجا که بین فاصله از گسل و تأثیر آن در وقوع زمین‌لغزش رابطه معکوسی وجود دارد، در نتیجه با افزایش فاصله از گسل، دامنه ارزش اختصاص داده‌شده به این معیار کاهش داده می‌شود و با نزدیک شدن به گسل دامنه ارزش اختصاص داده‌شده به تدریج افزایش می‌یابد. محدوده گسل‌ها در ۵ طبقه شامل فواصل ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۶۰۰ متری دسته‌بندی شده‌اند (جدول ۵ و شکل B۲).

جدول: طبقات فاصله از گسل‌ها.

ردیف	طبقات (متر)
۱	۱۰۰
۲	۲۰۰
۳	۴۰۰
۴	۸۰۰
۵	۱۶۰۰

طبقات بارندگی و مساحت هر طبقه

بارندگی یکی از شرایط بحرانی در وقایع ریزش سنگ است. با توجه به تنوع اقلیمی در محدوده جاده خرم‌آباد-پل‌زال، ۵ طبقه برای وضعیت بارش در نظر گفته شده است. مساحت و درصد هر یک از طبقات در جدول ۶ ارائه شده است. نقشه طبقات بارش نیز در شکل C۲ ارائه شده است. بیشترین و کمترین امتیاز به مقدار بارندگی زیاد و مقدار بارندگی کم اختصاص یافت.

جدول ۶: طبقات میانگین بارندگی و مساحت هر طبقه

ردیف	طبقات (میلی‌متر)	درصد مساحت
۱	۵۳۱/۲۳-۶۰۲/۹۹	۵/۱
۲	۶۰۳- ۶۶۵/۷۸	۵/۵
۳	۶۶۵/۷۹- ۷۲۲/۱۷	۳/۹
۴	۷۲۲/۱۸ – ۷۸۴/۹۶	۴/۷
۵	۷۸۴/۹۷ -۸۵۸	۳۸/۵

فاصله از آبراهه‌ها

در این خصوص در ابتدا شبکه آبراهه‌های موجود با استفاده از نقشه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) در محیط GIS استخراج گردید. در بخش‌هایی از مسیر مورد مطالعه، هرگاه شیب دامنه‌ها زیاد و سازندهای سست آن‌ها را در برگرفته‌اند، آبراهه‌ها با زیرشویی این قسمت‌ها باعث ریزش‌های سنگین در کنار مسیر شده‌اند. بنابراین، یکی از معیارهای مهم در برآورد خطر ریزش سنگ، آبراهه‌های مسیر هستند. بنابراین ۵ طبقه برای فاصله از آبراهه‌ها در نظر گرفته شده است. این طبقات بر اساس فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰۰ متر از آبراهه‌ها در محور خرم‌آباد-پل-زال تعریف شده‌اند. نقشه طبقات فاصله از آبراهه‌ها در جدول ۷ و شکل D۲ ارائه شده است. طبق این نقشه، هرچقدر فاصله از آبراهه کمتر باشد امتیاز بیشتری به آن تعلق می‌گیرد.

جدول ۷: طبقات فاصله از آبراهه‌ها.

ردیف	طبقات (متر)
۱	۵۰
۲	۱۰۰
۳	۱۵۰
۴	۲۰۰
۵	۱۰۰۰

فاصله از جاده

در حالت کلی بررسی عامل فاصله از جاده، به‌دلیل از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر در شیب دامنه‌ها در مطالعه وقوع حرکت‌های دامنه‌ای نقش بسیار مهمی دارد. به‌علت کوهستان‌های مرتفع مسیر جاده خرم‌آباد-پل‌زال، این معیار از اهمیت بالایی برخوردار است. این معیار دارای ۵ طبقه شامل فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۶۰۰ متری است. نقشه طبقات فاصله از جاده در جدول ۸ و شکل E۲ ارائه شده است. طبق این نقشه هرچقدر فاصله از جاده کمتر باشد امتیاز بیشتری به آن تعلق می‌گیرد.

جدول : طبقات فاصله از جاده.

ردیف	طبقات (متر)
۱	۵۰
۲	۱۰۰
۳	۱۵۰
۴	۲۰۰
۵	۶۰۰

شیب

وجود شیب در دامنه‌ها، اساس حرکت‌های توده‌ای در نظر گرفته می‌شود. وجود این عامل به‌صورت بحرانی، نقش تأثیرگذار عوامل دیگر در حرکت‌های توده‌ای را تشدید می‌نماید. در این رابطه در ابتدا با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، نقشه شیب و جهت شیب در منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. سپس شیب نواحی نیز در ۵ طبقه مطابق جدول ۹ تعیین شده است. نقشه طبقات شیب در شکل F۲ ارائه شده است. طبق این نقشه هرچقدر شیب بیشتر باشد ارزش بیشتری به آن تعلق می‌گیرد.

جدول ۹: طبقات شیب.

ردیف	طبقات (درجه)
۱	۰ -۱۵/۶
۲	۱۵/۷ -۳۱/۱
۳	۳۱/۲ – ۴۶/۷
۴	۴۶/۸ – ۶۲/۲
۵	۶۲/۳ -۷۷/۸

جهات شیب از طریق اثر در میزان دریافت انرژی خورشیدی و نگه‌داشت میزان رطوبت بیشتر و حتی استمرار وقوع یخبندان در دامنه‌هایی که نور کمتری دریافت می‌کنند، در پدیده ریزش سنگ اهمیت پیدا می‌کند. نقشه جهات شیب نیز در شکل G۲ ارائه شده است. طبق این نقشه، هر چقدر جهت شیب بیشتر باشد امتیاز بیشتری به آن تعلق خواهد گرفت.

لیتولوژی

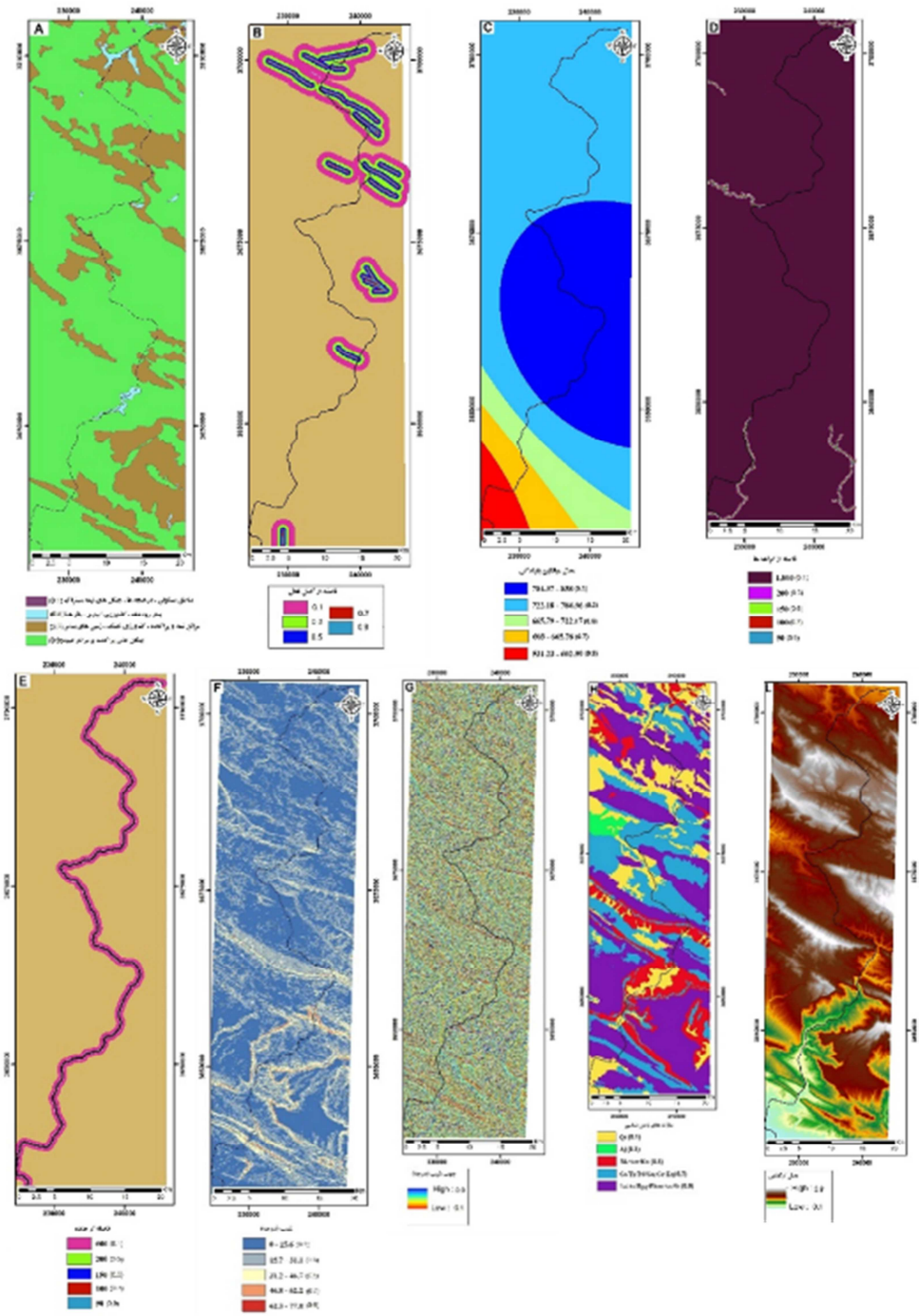
نوع و تنوع لیتولوژی یکی از عوامل بسیار مهم و مؤثر در وقوع ریزش سنگ از ارتفاعات محسوب می‌شود. بر اساس نقشه‌های رقومی‌شده با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نوع لیتولوژی اطراف محور خرم آباد-پل‌زال از سازندهای منفصل و نامقاوم رسوبی مانند ماسه‌سنگ، سیلتستون، گل سنگ، همراه با میان لایه‌هایی از شیل است که به شدت هوازده شده‌اند و مستعد ریزش می‌باشند. طبقه پنجم نقشه جنس سنگ یعنی کوارتز، ماسه‌سنگ، سیلتستون، مارن همراه با میان لایه‌های شیلی بالاترین سوابق ریزش را داشته‌اند که حاکی از نقش سنگ‌های منفصل به همراه سایر عوامل تقویت‌کننده مانند سطوح ارتفاعی، شیب، فاصله از جاده و عوامل اقلیمی است. طبقات سنگ‌شناسی بر اساس نوع سازند در جدول ۱۰ و نقشه آن در شکل H۲ ارائه شده است. طبق این نقشه هرچقدر سنگ‌ها مقاومت کمتری داشته باشند مثل مارن، شیل و ... امتیازی بیشتری به آن تعلق گرفت.

جدول ۱۰: طبقات سنگ‌شناسی.

ردیف	طبقات	درصد
۱	Qt رسوبات کواترنری	۸/۳
۲	Ls/As/Bgq/As-Sb سازند لشکرک سازند آسماری سازند بنگستان	۴/۵
۳	Gs/Tz/Dp/Gu/Gr-Eq سازند گورپی سازند گرو سازند گورپی-الیکا سازند پابده	۳۳/۲
۴	Bk/Am/Kn سازند بختیاری سازند امیران سازند کنگان	۹/۴
۵	Aj سازند آغاجاری	۳/۷

طبقات ارتفاعی

ارتفاع از سطح دریا نشان تغییرات و نوسانات اقلیمی است. به‌دلیل اختلاف میزان انرژی که هر نقطه زمین از خورشید دریافت می‌کند، متغییر است. تغییرات ارتفاع می‌تواند تأثیر بسزایی بر سه عامل دما، بارش و رطوبت داشته باشد (خضری و همکاران، ۱۳۹۳). ارتفاع منطقه بین ۲۴۹ تا ۲۲۹۳ متر است. لایه‌ی مدل ارتفاع رقومی به ترتیب از ارتفاع کم به زیاد (۱تا ۵) وزن‌دهی شد (شکل L۲). یعنی هرچقدر ارتفاع بیشتر شود وزن تعلق‌گرفته به آن بیشتر است.



شکل ۲: A: نقشه کاربری اراضی محدوده جاده خرم‌آباد-پل زال. B: نقشه طبقات فاصله از گسل‌های فعال. C: نقشه طبقات میانگین بارندگی. D: نقشه طبقات فاصله از آبراهه‌ها. E: نقشه طبقات فاصله از جاده. F: نقشه طبقات شیب. G: نقشه جهت شیب. H: نقشه طبقات فاصله از لیتولوژی. L: نقشه مدل ارتفاعی.

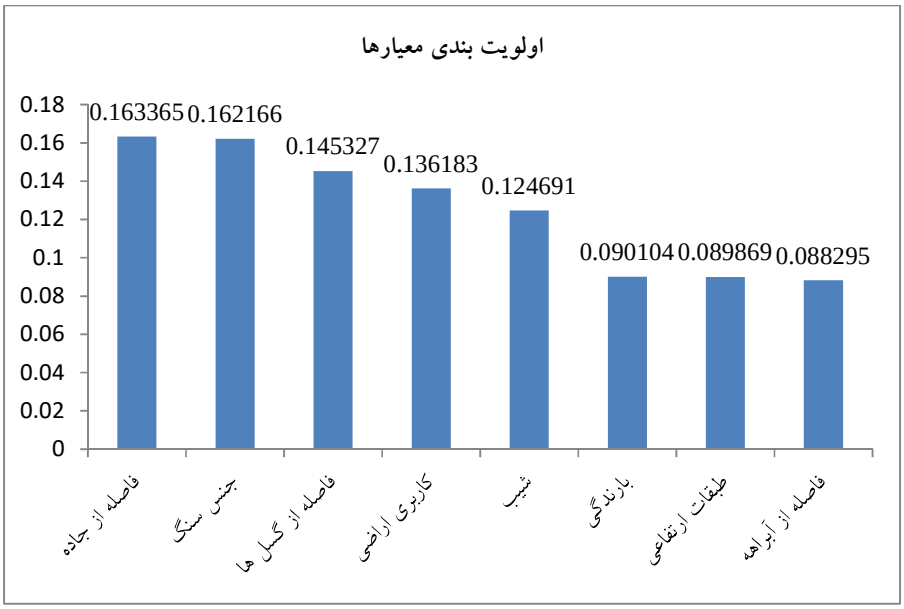
نتایج حاصل از روش ماتریس تصمیم‌گیری روش AHP نشان داد که معیار فاصله از جاده با وزن ۰/۱۶۳۳ و جنس سنگ با وزن ۰/۱۶۲۱ مهم‌ترین معیارهای سنجش خطر ریزش سنگ هستند. معیارهای فاصله از گسل، کاربری اراضی، شیب، بارندگی، طبقات ارتفاعی و فاصله از آبراهه نیز به ترتیب با وزن بردار ویژه ۰/۱۴۵، ۰/۱۳۶، ۰/۱۲۴، ۰/۰۹۰، ۰/۰۸۹ و ۰/۰۸۸ دیگر مؤلفه‌های تأثیرگذار هستند (شکل ۳) و (جدول ۱۱ و ۱۲). گفتنی است که نمره‌دهی به معیارها توسط کارشناس زمین‌شناس مهندسی و راه و ساختمان صورت گرفته است.

جدول ۱۱: ماتریس تصمیم‌گیری معیارهای شناسایی‌شده.

	شیب	فاصله از آبراهه	بارندگی	فاصله از گسل	فاصله از جاده	طبقات ارتفاعی	کاربری اراضی	جنس سنگ‌ها
شیب	۱	۳	۳	۱	۰/۵	۳	۰/۵	۰/۵
فاصله از آبراهه	۰/۳۳	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۱	۰/۳۳	۰/۲۵
بارندگی	۰/۳۳	۲	۱	۰/۲۵	۰/۲	۲	۰/۳۳	۰/۲۵
فاصله از گسل	۱	۳	۴	۱	۰/۵	۳	۱	۲
فاصله از جاده	۲	۴	۵	۲	۱	۲	۱	۱
طبقات ارتفاعی	۰/۳۳	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۰/۵	۰/۲۵
کاربری اراضی	۲	۳	۳	۱	۱	۲	۱	۰/۵
جنس سنگ‌ها	۲	۴	۴	۰/۵	۱	۴	۲	۱

جدول ۱۲: نتیجه اولویت‌بندی معیارها به روش AHP.

نام گزینه	وزن
فاصله از جاده	۰/۱۶۳
جنس سنگ	۰/۱۶۲
فاصله از گسل‌ها	۰/۱۴
کاربری اراضی	۰/۱۳
شیب	۰/۱۲
بارندگی	۰/۰۹
طبقات ارتفاعی	۰/۰۸۹
فاصله از آبراهه	۰/۰۸۸

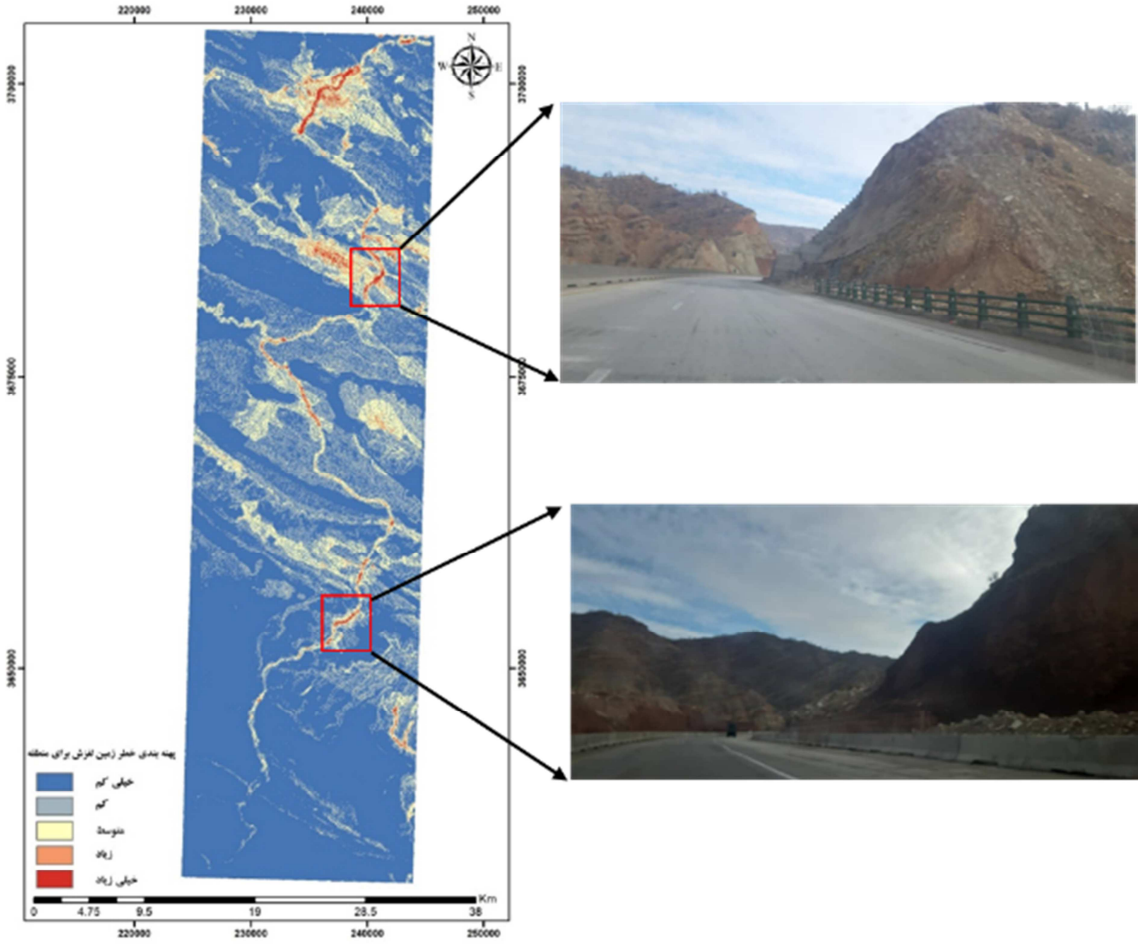


شکل ۳: وزن معیارهای شناسایی‌شده بر اساس روش مقایسات زوجی AHP.

از روی هم گذاری لایه‌های تهیه‌شده، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به‌دست آمده است. نتایج حاصل از پهنه-بندی خطر ریزش سنگ در جدول ۱۳ و شکل ۴ ارائه شده است. همچنین در شکل ۴ مناطقی که توسط روش‌های AHP به عنوان مناطق با پتانسیل خطر ریزش سنگ معرفی شدند نشان داده شده است.

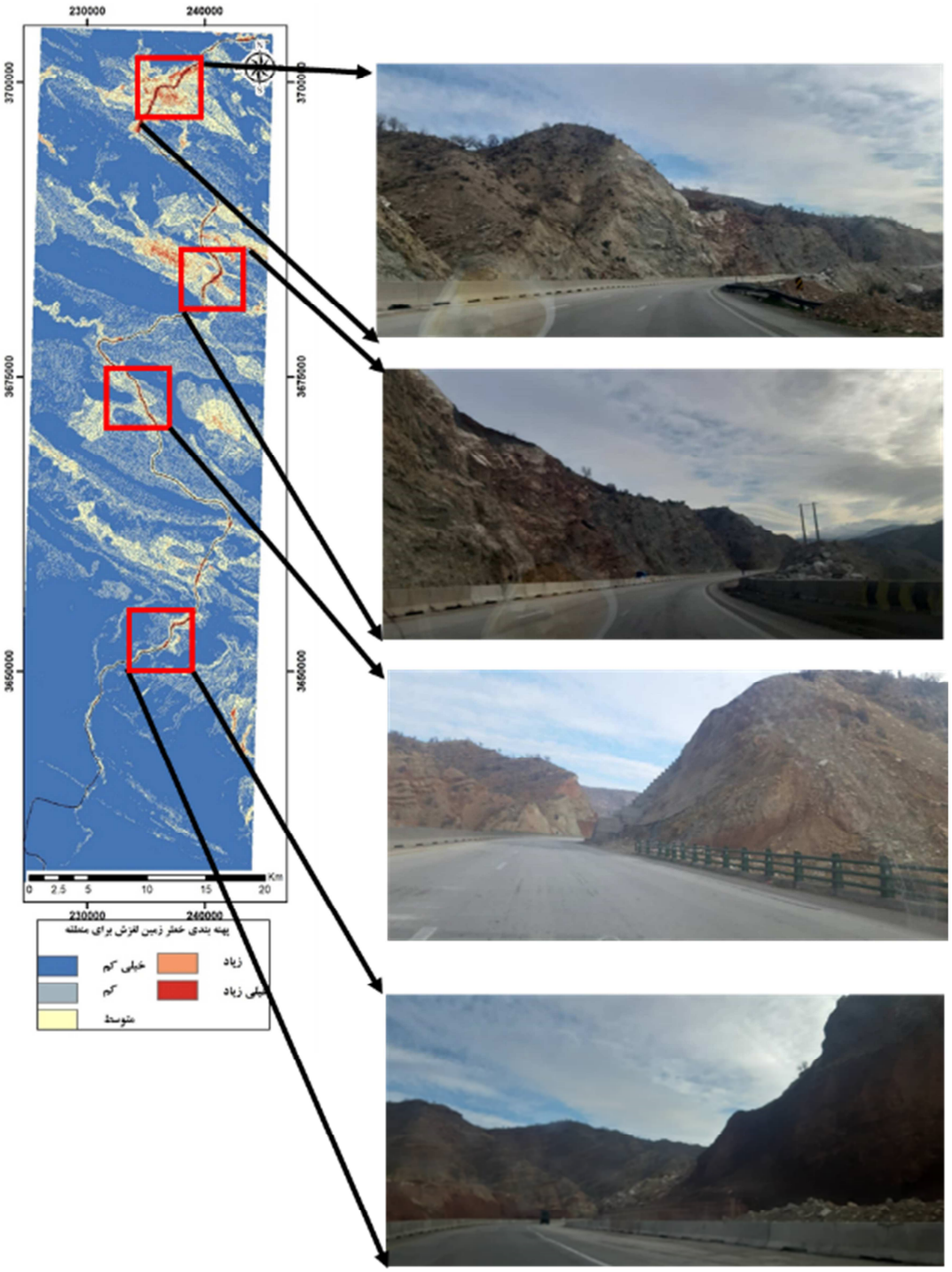
جدول ۱۳: طبقات پهنه‌بندی برای خطر ریزش سنگ در محور خرم آباد-پل زال.

ردیف	طبقات (درجه)	درصد
۱	خیلی کم	۵۹/۳
۲	کم	۲۸/۶
۳	متوسط	۷/۴
۴	زیاد	۲/۸۳
۵	خیلی زیاد	۱/۸۷



شکل ۴: نمایی از مناطق مستعد خطر ریزش سنگ و پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ با بهره‌گیری از روش AHP در محور خرم آباد-پل زال.

با توجه به مطالعات صورت‌گرفته در منطقه و اهمیت هر لایه نسبت به دیگری، اطلاعات لازم برای تهیه نقشه‌ی پتانسیل خطر ریزش سنگ در قالب لایه‌های کاربری اراضی، فاصله از گسل‌ها، میانگین بارندگی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از جاده‌ها، طبقات شیب، جهت شیب، لیتولوژی و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) بین صفر تا یک فازی‌سازی شدند. مقدار گامای استفاده‌شده در این فرآیند (γ=۰/۹۵) است. هرچقدر γ به یک نزدیک باشد ترکیب حاصله به جمع جبری نزدیک‌تر خواهد بود. در این مطالعه لایه‌های فازی‌سازی‌شده با استفاده از عملگر فازی- گاما تلفیق شدند و نقشه‌ی مناطق مستعد خطر ریزش سنگ در محور خرم‌آباد-پل زال مطابق شکل ۵ به‌دست آمد. همچنین در شکل ۵ مناطقی که توسط روش فازی-گاما به‌عنوان مناطق با پتانسیل خطر ریزش سنگ معرفی شدند، نشان داده شده است. با مقایسه دو روش یادشده، مشخص شد که مناطق مستعد لغزش حاصل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) با ضریب ناسازگاری CR= ۰/۰۳۴ با مناطق دارای لغزش موجود در منطقه، همبستگی فضایی مثبت بالاتری دارند. با وجود اینکه مناطق مستعد لغزش حاصل از روش فازی - گاما نیز همبستگی خوبی با مناطق ریزشی موجود دارند، اما این روش نتوانسته تمام مناطق دارای پتانسیل ریزش موجود در منطقه را پیش‌بینی نماید.



شکل ۵: نمایی از مناطق مستعد خطر ریزش سنگ و پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ با بهره‌گیری از روش فازی-گاما در محور خرم‌آباد-پل زال.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مسیر آزاد راه خرم آباد-پل‌زال ازجمله مسیرهای کوهستانی و پرخطر است که نیازمند مطالعه خطر ریزش سنگ است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی و پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ در محور خرم‌آباد-زال در سال ۱۴۰۰ انجام شده است. پس از انجام مطالعات اولیه، پارامترهای تأثیرگذار در خطر ریزش سنگ در مناطق کوهستانی شناسایی شد. این فرآیند به روش اسنادی صورت گرفته است. از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP برای اولویت‌بندی و وزن‌دهی به معیارها استفاده شده است. با استفاده از روش روی‌هم‌گذاری نقشه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS10.7، مناطق مستعد خطر ریزش سنگ در محور خرم‌آباد-زال شناسایی گردید. نتایج پژوهش نشان داد که معیار فاصله از جاده با وزن ۰/۱۶۳۳ و جنس سنگ با وزن ۰/۱۶۲۱مهم‌ترین معیارهای سنجش خطر ریزش سنگ در مسیر مورد مطالعه هستند.

نتایج به‌دست‌آمده از تلفیق نقشه معیارهای مورد نظر، شش محدوده در جاده خرم‌آباد-زال دارای خطر زیاد و خیلی زیاد هستند. این مناطق به شرح زیر هستند:

* کیلومتر ۴-۵ محوره خرم‌آباد-پل زال
* کیلومتر ۸-۱۳ محور خرم‌آباد-پل زال
* کیلومتر ۱۹-۲۳ محور خرم‌آباد-پل زال
* کیلومتر ۳۵-۴۱ محور خرم‌آباد-پل زال (خطر زیاد)
* کیلومتر ۴۵-۴۶ محور خرم‌آباد-پل زال (خطر زیاد)
* کیلومتر ۴۹-۵۸ محور خرم‌آباد-پل زال (خطر زیاد)

آثار ریزش‌های قدیمی در حال حاضر نیز در این مناطق دیده می‌شود که تأییدی بر درستی این مطالعات است. بخشی از پهنه در معرض خطر در گذشته به فضای سبز اختصاص داده شده است، ولی در سال‌های اخیر این مهم نادیده گرفته شده و در آنها ساخت‌وساز صورت گرفته است که لازم است در کاربری این زمین‌ها تجدید نظر صورت گیرد. همچنین توصیه می‌شود اقدامات پیشگیرانه همچون لق‌گیری و ساخت دیوار حایل در مناطقی پرخطر مانند مناطق مسکونی صورت پذیرد. نتایج همچنین نشان داد که مناطق با خطر بالای ریزش از محدوده اطراف جاده به سمت پیرامون کشیده شده و این در جایی رخ می‌دهد که جاده در مجاورت آبراهه قرار دارد و از محدوده گسل‌های متعددی عبور کرده است و همچنین از لحاظ لیتولوژیکی در محدوده سنگ‌های با مقاومت کششی پایین قرار گرفته‌اند. از نتایج این پژوهش می‌توان برای برنامه‌ریزی مخاطرات محیطی در آزاد راه خرم‌آباد-زال به منظور پیشگیری از خسارت‌های جانی و مالی احتمالی در این منطقه حساس کوهستانی بهره برد و ازجمله اقدامات کنترلی می‌توان به احداث تورهای فلزی در مناطق با درجه بالای خطر به‌ویژه در سنگ‌های سست و مارنی دامنه‌های پر خطر اشاره نمود.

پیشنهاد می‌گردد که در آینده نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ با سیستم‌های اندازه‌گیری خطر (RHRS)[1] که پارامترهای ساختمانی و ژئومکانیکی سنگ‌ها را مورد توجه قرار می‌دهند، تلفیق شوند تا نقشه‌ی پهنه‌بندی از صحت و دقت بیشتری برخوردار گردند. در پایان از این روش به‌دلیل سادگی و عدم محدودیت در استفاده از عوامل مؤثر بیشتر و عدم محاسبات طولانی، می‌توان نقشه خطر ریزش سنگ را برای کل کشور انجام داده تا به‌عنوان منبعی در اختیار مسئولین بخش اجرا در قسمت‌های توسعه و مدیریت فضای شهری، احداث جاده‌ها، زیرگذرها، روگذرها و ... مورد توجه واقع شوند.

منابع

اسفندیاری درآباد، فریبا؛ هاشمی، سیداقبال. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی ریزش در مسیر ارتباطی پاوه نودشه با استفاده از روش AHP و Expert Choies در محیط GIS، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۱(۲)، صص ۱۴۵-۱۵۸.

اصفری، صیاد؛ حسن‌زاده، رسول؛ رئوفی، سهیل. (۱۳۹۹). بررسی عوامل مؤثر بر ریزش سنگی و پهنه‌بندی خطر آن با رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز علی‌آباد چای هوراند، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۷ (۲۳)، صص۲۱-۳۸.

جوکار سرهنگی، عیسی؛ علیزاده، عبداله. (۱۳۹۳). ارزیابی کارایی مدل‌های نسبت فراوانی و ارزش اطلاعات در پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ (مطالعه موردی دره هراز)، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه گلستان، شماره ۴ (۱۱)، صص ۱۵۱-۱۶۲.

حاتمی فرد، رامین؛ موسوی، سید حجت؛ علی مرادی، مسعود. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم‌آباد، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳ شماره ۴۷ (۳)، صص۴۳-۶۰.

خضری، سعید؛ احمدی، محمد؛ محمدی مطلق، احمد. (۱۳۹۳). تحلیل و پهنه‌بندی خطر جریانات واریزه‌ای و مخروط‌های آن در منطقه کوهستانی پاوه، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳(۴)، صص ۱-۱۶.

نگهبان، سعید؛ جهان‌تیغ‌مند، سمیه؛ رحیمی هرآبادی، سعید. (۱۳۹۹). تبیین جایگاه روش‌شناسی اثباتی و فرااثباتی در مخاطرات ژئومورفولوژیک (مورد: پهنه‌بندی مخاطرات ریزش سنگ در آزادراه رودبار- رستم‌آباد). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، ۹(۱)، ۵۲-۶۶.

Alemdag, S., Bostanci, H. T., & Gacener, E. (2022). GIS-based determination of potential instabilities and source rock areas on the Torul-Kürtün (Gümüşhane) motorway, rockfall, and protection structure analyses. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 81(1), 1-23.

Aretouyap, Z., Kemgang, F. E. G., Domra, J. K., Bisso, D., & Njandjock, P. N. (2021). Understanding the occurrences of fault and landslide in the region of West Cameroon using remote sensing and GIS techniques. Natural Hazards, 109(2), 1589-1602.

Baroni, C., Bruschi, G., & Ribolini, A. (2000). Human-induced hazardous debris flows in Carrara marble basins (Tuscany, Italy). Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 25(1), 93-103.

Behera, S., Panigrahi, M. K., & Pradhan, A. (2019). Identification of geochemical anomaly and gold potential mapping in the Sonakhan Greenstone belt, Central India: An integrated concentration-area fractal and fuzzy AHP approach. Applied Geochemistry, 107, 45-57.

Chowdhury, P., Mukhopadhyay, B. P., & Bera, A. (2022). Hydrochemical assessment of groundwater suitability for irrigation in the northeastern blocks of Purulia district, India using GIS and AHP techniques. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 103108.

Gallo, I. G., Martínez-Corbella, M., Sarro, R., Iovine, G., López-Vinielles, J., Hérnandez, M., ... & García-Davalillo, J. C. (2021). An Integration of UAV-Based Photogrammetry and 3D Modelling for Rockfall Hazard Assessment: The Cárcavos Case in 2018 (Spain). Remote Sensing, 13(17), 3450.

Ghezelbash, R., Maghsoudi, A., & Daviran, M. (2019). Prospectivity modeling of porphyry copper deposits: recognition of efficient mono-and multi-element geochemical signatures in the Varzaghan district, NW Iran. Acta Geochimica, 38(1), 131-144.

Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., & Carrara, A. (2000). Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. Environmental management, 25(3).

[1] Rockfall Hazard Rating System (RHRS)

Jafari, M. A., Nzarpour, A., & Kananian, A. (2020). Comparison accuracy of Fuzzy-GAMMA and analytical hierarchy process (AHP) two methods with the potential detection of Cu metal in Malayer-Aligoudarz-Esfahan metallogenic zone. Advanced Applied Geology, 10(3), 314-327.

Lee, S, (2004). Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. Environmental Management, 34(2), 223-232.

Najafi, A., Karimpour, M.H. and Ghaderi, M. (2014). Application of fuzzy AHP method to IOCG prospectivity mapping: A case study in Taherabad prospecting area, eastern Iran. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 33(1), 142- 154.

Omran, A., Fahmida, K., Schröder, D., Arnous, M. O., El-Rayes, A. E., & Hochschild, V. (2021). GIS-based rockfall hazard zones modeling along the coastal Gulf of Aqaba Region, Egypt. Earth Science Informatics, 14(2), 691-709.

Santi, P. M., Hewitt, K., VanDine, D. F., & Cruz, E. B. (2011). Debris-flow impact, vulnerability, and response. Natural hazards, 56(1), 371-402.

Saroglou, C. (2019). GIS-based rockfall susceptibility zoning in Greece. Geosciences, 9(4), 163.

Tan, R.R., Aviso, K.B., Huelgas, A.P. and Promentilla, M.A.B. (2014). Fuzzy AHP approach to selection problems in process engineering involving quantitative and qualitative aspects. Process Safety and Environmental Protection, v. 92(5), p. 467- 475.

Wang, X., Liu, H., & Sun, J. (2021). A New Approach for Identification of Potential Rockfall Source Areas Controlled by Rock Mass Strength at a Regional Scale. Remote Sensing, 13(5), 938.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Information and control, v. 8(3), p. 338- 353.

Zhang, N., Zhou, K., and Du, X. (2017). Application of fuzzy logic and fuzzy AHP to mineral prospectivity mapping of porphyry and hydrothermal vein copper deposits in the Dananhu-Tousuquan island arc, Xinjiang, NW China. Journal of African Earth Sciences, v. 128, p. 84- 96.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Asghari, S., Hasan zadeh, R., Raoofi, S. (2020). Investigation of Factors Influencing rock fall and Its Zoning with Logistic Regression in Ali Bayad Basin of Horand Abstract. Hydrogeomorphology, 7(23), 21-38. In Persian]
Esfanduari Dor Abadi, F., Hashemi, S.E., (2012). Rockfall mapping in Paveh-Nodsheh road by using AHP method and Expert Choice in the GIS environment, Quantitative Geomorphological Research 1 (2), 145-158. [In Persian]
Hatami Fard, R., Mousavi, S., Alimoradi, M, (2012). Landslide hazard zonation using AHP model and GIS technique in Khoram Abad City. Geography and Environmental Planning, 23(3), 43-60. [In Persian]
Jokar sarhangi, E., alizadeh, A. (2014). Evaluating the efficiency of frequency ratio models and information value in rockfall risk zoning. Case study of Haraz valley. Geographical Planning of Space, 4(11), 151-163. [In Persian]
Khezri, S, Ahmadi, M, Mohammadi Motlagh, A. (2014). Hazard analysis and zoning of debris flows and its cones in the mountainous area of Paveh. Quantitative Geomorphological Research, 3 (4), 1-16. [In Persian]
Negahban, S., Jahan Tighmand, S., Rahimi herabadi, S. (2020). Explaining the Position of Positivism and Critical Methods in Geomorphic Hazard (Case: Rockfalls Hazard on Rudbar-Rostamabad Freeway), 9 (1), [In Persian]

References (in English)

Alemdag, S., Bostanci, H. T., & Gacener, E. (2022). GIS-based determination of potential instabilities and source rock areas on the Torul-Kürtün (Gümüşhane) motorway, rockfall, and protection structure analyses. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 81(1), 1-23.
Aretouyap, Z., Kemgang, F. E. G., Domra, J. K., Bisso, D., & Njandjock, P. N. (2021). Understanding the occurrences of fault and landslide in the region of West Cameroon using remote sensing and GIS techniques. Natural Hazards, 109(2), 1589-1602.
Baroni, C., Bruschi, G., & Ribolini, A. (2000). Human-induced hazardous debris flows in Carrara marble basins (Tuscany, Italy). Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 25(1), 93-103.
Behera, S., Panigrahi, M. K., & Pradhan, A. (2019). Identification of geochemical anomaly and gold potential mapping in the Sonakhan Greenstone belt, Central India: An integrated concentration-area fractal and fuzzy AHP approach. Applied Geochemistry, 107, 45-57.
Chowdhury, P., Mukhopadhyay, B. P., & Bera, A. (2022). Hydrochemical assessment of groundwater suitability for irrigation in the northeastern blocks of Purulia district, India using GIS and AHP techniques. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 103108.
Gallo, I. G., Martínez-Corbella, M., Sarro, R., Iovine, G., López-Vinielles, J., Hérnandez, M., ... & García-Davalillo, J. C. (2021). An Integration of UAV-Based Photogrammetry and 3D Modelling for Rockfall Hazard Assessment: The Cárcavos Case in 2018 (Spain). Remote Sensing, 13(17), 3450.
Ghezelbash, R., Maghsoudi, A., & Daviran, M. (2019). Prospectivity modeling of porphyry copper deposits: recognition of efficient mono-and multi-element geochemical signatures in the Varzaghan district, NW Iran. Acta Geochimica, 38(1), 131-144.
Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., & Carrara, A. (2000). Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. Environmental management, 25(3).
Jafari, M. A., Nzarpour, A., & Kananian, A. (2020). Comparison accuracy of Fuzzy-GAMMA and analytical hierarchy process (AHP) two methods with the potential detection of Cu metal in Malayer-Aligoudarz-Esfahan metallogenic zone. Advanced Applied Geology, 10(3), 314-327.
Lee, S, (2004). Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. Environmental Management, 34(2), 223-232.
Najafi, A., Karimpour, M.H. and Ghaderi, M. (2014). Application of fuzzy AHP method to IOCG prospectivity mapping: A case study in Taherabad prospecting area, eastern Iran. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 33(1), 142- 154.
Omran, A., Fahmida, K., Schröder, D., Arnous, M. O., El-Rayes, A. E., & Hochschild, V. (2021). GIS-based rockfall hazard zones modeling along the coastal Gulf of Aqaba Region, Egypt. Earth Science Informatics, 14(2), 691-709.
Santi, P. M., Hewitt, K., VanDine, D. F., & Cruz, E. B. (2011). Debris-flow impact, vulnerability, and response. Natural hazards, 56(1), 371-402.
Saroglou, C. (2019). GIS-based rockfall susceptibility zoning in Greece. Geosciences, 9(4), 163.
Tan, R.R., Aviso, K.B., Huelgas, A.P. and Promentilla, M.A.B. (2014). Fuzzy AHP approach to selection problems in process engineering involving quantitative and qualitative aspects. Process Safety and Environmental Protection, v. 92(5), p. 467- 475.
Wang, X., Liu, H., & Sun, J. (2021). A New Approach for Identification of Potential Rockfall Source Areas Controlled by Rock Mass Strength at a Regional Scale. Remote Sensing, 13(5), 938.
Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Information and control, v. 8(3), p. 338- 353.

Zhang, N., Zhou, K., and Du, X. (2017). Application of fuzzy logic and fuzzy AHP to mineral prospectivity mapping of porphyry and hydrothermal vein copper deposits in the Dananhu-Tousuquan island arc, Xinjiang, NW China. Journal of African Earth Sciences, v. 128, p. 84- 96.