



Lorestan University

Online ISSN: 2717-2325

Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas

Journal homepage: <http://www.gsma.lu.ac.ir>

Research Paper

Landslide and Rockfall susceptibility zoning in the area of Kerend-e Gharb and Sarpol –e Zahab (the axis of Pataq pass) in Kermanshah province

Ahmad Ahmadpour^{a,*}, Parastoo Ghaforpur Anbaran^b, Hamid Reza Babayyan^c

^a MSc in Remote Sensing and Geographic Information System, Department of Remote Sensing and Geographic Information System, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

^b Ph.D in Geomorphology, Department of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

^c MSc in Geomorphology, Payame Noor University, Abadeh, Shiraz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 19 June 2023;

Accepted: 11 March 2024

Available online: 18

August 2024

Keywords:

Landslide, Rockfall, Ezgele earthquake, Weighted Linear Combination (WLC) model, Pataq pass.

ABSTRACT

Slope instabilities are among the most prominent natural hazards that are exacerbated by human interventions, leading to fatal and financial damages, especially on mountain roads. In this regard, the Pataq pass, serving as a transportation axis between Kerend and Sarpol-e Zahab in Kermanshah Province, is prone to mass movements such as landslides and rockfalls. During the 7.3 magnitude earthquake on November 12, 2017, in Ezgele, Kermanshah, landslides and rockfalls occurred in the region, blocking the intended axis due to rockfall. This phenomenon posed challenges for urban and rural areas in terms of emergency response; hence, the necessity of attention and awareness of factors influencing these natural phenomena is more crucial than ever. To achieve this goal, the Weighted Linear Combination (WLC) model was utilized in this study, considering criteria such as slope, domain shape or curvature index, slope direction, elevation, distance from fault lines, distance from roads, geology, and land use to zone areas susceptible to landslide and rockfall hazards. The study area was divided into five categories. The overall results of this research indicate that in terms of landslide occurrence, areas with rough topography and steep slopes, particularly in the Agajari geological unit, have a higher potential for landslides. Due to the mountainous nature of the region and the phenomenon of rock weathering, the likelihood of rockfall increases. It is worth mentioning that earthquakes play a significant role as a driving factor in slope movements. Identifying areas with potential for slope movements and utilizing location-based methods and techniques relying on geographic information systems and remote sensing can serve as effective strategies in managing and planning to reduce damages resulting from slope movement hazards

1. Introduction

Mass movements are a particular type of natural and formative phenomena within the domain of geomorphological, hydrological, and local geological conditions. Among mass movements, landslides and rockfalls are of special significance due to their extensive nature. Landslides represent the most important type of slope hazards, involving the downslope movement or relatively rapid displacement of sediments along slopes or sliding surfaces. Over the years, various techniques and

methods have been developed for mapping landslide susceptibility and have been utilized in the literature. Landslide susceptibility maps can be prepared using quantitative or qualitative approaches. The Pataq Pass, serving as a transportation axis between Kerend and Sar-e Pol-e Zahab in Kermanshah province, is prone to mass movements such as landslides and rockfalls. During the 7.3 magnitude earthquake on November 11, 2017, in Ezgele, Kermanshah triggered by the seismic activity, landslides and rockfalls occurred

*Corresponding Author.

Email Addresses: Ahmad_ahmadpour17@yahoo.com (A. Ahmadpour), parastooahaforpur@yahoo.com (P. Ghaforpur Anbaran), hmydbabayyan59@gmail.com (H.R. Babayyan).

To cite this article:

Ahmadpour, A., Ghaforpur Anbaran, P., Babayyan, H.R. (2024). Landslide and Rockfall susceptibility zoning in the area of Kerend-e Gharb and Sarpol –e Zahab (the axis of Pataq pass) in Kermanshah province s. Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas 5 (18), 39-58.

Doi: 10.22034/gsma.2024.715552

in the region, blocking the transportation axis between Kerend and Sar-e Pol-e Zahab (Pataq Pass). This event posed challenges for providing assistance to urban and rural areas. Hence, it is deemed highly necessary to identify areas susceptible to mass movements to prevent risks and mitigate financial, human, and environmental damages through protective and preventative measures. Therefore, this current research aims to investigate and map the areas prone to mass movements, including landslides and rockfalls, along the transportation axis of Pataq Pass. The preparation of landslide and rockfall zoning maps will be conducted using the Weighted Linear Combination (WLC) method and GIS technique. The objective of this study is to create landslide and rockfall susceptibility maps to develop appropriate strategies for reducing the hazards of landslides and rockfalls. The findings of this research will assist residents/local communities at risk, urban planners, and engineers in reducing present and future damages caused by existing and potential landslides.

2. Methodology

In this study, various criteria have been used for the zoning of landslide and rockfall hazards. These criteria include slope, aspect, curvature index, geographic latitude, distance from roads, and distance from faults, land use, and geology. Considering that some of these criteria have a direct relationship and others have an inverse relationship with the research output, the data layers have been transformed to an appropriate scale to be able to be integrated. After standardizing the data, the Analytic Hierarchy Process (AHP) model and binary comparison matrix, along with the opinions of experienced university professors, have been used to determine the influence and importance of each criterion on the research output. Subsequently, using ExpertChoice11 software, the final weights of each criterion have been calculated. Finally, for the zoning of the study area, the Weighted Linear Combination (WLC) method has been employed. This method, by assigning weights to the criteria, helps in achieving a higher accuracy in determining the hazard zones for landslides and rockfalls. These analyses and their resulting outcomes serve as an effective tool in making appropriate decisions for reducing the risks of landslides and rockfalls in the study area.

3. Results

Based on the results of zoning the landslide hazard in the slopes overlooking the Pataq Pass in the central and northwestern areas of the study area, it is characterized by a very high risk of landslides.

According to results, approximately 42.96 square kilometers (17.89%) of the area is covered by areas with a very high risk of landslides. The largest area belongs to the moderate hazard category, accounting for 91.43 square kilometers (38.08%). In terms of rockfall occurrence, a small percentage of the study area, around 0.01 square kilometers (0.01%), is located in areas with very low risk, while the majority falls within areas with moderate risk, covering an area of approximately 102.21 square kilometers (43.63%). The areas with a very high risk encompass the central regions along the Pataq Pass in the study area. Furthermore, we observe more severe destruction in areas located on separate quaternary units compared to areas situated on harder units like limestone formations. As evidenced by the earthquake on November 12, 2017, in Ezgele, Kermanshah Province, regions with separate quaternary units experienced greater damage due to their lower resistance and the intensity of seismic waves, leading to landslides and collapses in the area. The consequences of this earthquake and the varying resistance levels of geological units, steep slopes, mountainous terrain, sparse vegetation cover, and active faults confirm the necessity of conducting extensive studies on mass movements in the region.

4. Discussion

Based on the zoning results of the study area according to the Weighted Linear Combination (WLC) model and the earthquake reports of November 12, 2017, in Ezgele, Kermanshah, the Pataq Pass is prone to landslides and rockfalls, and the occurrence of this hazard has caused damage and losses to the region; thus, it requires serious attention from officials and the implementation of fundamental and control measures to reduce the frequency and resulting damages. Among these measures, identifying and zoning areas at risk of slope movements using modern methods along with employing geographic information systems and remote sensing, implementing biological and mechanical measures in high-risk areas can be highlighted.

5. Conclusion

The results of this study indicate that in areas with high elevation and rough topography, steep slopes, and sparse vegetation cover, the potential for landslide hazard is higher. In the Aghajari geological units, especially in the northern-facing slopes or northern domains, the occurrence of landslides increases. The presence of gypsum-bearing marls in this formation has made it susceptible to erosion. Additionally, in Quaternary sediments that cover parts of the northwestern

areas within the Sarpol-e Zahab region, in areas with steep slopes and roughness, the potential for landslides increases. Given the mountainous nature of the region, phenomena such as freezing and expansion of rocks and weathering exist, which create conditions for the formation of fractures and rock fissures on the slopes. In the event of seismic shaking from an earthquake, the likelihood of rockfall occurring in these areas increases.

Acknowledgments

This research is the result of the scientific efforts of the authors.

We sincerely express our gratitude and appreciation for the unwavering support and cooperation of all individuals who assisted us in conducting this research.



شاپای الکترونیکی: ۲۳۲۵-۲۷۱۷

فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی

<http://www.gsma.lu.ac.ir>



مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش و ریزش سنگ در محدوده کرند غرب و سرپل ذهاب (محور گردنه پاتاق) استان کرمانشاه

احمد احمدپور^{۱*}؛ پرستو غفورپور عنبران^۲؛ حمیدرضا بابائیان^۳

^{۱*} کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

^۲ دکتری تخصصی ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

^۳ کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه پیام نور، واحد آباده، شیراز، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله:

۱۴۰۲/۰۳/۲۹

پذیرش نهایی:

۱۴۰۲/۱۲/۲۱

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۰۵/۲۸

چکیده

ناپایداری‌های دامنه‌ای از مشخص‌ترین نوع مخاطرات طبیعی هستند که با دخالت‌های انسانی تشدید شده و موجب بروز خسارت‌های جانی و مالی به‌ویژه در جاده‌های کوهستانی می‌شود. در همین راستا گردنه پاتاق به‌عنوان محور مواصلاتی بین کرند غرب و سرپل ذهاب در استان کرمانشاه، از مناطق مستعد حرکات توده‌ای از جمله زمین‌لغزش و ریزش سنگ است. در زلزله ۷/۳ ریشتری ۲۱ آبان ۱۳۹۶ در ازگله کرمانشاه، رخداد زمین‌لغزش و ریزش کوه در منطقه به وقوع پیوست و محور موردنظر در اثر ریزش کوه مسدود گردید. این پدیده، امدادسانی به مناطق شهری و روستایی با مشکل مواجه کرد؛ بنابراین لزوم توجه و آگاهی از عوامل مؤثر بر این پدیده‌های طبیعی بیش‌ازپیش احساس می‌شود. جهت دستیابی به این هدف، در این پژوهش از مدل ترکیب خطی وزنی (WLC) بادر نظر گرفتن معیارهای شیب، شکل دامنه یا شاخص انحنا، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از جاده، زمین‌شناسی و کاربری ارضی به‌منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد مخاطره زمین‌لغزش و ریزش سنگ استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه به پنج طبقه تقسیم‌بندی شد. نتایج کلی این پژوهش نشان داده است که از نظر وقوع زمین‌لغزش، پهنه‌های با ناهمواری خشن و شیب زیاد و در واحد سنگ‌شناسی آغا‌جاری پتازسپیل رخداد زمین‌لغزش بیشتر است. به دلیل کوه‌ستانی بودن منطقه و پدیده هوازدگی سنگ‌ها، احتمال رخداد ریزش سنگ افزایش می‌یابد. قابل ذکر است که زمین‌لرزه به‌عنوان یکی از عوامل مهم و محرک در رخداد حرکات دامنه‌ای است. شناسایی مناطق با پتانسیل وقوع حرکات دامنه‌ای و بهره‌گیری از روش‌ها و تکنیک‌های مکان محور و متکی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور می‌تواند راهکار مناسبی در مدیریت و برنامه‌ریزی در جهت کاهش خسارات ناشی از مخاطرات حرکات دامنه‌ای باشد.

واژگان کلیدی:

زمین‌لغزش، ریزش سنگ،

زلزله ازگله، مدل ترکیب

خطی وزنی (WLC)، گردنه

پاتاق.

۱. مقدمه

فرآیندهای زمین‌شناسی، روان آب، یخچال‌های طبیعی و باد) و درون‌زا (زلزله، فعالیت‌های آتشفشانی و تغییر شکل) است (Emami et al., 2020). حرکات توده‌ای نوع خاصی از

فعالیت‌های ژئومورفولوژیکی زمین همیشه پویا هستند (Corenblit et al., 2011) و شامل فرآیندهای مختلف برون‌زا

* نویسنده مسئول:

پست الکترونیک نویسندگان: Ahmad_ahmadpour17@yahoo.com (ا، احمدپور)؛ parastooghaforpur@yahoo.com (پ، غفورپور عنبران)؛ hmydbabayyan59@gmail.com (ح، بابائیان).

نحوه استنادی به مقاله: احمدپور، احمد، غفورپور عنبران، پرستو، بابائیان، حمیدرضا (۱۴۰۳). پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش و ریزش سنگ در محدوده کرند غرب و سرپل ذهاب (محور گردنه پاتاق) استان کرمانشاه. سال پنجم، شماره ۲ (۱۸)، صص ۵۸-۳۹.

نقشه‌برداری از مناطق مستعد زمین‌لغزش برای برنامه‌ریزی صحیح کاربری زمین و مدیریت بلایا برای یک محل یا منطقه خاص ضروری است. در طول سال‌ها، تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی برای نقشه‌برداری حساسیت زمین‌لغزش توسعه یافته و در ادبیات استفاده شده است. نقشه‌های حساسیت زمین‌لغزش را می‌توان با استفاده از رویکرد کمی یا کیفی تهیه کرد (Park et al., 2013). چندین روش و فن مختلف برای نقشه‌برداری حساسیت زمین‌لغزش پیشنهاد یا آزمایش شده است. روش‌های نقشه‌برداری حساسیت زمین‌لغزش را می‌توان به دودسته کیفی یا کمی و مستقیم یا غیرمستقیم طبقه‌بندی کرد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توسط ساعتی (۱۹۸۰) و ترکیب خطی وزنی (WLC) برای اولین بار توسط ووگد (۱۹۸۳) معرفی شدند و به روش‌شناسی کیفی تعلق دارند (Moragues et al., 2021). روش‌های کیفی به‌سادگی منطقه بندی خطر را به‌صورت توصیفی به تصویر می‌کشند. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS (GIS-MCDA) تکنیک‌های قدرتمندی را برای تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی خطرات زمین‌لغزش ارائه می‌دهد. دلیل انتخاب تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر GIS این است که در سال‌های اخیر به‌طور گسترده در نقشه‌برداری حساسیت زمین‌لغزش استفاده می‌شود (Feizizadeh & Blaschke, 2013). Tong et al (2021) در پژوهشی از روش جنگل تصادفی برای تهیه نقشه حساسیت ملی چین بر اساس پایگاه داده ملی زمین‌لغزش شامل بیش از ۳۰۰ هزار رویداد زمین‌لغزش استفاده کرده‌اند. نتایج نقشه‌برداری نشان می‌دهد مناطق چهار درجه حساسیت از زیاد به پایین به ترتیب ۱۰۱، ۱۹۱، ۳۳۷ و ۳۳۱ هزار کیلومتر مربع است. مقدار منحنی عملکرد گیرنده (ROC) و سطح زیر منحنی (AUC) برابر ۰/۸۱ محاسبه شد که نشان می‌دهد نتایج به‌خوبی رضایت‌بخش هستند و می‌توانند کاهش زمین‌لغزش را در سطح ملی راهنمایی کنند. (Senouci et al (2021) با یک رویکرد دانش‌محور و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در یک محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه حساسیت زمین‌لغزش در منطقه ساحلی مستغانم (غرب الجزایر) را انجام داده‌اند. نتایج مطالعه، پایایی عالی نقشه‌های تولید شده را تأیید کرد. در این راستا، اعتبار سنجی بر اساس ROC، دقت ۰/۶۸۶ را برای نقشه تولید شده

فرآیندهای دامنه‌ای هستند که زائیده‌ی شرایط ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک و زمین‌شناسی محلی می‌باشند (Modalel Dost, 2008). در میان حرکت‌های توده‌ای، زمین‌لغزش و ریزش سنگ به دلیل گستردگی آن‌ها دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند. زمین‌لغزش، مهم‌ترین نوع حرمت دامنه‌ای و شامل پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و نسبتاً سریع رسوبات در امتداد دامنه‌ها یا سطوح لغزنده است (Cook & Dorekamp, 1998؛ Entezari & Pourkhosravani, 2020). وقوع پدیده زمین‌لغزش ناشی از عوامل متعدد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک، بیولوژیک و انسانی است، ولی معمولاً در شروع آن فقط یک محرک خارجی نقش محوری دارد. بارندگی شدید، ذوب سریع برف، تغییرات ناگهانی در سطح آب زیرزمینی، زمین‌لرزه و فرسایش با سرعت زیاد، از مهم‌ترین عوامل محرک زمین‌لغزش‌ها برشمرده می‌شوند (Dai, Tablebi et al., 2010؛ et al., 2002). علاوه بر این، فعالیت‌های انسان از زمان ارتباط با طبیعت (قطع درختان و چرای بیش‌ازحد و ...) موجب ایجاد عدم تعادل میان رطوبت خاک و تبخیر و تعرق از سطح گیاهان و افزایش ناپایداری این دامنه‌ها نسبت به مناطق بکر می‌گردد (Swanson et al., 1975). یکی دیگر از پدیده‌های طبیعی مخرب، ریزش سنگ است که در مواد خشک و به‌هم‌پیوسته رخ می‌دهد که مربوط به حرکت‌های ناگهانی یا تند بلوک‌های لق شده یا مجموعه‌ای از سنگ‌های سخت جدا شده از دیواره‌های سنگی پرشیب است. ریزش سنگ معمولاً در امتداد سطوح لایه‌بندی درزه‌ها و مناطق گسلی یا سطوح گسلی رخ می‌دهند؛ و از جمله تهدیدهای جدی برای جاده‌ها، بزرگراه‌ها، راه‌آهن و مناطق مسکونی در بسیاری از مناطق کوهستانی محسوب می‌شوند (Shirzadi et al., 2018). در اغلب اوقات خطرات ناشی از سنگ‌ریزش را نمی‌توان دفع کرد. به دلیل اینکه وقوع این قبیل خطرات هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی متنوع است (Hantz et al., 2003). بنابراین حرکات توده‌ای (سنگ‌ریزش و زمین‌لغزش) از مهم‌ترین پدیده‌های مخرب طبیعی هستند که مشکلات جدی به وجود می‌آورند (Intarawichian et al., 2010). با برنامه‌ریزی و مدیریت مؤثر می‌توان خسارات اجتماعی و اقتصادی ناشی از زمین‌لغزش‌ها را کاهش داد (Ahmed, 2015).

پتانسیل تکنیک InSAR به‌عنوان روشی دقیق و جایگزین برای اندازه‌گیری کمی حجم و مورفولوژی توده‌های لغزشی بزرگ ناشی از زمین‌لرزه را اثبات کرده است. (Naderi et al (2019) ناپایداری‌های ژئومورفولوژیکی حاصل از زلزله از گله در استان کرمانشاه و ایلام با استفاده از مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار داده و نقشه پهنه‌بندی ارائه کردند.

گردنه پاتاق، در حوزه استحفاظی شهرستان‌های دالاهو و سرپل ذهاب و بر سر مسیر اصلی بزرگ‌راه کربلا قرار دارد به گردنه پاتاق «دروازه آسیا»، «دروازه زاگرس» و «عقبه جلوان» نیز گفته شده است. راهی که از پاتاق می‌گذرد (راه اصلی و فعلی کرمانشاه - قصر شیرین)، از دیرینه‌ترین ایام محل عبور مسافر، کالا، قشون و ادوات نظامی میان مراکز جمعیتی و کانون‌های فعالیت اقتصادی در دشت‌های فلات ایران و مراکز واقع در جلگه بین‌النهرین بوده است. در اثر رخداد زلزله ۷/۳ ریشتری ۲۱ آبان ۱۳۹۶، زمین‌لغزش و ریزش کوه در جاده مورد نظر به وقوع پیوست و جاده مورد نظر را مسدود کرد. همین عامل، امدادسانی به مناطق شهری و روستایی را با مشکل مواجه کرد؛ در چنین مواقع، لزوم شناخت مناطق مستعد حرکات توده‌ای برای اجتناب از خطر و جلوگیری از بروز خسارات مالی، جانی، زیست‌محیطی و شروع اقدامات حفاظتی و پیشگیری امری بسیار ضروری به نظر می‌رسد. از این رو در پژوهش حاضر سعی بر این است که پهنه‌های مستعد و حساس به حرکات توده‌ای از جمله زمین‌لغزش و ریزش سنگ در محور مواصلاتی گردنه پاتاق (دامنه‌های مشرف بر گردنه پاتاق) مورد بررسی و نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش و سنگ‌ریزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) و تکنیک GIS تهیه شود؛ تهیه نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش و ریزش سنگ می‌تواند استراتژی‌های مناسب برای کاهش بلایای زمین‌لغزش و ریزش سنگ را توسعه دهد و نتایج این پژوهش به ساکنان/ جوامع محلی در معرض خطر، بر نامه‌ریزان شهری و مهندسان کمک می‌کند تا از طریق پیشگیری، کاهش و اجتناب، خسارات ناشی از زمین‌لغزش‌های موجود و آینده را کاهش دهند.

با استفاده از رویکرد دانش‌محور نشان می‌دهد. نقشه تولید شده با استفاده از AHP همراه با WOM دقت بالایی را نشان داد. (Shirzadi et al (2017) نقشه‌برداری حساسیت ریزش سنگ را با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره وزن شواهد (WoE)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نسبت فرکانس (FR) در طول ۱۱ کیلومتری جاده کوهستانی در زین صلوات آباد در جنوب غربی کردستان، مقایسه و ارزیابی کرده‌اند. (Psomiadis et al (2020) طی مقاله‌ای به نقشه‌برداری زمین‌لغزش و ارزیابی حساسیت با استفاده از تجزیه و تحلیل جغرافیایی و داده‌های مشاهده زمین پرداخته‌اند. در این پژوهش روش نیمه کمی از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ترکیب خطی وزنی (WLC) برای ارزیابی شاخص حساسیت زمین‌لغزش (LSI) هر دو برای استان Chania و بزرگراه ۹۰A در Chania استفاده کردند. اعتبار سنجی دو نقشه LSI نتایج دقیقی ارائه کرد و علاوه بر این، چندین نقطه مستعد با خطر زمین‌لغزش بالا در امتداد بزرگراه ۹۰A شناسایی شد. (Kouli et al (2014) در تحقیقی از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) و وزن شواهد (WofE) برای نقشه‌برداری و پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در استان Chania جزیره کرت، یونان استفاده کردند. (Baillifard et al (2003) خطر ریزش سنگ در امتداد جاده کوهستانی در سوئیس با استفاده از رویکرد رتبه‌بندی پارامتر مبتنی بر GIS را مورد بررسی قرار دادند.

در سطح ایران نیز مطالعاتی در زمینه زمین‌لغزش و ریزش سنگ انجام شده است. از جمله (Sharif et al (2010) با توجه پارامترهای سنگ‌شناسی و شیب منطقه، متوسط بارندگی سالیانه، فاصله از گسل‌های منطقه و شتاب زلزله در محیط GIS به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شمال تهران پرداختند. (Mousavi et al (2015) با استفاده از مدل‌های چندمعیاری WLC و AHP در محیط GIS به ارزیابی خطر زمین‌لرزه در حوزه‌ی شهری ایذه پرداختند. (Goorabi (2021) با استفاده از تکنیک رادار دیافراگم مصنوعی (InSAR) به پایش و شناسایی ویژگی‌های فضایی زمین‌لغزش همراه با وقوع زمین‌لرزه ۷/۳ از گله در استان کرمانشاه، پرداخته است. نتایج تحقیق حاکی از آن است که زمین‌لغزش مله کبود بزرگ‌ترین زمین‌لغزش چند سده گذشته ایران است. همچنین

۲. روش تحقیق

آن‌ها را با یکدیگر ادغام نمود (یکسان نمودن اثر پارامترهای مختلف در خروجی تحقیق) که به این عمل استانداردسازی گفته می‌شود. بدین منظور در این پژوهش از روابط زیر به منظور استانداردسازی لایه‌ها استفاده شده است.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij} - \min a_j}{\max a_j - \min a_j} \quad (1) \text{ شاخص مثبت}$$

$$n_{ij} = \frac{\max a_j - a_{ij}}{\max a_j - \min a_j} \quad (2) \text{ شاخص منفی}$$

A_{ij} = مقدار پیکسل A ام در لایه اطلاعاتی j ام

پس از استانداردسازی داده‌ها، به منظور تعیین میزان تأثیر و اهمیت هر یک از معیارهای مورد استفاده بر خروجی تحقیق، با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ماتریس مقایسه دوتایی (جدول ۱) به همراه نظرات اساتید مجرب دانشگاهی استفاده شده است. پس از آن، با استفاده از نرم‌افزار ExpertChoice 11 وزن نهایی هر یک از معیارها محاسبه شده است. در نهایت به منظور پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) استفاده شده است.

برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش و ریزش سنگ، باید عوامل مؤثر، معیارها و محدودیت‌ها به صورت لایه‌های نقشه تهیه و مورد پردازش قرار گیرند. در همین راستا در این پژوهش به منظور ارزیابی اثرات ریزش سنگ و زمین‌لغزش در منطقه گردنه پاتاق، از معیارهای شیب، جهت شیب، شاخص انحنا، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از گسل، کاربری اراضی و زمین‌شناسی استفاده شده است. لازم به ذکر است که در این مطالعه از مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۳۰ متری تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای Aster به منظور تهیه نقشه‌های شیب، جهت شیب، شاخص انحنا و ارتفاع استفاده شده است.

– استانداردسازی نقشه‌های معیار

همان‌طور که در بخش قبل اشاره گردید به منظور تحقق اهداف پژوهش حاصل، از ۸ معیار استفاده شده است؛ اما با توجه به اینکه تعدادی از پارامترهای مورد استفاده دارای رابطه مستقیم (شاخص مثبت) و تعداد دیگر دارای رابطه معکوس (شاخص منفی) با خروجی تحقیق (زمین‌لغزش و ریزش سنگ) می‌باشند؛ بنابراین باید با استفاده از قواعدی لایه‌ها را به مقیاسی تبدیل نمود که بتوان

جدول ۱. ماتریس مقایسه دوتایی

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

منبع: Eskandari et al, 2023

– مدل ترکیب خطی وزنی (WLC)

گزینه به دست می‌آید. پس از آنکه مقدار نهایی هر گزینه مشخص شد، مناسب‌ترین گزینه برای هدف مورد نظر گزینه‌ای خواهد بود که بیشترین وزن را داشته باشد (Shahabi et al., 2008: 44). روش ترکیب خطی وزنی مبتنی بر GIS شامل مراحل زیر است:

روش ترکیب خطی وزنی، رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چندمعیاری است که بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیل‌گر یا تصمیم‌گیرنده مستقیماً بر مبنای اهمیت نسبی هر معیار مورد بررسی، وزن‌هایی به معیار می‌دهد. سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار خصیصه، یک مقدار نهایی برای هر

که در آن X_{ij} معرف نمره گزینه‌ی i در ارتباط با صفت j و W_j مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است، به گونه‌ای که وزن $\sum W_j = 1$ اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارد. با تعیین حداکثر $A_j = \sum W_j X_{ij}$ اولویت‌دارترین گزینه انتخاب می‌گردد (Mousavi et al., 2012: 5). در این روش باید مجموعه وزن‌ها برابر یک باشد که در صورت نبود چنین شرایطی باید در مرحله آخر، A_i بر مجموع کل وزن‌ها تقسیم گردد. در این صورت خروجی A_i نیز عددی بین صفر و یک خواهد بود. البته از آنجا که بیشتر یا کمتر بودن مقدار خروجی می‌تواند دلیلی برای مناسب‌تر بودن یا نامناسب‌تر بودن یک گزینه باشد، می‌توان از نرمال کردن وزن‌ها صرف‌نظر کرد. در نهایت گزینه ایده‌آل، گزینه‌ای خواهد بود که دارای بیشترین A_i باشد (Rasouli et al., 2012:46).

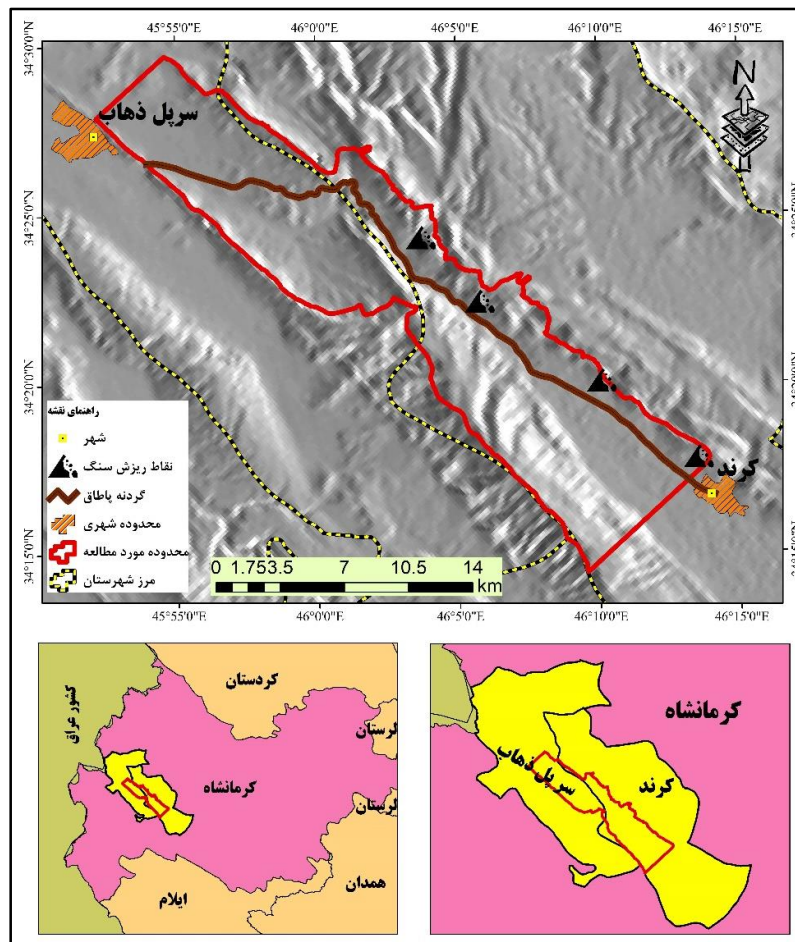
پایه‌ی این منطقه، به لحاظ وضعیت ارتفاعی، دارای حداکثر ارتفاع ۲۴۸۴ متر و حداقل ارتفاع ۵۵۸ متر است. از نزدیک‌ترین مناطق سکونتگاهی، می‌توان به شهرهای سرپل ذهاب و کرند غرب اشاره کرد.

۱- مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی (لایه‌های نقشه) و همچنین مجموعه‌ای از گزینه‌های ممکن را مشخص می‌نماییم. ۲- هر لایه نقشه‌ی معیار را به صورت استاندارد درمی‌آوریم. ۳- تعیین وزن معیارها. ۴- لایه‌های نقشه‌ی استاندارد شده وزنی را ایجاد می‌کنیم (با ضرب لایه‌های نقشه‌ی استاندارد شده در وزن متناظر بر آن‌ها) (Mousavi et al., 2015: 96). ۵- اعمال عملیات همپوشی جمعی بر روی لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی؛ نمره یا امتیاز کل را در رابطه با هر گزینه به دست می‌آوریم و گزینه‌ها را بر حسب امتیاز کارکردی کل، رتبه‌بندی می‌نماییم. گزینه‌ای که بالاترین امتیاز (رتبه) را داشته باشد به عنوان بهترین گزینه شناخته می‌شود. به طور رسمی در قاعده تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$AI = \sum W_j X_{ij} \quad \text{رابطه (۳)}$$

۱.۲. معرفی محدوده مورد مطالعه

گردنه پایه در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه، ۲۵ دقیقه و ۷۷ ثانیه شمالی و ۴۵ درجه، ۵۳ دقیقه و ۳۳ ثانیه شرقی تا ۳۴ درجه، ۱۶ دقیقه و ۵۷ ثانیه شمالی و ۴۶ درجه، ۱۴ دقیقه و ۵۰ ثانیه شرقی بین شهرستان‌های سرپل ذهاب و کرند غرب واقع شده است (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، دامنه‌های مشرف به گردنه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه، (Research findings (2024)

اختلال در حمل و نقل و امداد رسانی (شکل ۲ و ۳) پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش و ریزش سنگ در گردنه پاتاق استان کرمانشاه با استفاده از مدل ترکیب خطی وزنی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. جهت پهنه بندی و تهیه نقشه خطر وقوع پدیده زمین لغزش و ریزش سنگ، ۸ متغیر استفاده شده است.

– یافته های تحلیلی – استنباطی

متغیر اول به منظور پهنه بندی پتانسیل خطر زمین لغزش و ریزش سنگ، ارتفاع محدوده مورد بررسی است. این متغیر نشان می دهد که با افزایش ارتفاع و مناطق با ارتفاع بیشتر، احتمال وقوع زمین لغزش و ریزش سنگ بیشتر می شود. ارتفاع دامنه های نزدیک به جاده نقش مهمی در خطر ریزش سنگ و سرعت سقوط آنها دارد. هوازگی سنگ ها در ارتفاعات بالا بیشتر است و پدیده ذوب و انجماد غالب است. خرده ریزه

۳. یافته های پژوهش

– یافته های توصیفی

در اثر زمین لرزه ازگله ناپایداری های زمین شناختی- ژئوتکنیکی بسیاری مانند ریزش های سنگی متعدد، لغزش های خاکی و سنگی، جریان واریزه ای و گل روانه، فرونشست غارهای آهکی، روانگرایی و گسیختگی گسترشی در تاج تپه ها روی داده است. توزیع ناپایداری های زمین شناختی- ژئوتکنیکی در گستره وسیعی از منطقه رومرکزی در شمال غرب تا نزدیک به ایلام در جنوب شرق را در بر می گیرند که چنین پراکندگی وسیعی از این پدیده ها در مقایسه با زمین لرزه های با بزرگی مشابه دیگر کم نظیر است و جای بررسی و پژوهش دقیق تر دارد.

در این پژوهش با توجه به رخداد پدیده زمین لغزش و ریزش سنگ در محدوده بین کرند غرب تا سرپل ذهاب (گردنه پاتاق) در اثر زمین لرزه ازگله و مسدود شدن مسیر دسترسی و

زمین لغزش و ریزش سنگ، نیاز است که واحدهای سنگ شناسی نیز در نظر گرفته شوند (شکل ۵. ب).

نوع کاربری اراضی نیز می تواند تأثیر قابل توجهی در وقوع زمین لغزش و ریزش سنگ داشته باشد. برای مثال، اراضی با کاربری کشاورزی که برای کشت مزروعات و استفاده از آب و هوای منطقه به شدت به فعالیت های انسانی وابسته هستند، بیشترین خطر ریزش سنگ را دارند. همچنین، اراضی با کاربری عمرانی که به شدت به فعالیت های ساخت و ساز و تغییرات زمین شناسی وابسته هستند، بیشترین خطر زمین لغزش را دارند. در این نوع اراضی، فعالیت هایی مانند حفر تونل ها، ساخت ساختمان ها و جاده ها، تخریب تپه ها و همچنین استفاده از منابع آب می تواند باعث تغییرات زمین شناسی و وقوع زمین لغزش شود. به طور کلی، استفاده نامناسب از اراضی، تغییرات زمین شناسی و فعالیت های انسانی مانند ساخت و ساز و استفاده از منابع آب، می توانند عواملی باشند که باعث وقوع زمین لغزش و ریزش سنگ شوند؛ بنابراین، در برنامه ریزی و توسعه شهری و روستایی، نیاز است که به این نکات توجه شود و از راهکارهای مناسبی برای کاهش خطرات زمین لغزش و ریزش سنگ استفاده شود. با توجه به نتایج به دست آمده از متغیر کاربری اراضی، بیشترین رخداد پدیده زمین لغزش در محدوده مورد بررسی در اراضی کشاورزی و دیمی و اراضی مرتعی رخ می دهد. پدیده ریزش سنگ نیز در اراضی دیمی و اراضی جنگلی تنک قابل مشاهده است (شکل ۵. ج).

در رابطه با متغیر فاصله از جاده ها می توان بیان کرد که جاده ها وضعیت طبیعی دامنه را به هم می زنند و موجب به وجود آمدن بریدگی های عمودی در دامنه می شوند. این موضوع باعث افزایش فشار بر بخش پایین جاده شده و منجر به افزایش زمین لغزش در اطراف جاده ها می گردد. در شرایط بحرانی، لزوم توجه به خطر جاده اهمیت زیادی دارد. در جاهایی که دامنه به جاده نزدیک باشد، خطر برخورد مواد ریزشی با اتومبیل ها یا عابران بیشتر است (شکل ۵. د).

سنگ ها با شتاب بیشتری سقوط می کنند و برای جاده خطر بیشتری محسوب می شود (شکل ۴. الف).

جنبه دیگری از تأثیر پارامتر شیب در ایجاد ناپایداری های دامنه ای، جهت شیب دامنه است. در مناطق با تفاوت دمای دامنه های رو به آفتاب و پشت به آفتاب، توزیع فراوانی ناپایداری های دامنه ای و جهت شیب دامنه ارتباط معنی داری با یکدیگر دارند (شکل ۴. ب).

متغیر شیب یکی از مهم ترین عامل های مؤثر در وقوع زمین لغزش و ریزش سنگ است. مناطقی که از شیب زیاد برخوردار هستند، امکان وقوع حرکات توده ای از جمله زمین لغزش و ریزش سنگ افزایش می یابد (شکل ۴. ج).

در تحلیل شکل دامنه یا شاخص انحنا، شیب های مقعر عملی برای نگه داشتن آب و اشیاء کردن لایه های تحت الارضی برای حرکت توده ای خاک و سنگ می شوند. شیب های محدب عاملی برای افزایش انرژی جنبشی قطعات سنگی سقوط یافته و جهش بیشتر آن ها هستند (شکل ۴. د).

یکی از عوامل مهم و مؤثر در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه ها، عوامل ساختاری و گسل است. گسل از عوامل ایجاد ناهماهنگی و ناپیوستگی در توده های سنگی و خاکی است. هرچه مکان ریزشی به گسل نزدیک تر باشد، خطر ریزش سنگ نیز بیشتر است (شکل ۵. الف).

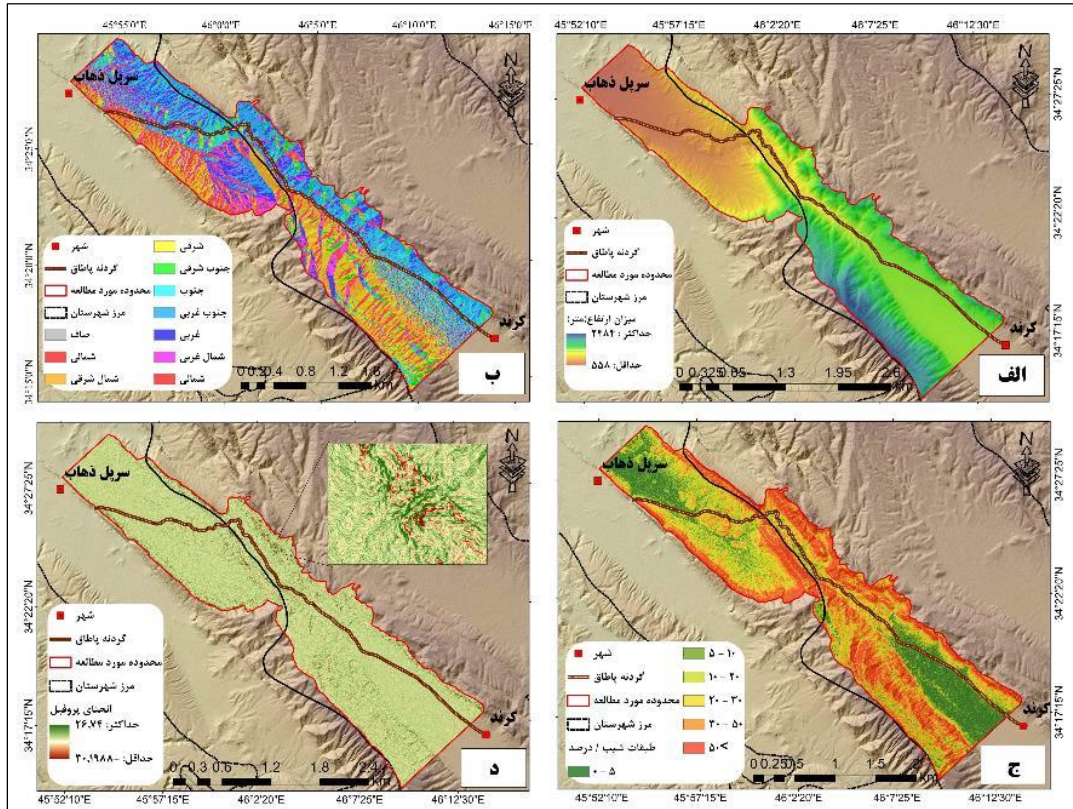
واحدهای سنگ شناسی می توانند تأثیر قابل توجهی در وقوع زمین لغزش و ریزش سنگ داشته باشند. به طور کلی، سنگ های نرم و غیر پایدار مانند سیلت و آهک بیشترین خطر ریزش را دارند. در مقابل، سنگ های سخت و پایدار مانند گرانیت و شیست کمترین خطر را دارند. علاوه بر این، ویژگی های خاص سنگ مانند جنس، سختی، پایداری و نفوذپذیری نیز می توانند تأثیر گذار باشند. سنگ های با پایداری کمتر و نفوذپذیری بیشتر، به خصوص در مناطق با بارندگی شدید، بیشترین خطر را دارند. همچنین، سختی سنگ نیز می تواند تأثیر گذار باشد؛ سنگ های سخت تر بیشترین خطر را در برابر ریزش سنگ دارند. با توجه به این نکات، در تحلیل و پیش بینی وقوع



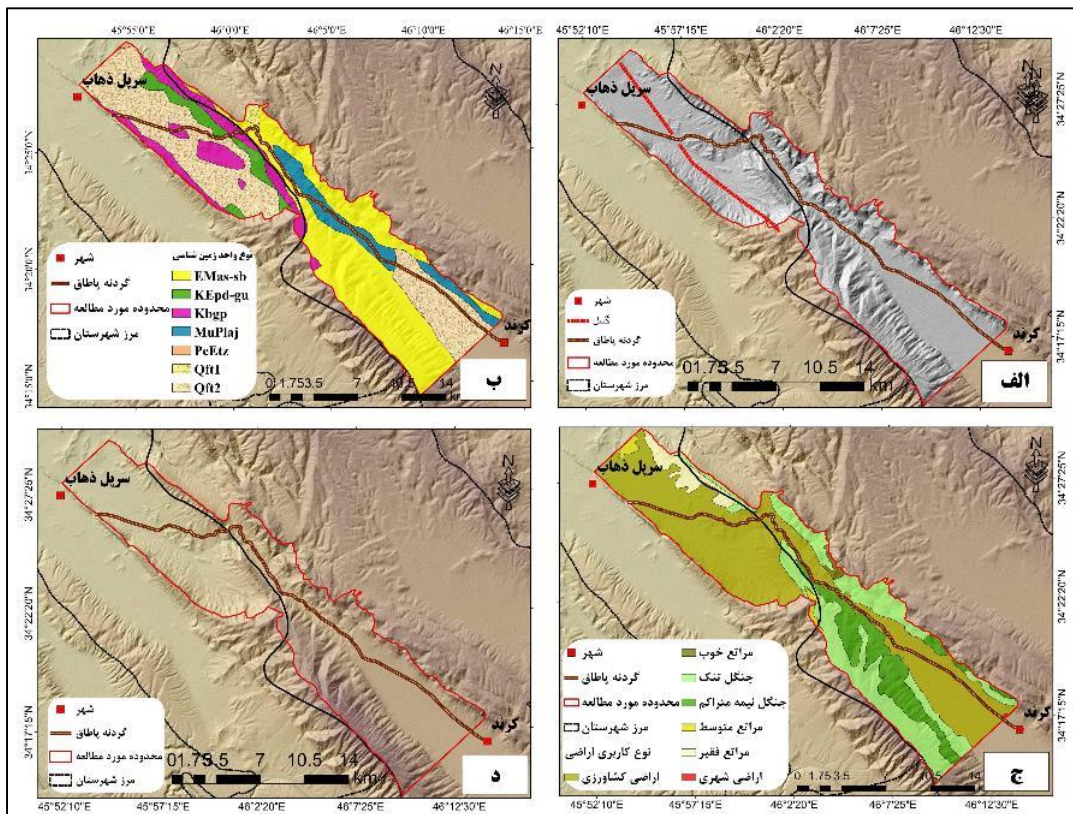
شکل ۲. ریزش سنگی روی داده در مسیر گردنه پاتاق که منجر به سقوط دکل برق فشارقوی و مسدود شدن جاده اصلی کرمانشاه - سرپل ذهاب گردید



شکل ۳. وقوع ریزش سنگ در گردنه پاتاق



شکل ۴. نقشه الف: طبقات ارتفاعی، ب: طبقات جهت شیب، ج: طبقات شیب، د: شاخص انحنای پروفیل، منبع: Research (2024) findings



شکل ۵. الف: گسل، ب: واحدهای زمین شناسی، ج: نوع کاربری اراضی، د: جاده ارتباطی، منبع: Research findings (2024)

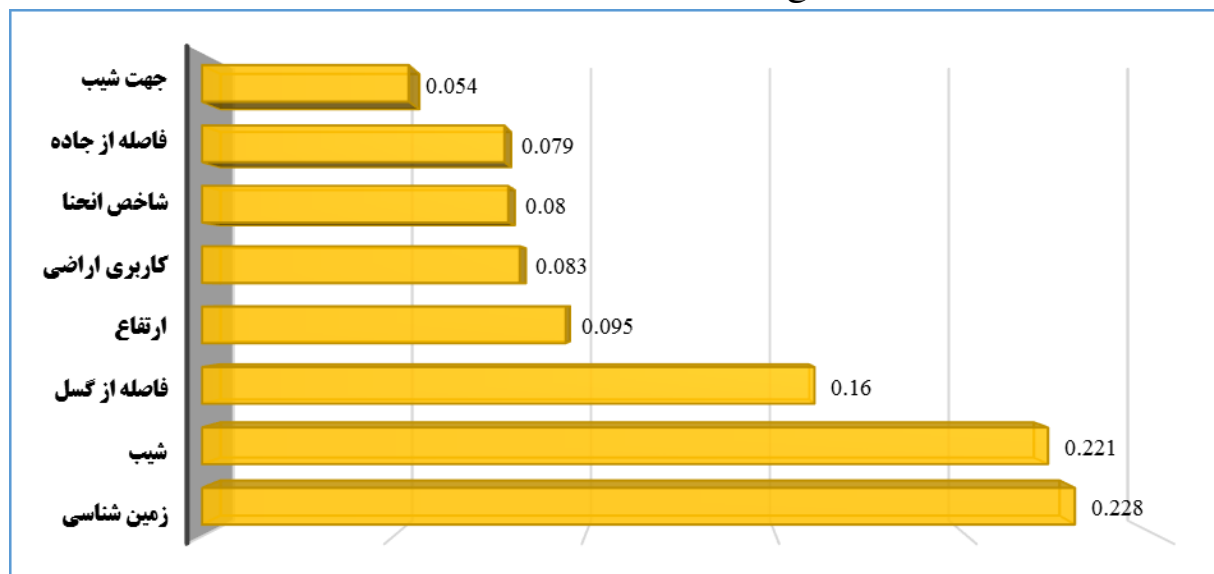
غالب جزء مناطق با خطر متوسط با مساحتی حدوداً ۱۰۲/۲۱ کیلومترمربع (۴۳/۶۳ درصد) است. مناطق با خطر بسیار زیاد مناطق مرکزی محدوده مورد مطالعه در امتداد گردنه پاتاق را در برمی گیرد.

علاوه بر این در مناطقی که بر روی واحدهای منفصل کواترنری واقع شده اند تخریب شدیدتری را نسبت به مناطقی که بر روی واحدهای سخت تر همچون واحدهای آهک آسماری واقع شده اند شاهد هستیم. همان طور که در اثر زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶ استان کرمانشاه، در مناطقی که دارای واحدهای منفصل دوره کواترنری بودند به دلیل مقاومت کمتر و شدت گستره موج ناشی از زمین لرزه، ریزش و زمین لغزش در منطقه به وقوع پیوست. عوارض ناشی از این زمین لرزه و تفاوت میزان مقاومت واحدهای زمین شناسی، شیب زیاد منطقه و کوهستانی بودن، پوشش گیاهی با تراکم کم و گسل های فعال ضرورت انجام مطالعات گسترده در زمینه حرکات توده ای را تأیید می کند.

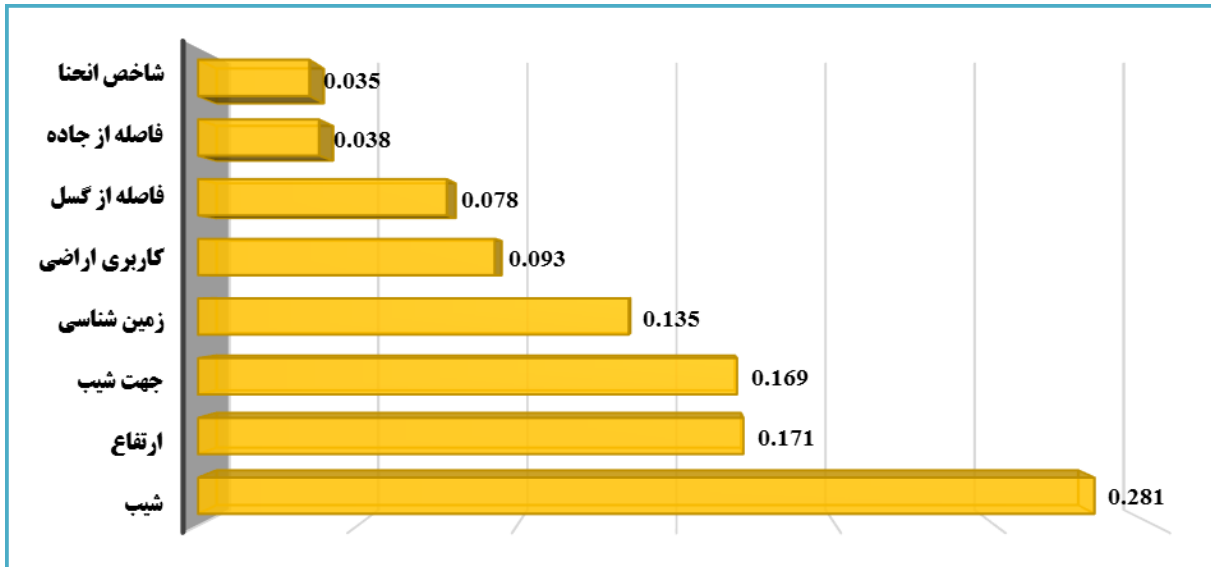
پس از بررسی پارامترهای مؤثر بر زمین لغزش، وزن دهی پارامترهای خطر زمین لغزش و ریزش سنگ تعیین شد (شکل ۶ و ۷).

در ادامه، در این پژوهش پس از تلفیق لایه های استاندارد شده، نقشه های نهایی زمین لغزش و ریزش سنگ تهیه و در پنج کلاس با خطر بسیار پایین تا بسیار زیاد طبقه بندی شده است (شکل ۸ و ۹).

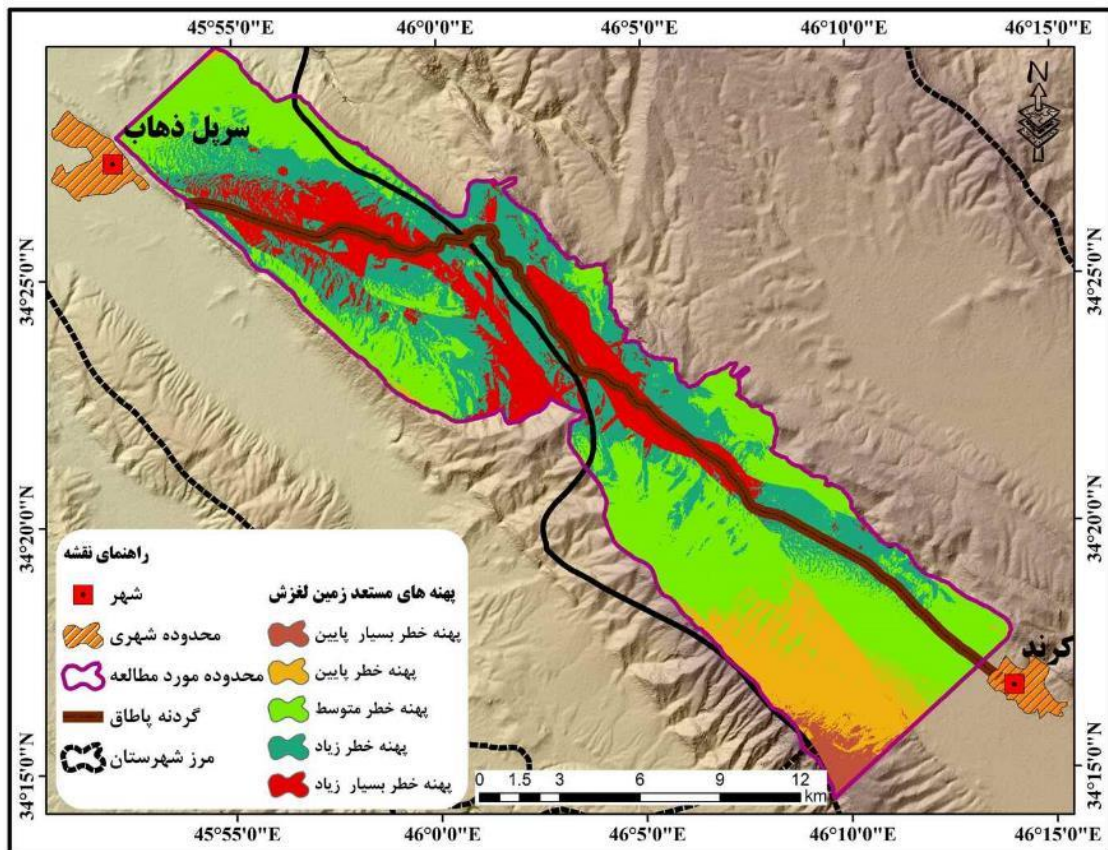
بر اساس نتایج حاصل از پهنه بندی خطر زمین لغزش در دامنه های مشرف بر گردنه پاتاق، مناطق مرکزی و شمال غربی محدوده مورد مطالعه، از خطر بسیار زیاد به لحاظ زمین لغزش برخوردار است. طبق جدول ۲، مناطق با خطر بسیار زیاد زمین لغزش به طور تقریبی ۴۲/۹۶ کیلومترمربع (۱۷/۸۹ درصد) از محدوده را پوشش داده است. بیشترین مساحت مربوط به طبقه خطر متوسط برابر با ۹۱/۴۳ کیلومترمربع (۳۸/۰۸ درصد) را به خود اختصاص داده است. از نظر وقوع ریزش سنگ درصد کمی از منطقه مورد مطالعه در حدود ۰/۰۱ کیلومترمربع (۰/۰۱ درصد) در مناطق با خطر بسیار پایین واقع است و درصد



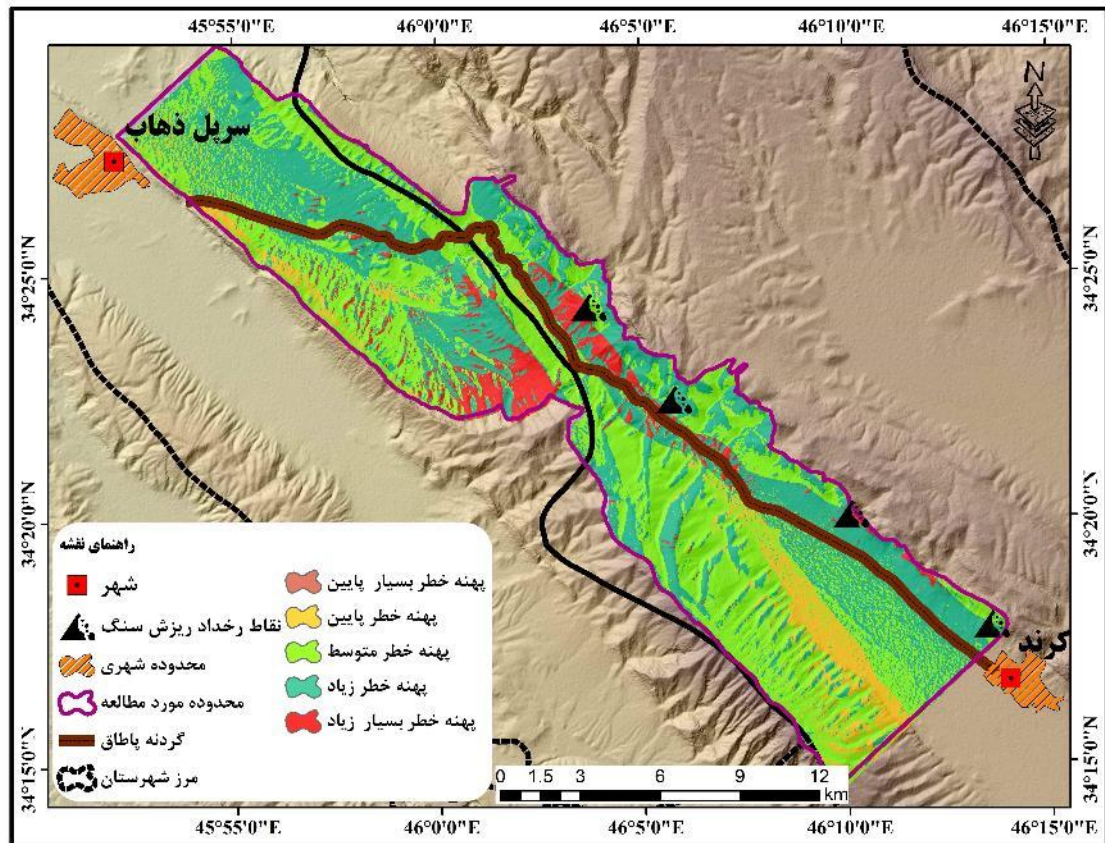
شکل ۶. وزن نهایی پارامترهای زمین لغزش، منبع: Research findings (2024)



شکل ۷. وزن نهایی پارامترهای ریزش سنگ، منبع: Research findings (2024)



شکل ۸. نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در گردنه پاتاق، منبع: Research findings (2024)



شکل ۹. نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ در گردنه پاتاق، منبع: Research findings (2024)

جدول ۲. مساحت و درصد مساحت طبقات خطر زمین لغزش و ریزش سنگ محدوده مورد مطالعه

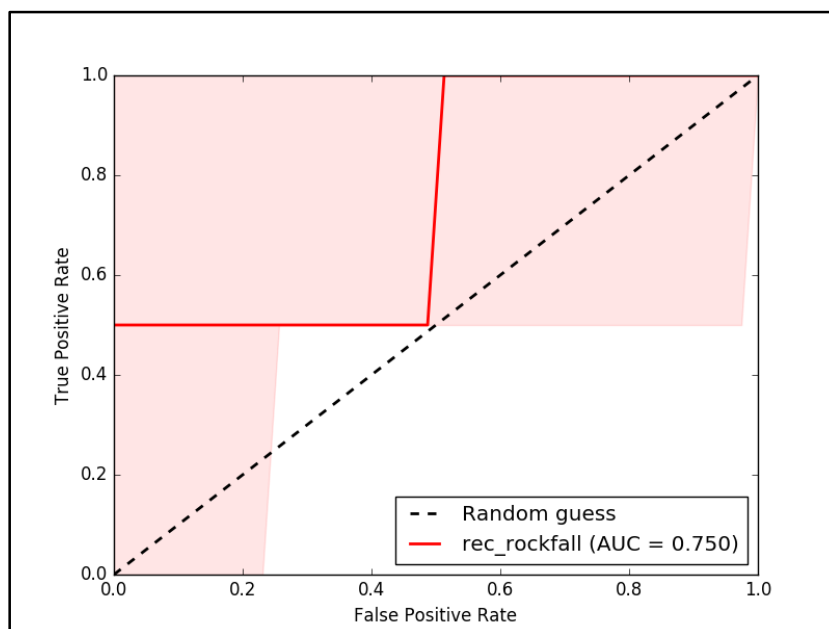
ریزش سنگ		زمین لغزش		طبقات
درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	
۰/۰۱	۰/۰۱	۲/۰۳	۴/۸۸	بسیار پایین
۸/۰۱	۱۸/۷۷	۱۰/۷۸	۲۵/۸۹	پایین
۴۳/۶۳	۱۰۲/۲۱	۳۸/۰۸	۹۱/۴۳	متوسط
۴۱/۷۲	۹۷/۷۳	۳۱/۲۱	۷۴/۹۵	زیاد
۶/۶۳	۱۵/۵۴	۱۷/۸۹	۴۲/۹۶	بسیار زیاد
۱۰۰	۲۴۰	۱۰۰	۲۴۰	جمع

منبع: Research findings (2024)

منحنی برابر با یک باشد. همبستگی کیفی - کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین بدین صورت است: (۰/۵ تا ۰/۶ ضعیف، ۰/۶ تا ۰/۷ خوب، ۰/۸ تا ۰/۹ متوسط و ۰/۹ تا ۱ عالی) (Darabi & Saffari, 2019). در این پژوهش، با توجه به رخداد ریزش سنگ در محور مواصلاتی گردنه پاتاق، صحت سنجی برای این پدیده انجام شده است. با توجه به نتایج منحنی ROC، ارزیابی صحت نتایج حاصل از مدل WLC برای

یکی از گام‌های اساسی در برآورد ریسک زمین لغزش و ریزش سنگ، سنجش اعتبار تخمین ریسک با استفاده از روش‌های مختلف است. سطح زیر منحنی (AUC) بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (وقوع زمین لغزش و ریزش سنگ) و عدم تخمین آن است. مقادیر AUC از ۰/۵ - ۱ است و ایده‌آل‌ترین نتیجه صحت‌سنجی زمانی است که سطح زیر

رخداد ریزش سنگ، نشان داده است که در نقشه پهنه‌بندی ریزش سنگ، سطح زیر منحنی ۰/۷۵، نتایج به‌خوبی رضایت‌بخش هستند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. منحنی ROC مدل WLC پهنه‌بندی ریزش سنگ، منبع: Research findings (2024)

۴. بحث و نتیجه‌گیری

زمین لغزش و ریزش سنگ از جمله حوادث طبیعی است که همه‌ساله موجب آسیب و زیان قابل توجهی به زندگی و آسیب رساندن به اموال و زیرساخت‌ها در سراسر جهان می‌شود؛ با توجه به گستردگی دامنه و خسارات قابل توجه، لزوم توجه به این امر بیش‌ازپیش احساس می‌شود. در همین راستا در این پژوهش به بررسی و پهنه‌بندی وقوع زمین لغزش و ریزش سنگ در دامنه‌های مشرف به گردنه پاتاق استان کرمانشاه پرداخته شده است. گردنه پاتاق محور مواصلاتی بین کرند غرب و سرپل ذهاب است؛ و از مناطق مستعد حرکات توده‌ای از جمله زمین لغزش و ریزش سنگ است؛ به طوری که در زمین لرزه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ این دو پدیده در این منطقه به وقوع پیوست و باعث مسدود شدن گردنه پاتاق شد و امدادسانی به مناطق شهری و روستایی را با مشکل مواجه نمود و لزوم توجه به این گردنه را بیش‌ازپیش روشن نمود. نتایج حاصل از

این پژوهش نشان می‌دهد که در دامنه‌های با ویژگی ارتفاع و توپوگرافی خشن، شیب زیاد، پوشش گیاهی تنک پتانسیل خطر زمین لغزش بیشتر است. در واحدهای سنگ‌شناسی آگاجاری، بخصوص در دامنه‌های رو به شمال یا دامنه‌های شمالی رخداد پدیده زمین لغزش افزایش می‌یابد. وجود مارن‌های ژپس دار این سازند را حساس به فرسایش کرده است. هم‌چنین در رسوبات دوره کواترنری که بخش‌هایی از مناطق شمال غربی در محدوده سرپل ذهاب را پوشش داده است، در مناطق با شیب زیاد و وجود ناهمواری، پتانسیل رخداد زمین لغزش افزایش می‌یابد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه، پدیده انجماد و انبساط سنگ‌ها و پدیده هوازدگی وجود دارد که این عوامل، شرایط را برای ایجاد درز و شکاف سنگ‌های دامنه را فراهم می‌کند. در صورت وقوع تکان ناشی از زمین لرزه احتمال رخداد ریزش سنگ در این مناطق افزایش می‌یابد.

بنابراین، بر اساس نتایج پهنه‌بندی مدل ترکیب خطی وزنی (WLC) منطقه مورد مطالعه و گزارش‌های زمین‌لرزه ۲۱ آبان ۱۳۹۶، گردنه پاتاق مستعد وقوع زمین‌لغزش و ریزش سنگ است و رخداد این مخاطره، خسارت و صدمات را برای منطقه به همراه داشته است؛ لذا نیازمند توجه جدی و بیش‌ازپیش مسئولین امر و انجام اقدامات اساسی و کنترلی به‌منظور کاهش وقوع و خسارات ناشی از آن است. ازجمله این اقدامات می‌توان به شناسایی و پهنه‌بندی مناطق خطر رخداد حرکات دامنه‌ای با روش‌های نوین به همراه به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور، اجرای اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی در مناطق با خطر زیاد اشاره کرد.

فهرست منابع

- Ahmed, Bayes. 2015. Landslide susceptibility mapping using multi-criteria evaluation techniques in Chittagong Metropolitan Area, Bangladesh. In *Landslides*, Vol. 12, No. 6, Pp: 1077–1095. DOI: 10.1007/s10346-014-0521-x.
- Baillifard, F., Jaboyedoff, M., Sartori, M. 2003. Rockfall hazard mapping along a mountainous road in Switzerland using a GIS-based parameter rating approach. In *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, Vol. 3, No. 5, Pp. 435–442. DOI: 10.5194/nhess-3-435-2003.
- Cook, R, U., Doornkamp J, C. 1998. *Geomorphology in Environmental Management*, Vol. 1, SAMT Pub. (In Persian).
- Corenblit, D., Baas, A.C., Bornette, G., Darrozes, J., Delmotte, S., Francis, R.A., Gurnell, A.M., Julien, F., Naiman, R.J. and Steiger, J. 2011. Feedbacks between geomorphology and biota controlling Earth surface processes and landforms: a review of foundation concepts and current understandings. *Earth-Science Reviews*, Vol.106, No, 3-4, Pp: 307-331. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.03.002>.
- Dai, F. C., Lee, C. F., & Ngai, Y. Y. 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering geology*, Vol.64, No, 1, Pp: 65-87. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00093-X).
- Darabi shahmari, S., saffari A. 2019. Landslide susceptibility mapping of Dalahoo Mountains using index of Entropy and Logistic Regression model. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 6 (2):165-180. URL: <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2401-fa.html>. (In Persian)
- Emami, S, N., Yousefi, S., Pourghasemi, H, R., Tavangar, S., Santosh, M. 2020. A comparative study on machine learning modeling for mass movement susceptibility mapping (a case study of Iran). In *Bull Eng Geol Environ*, Vol. 79, No.10, and Pp: 5291–5308. DOI: 10.1007/s10064-020-01915-7.
- Entezari, M., Pourkhosravani, M. 2020. Hillside hazards with emphasis on Landslide, university of Esfahan pub. (In Persian).
- Eskandari, M, R., Nazarpour, A., Khayat, N. 2023. Rockfall risk Mapping Using Multiple Criteria Decision Making (MCDM) AHP, and Fuzzy-Gamma methods in KhorramabadPol-e Zal Freeway, *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12 (35): 139-156. (In Persian).
- Feizizadeh, B., Blaschke, T. 2013. GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping. Comparing three methods for the Urmia lake basin. Iran. In *Nat Hazards*, Vol. 65, No. 3, Pp: 2105–2128. DOI: 10.1007/s11069-012-0463-3.
- Goorabi, A. 2021. Quantification of mass wasting volume associated with the giant landslide Maleh Kabood induced by the 2017 Kermanshah earthquake from InSAR. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Vol. 21. No. 60, Pp: 47-63. <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.60.47>. (In Persian).
- Hantz, D., Vengeon, J. M., & Dussauge-Peisser, C. 2003. An historical, geomechanical and probabilistic approach to rock-fall hazard assessment. *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol.3, No, 6, Pp: 693-701. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-693-2003>.
- Intarawichian, N., Dasananda, S. 2010. Analytical Hierarchy Process for Landslide Susceptibility Mapping in Lower Mae Chaem Watershed, Northern Thailand. *Suranaree J. Sci. Technol.* Vol. 17, No. 3, Pp: 277-292.
- Kouli, M., Loupasakis, C., Soupios, P., Rozos, D., Vallianatos, F. 2014. Landslide susceptibility mapping by comparing the WLC and WofE multi-criteria methods in the West Crete Island, Greece. In *Environ Earth Sci*, Vol.72, No. 12, Pp: 5197–5219. DOI: 10.1007/s12665-014-3389-0.

- Modalel Dost, Sara. 2008. The use of GIS in determining how factors affect landslides (case study: Nekarood watershed). The first national conference on new technologies in agriculture and natural resources. (In Persian).
- Moragues, S., Lenzano, M. G., Lanfri, M., Moreiras, S., Lannutti, E., Lenzano, L. 2021. Analytic hierarchy process applied to landslide susceptibility mapping of the North Branch of Argentino Lake, Argentina. In *Nat Hazards*, Vol. 105, No. 1, Pp: 915–941. DOI: 10.1007/s11069-020-04343-8.
- Mousavi, M., Abedini, M. 2012. Landslide risk zoning in urban watersheds using the WLC model (Case study: Izeh-Khuzestan city watershed). Second International Conference on Environmental Hazards, Kharazmi University, Tehran, November 2012. (In Persian).
- Mousavi, S, M., Abedini, M., Esmeali Ouri, A. 2015. Evaluation Seismic hazard in Izeh urban catchment with using models, Multi-criteria: WLC and AHP in GIS. *Journal of Emergency Management*, Vol. 4, No. 1, Pp: 93-101. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23453915.1394.4.1.7.5>. (In Persian) .
- Naderi, F., Fotouhi, S., Negarash, H., Khalili, M. 2019. Analysis and zoning of geomorphological instabilities caused by the Ozgole earthquake (November 21, 2017 Mw=7.3) in Ilam and Kermanshah provinces, *Journal of Environmental Geology*, Vol.14, No. 52, Pp: 41-57. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23221682.1400.10.2.2.9>. (In Persian).
- Park, S., Choi, C., Kim, B., Kim, J. 2013. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea. In *Environ Earth Sci*, Vol. 68, No. 5, Pp. 1443–1464. DOI: 10.1007/s12665-012-1842-5.
- Psomiadis, E., Papazachariou, A., Soulis, K., Alexiou, D. S., Charalampopoulos, I. 2020. Landslide Mapping and Susceptibility Assessment Using Geospatial Analysis and Earth Observation Data. In *Land*, Vol. 9, No. 5, Pp: 133. DOI: 10.3390/land9050133.
- Rasouli, A, A., Mahmoudzadeh, H., Zarinbal, M. 2012. The Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) and Weighted Linear Combination (WLC) methods for landfill of Urban Solid Waste materials Case Study: Marand County. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, Vol. 2, No. 4, Pp. 41-52. <https://doi.org/10.22111/gaij.2012.875>. (In Persian).
- Senouci, R., Taibi, N, E., Teodoro, A, C., Duarte, L., Mansour, H., Yahia Meddah, R. 2021. GIS-Based Expert Knowledge for Landslide Susceptibility Mapping (LSM). Case of Mostaganem Coast District, West of Algeria. In *Sustainability*, Vol. 13, No. 2, P: 630. DOI: 10.3390/su13020630.
- Shahabi, H., Khezri, S., Neiri, H. 2008. Investigation of Effective Factors in the Location of Rescue Stations on the Saghez-Sanandaj Road Using the Weighted Linear Combination Model, 4th International Conference on Comprehensive Crisis Management and Non-Military Defense in National Sustainability, Tehran. (In Persian) .
- Sharif, Mahsa. Ouromeihy, A., Zare, M. 2010. Land slide hazard zonation in the north of Tehran by use of geographic information system (GIS), *Earth Journal (Islamic Azad University, North Tehran)*, 6 (21): 75-87. (In Persian).
- Shirzadi, A., Chapi, K., Shahabi, H., Solaimani, K., Kavian, A., Ahmad, B, B. 2017. Rock fall susceptibility assessment along a mountainous road. An evaluation of bivariate statistic, analytical hierarchy process and frequency ratio. In *Environ Earth Sci*, Vol. 76, No. 4, Pp: 39. DOI: 10.1007/s12665-017-6471-6.
- Shirzadi, A., Mousavi, S, Z., Kavian, A. 2018. Generating regional rockfall hazard model at along mountainous roads by using of overlay index and GIS (Case study: Kurdistan, Salvatabad saddle). *Watershed Management Research Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, No. 89, Pp: 82-91. (In Persian).
- Swanson, F. J., & Dyrness, C. T. 1975. Impact of clear-cutting and road construction on soil erosion by landslides in the western Cascade Range, Oregon. *Geology*, Vol. 3, No.7, Pp: 393-396. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1975\)3%3C393:IOCARC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1975)3%3C393:IOCARC%3E2.0.CO;2)
- Tablebi, A., Nafarzadegan, A, R., Malekinezhad, H. 2010. A Review on Empirical and Physically Based Modelling of Rainfall

Triggered Landslides. Physical Geography Research, Vol. 41, No. 70. (In Persian).
Tong, B., Fang, H., Li, Y., Yang, X., Yin, C., Qu, X., Zhang, Y., Yang, Q. and Chen, X. 2021. Application of Machine Learning Algorithm

in China National Geohazard Susceptibility Assessment. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 861, No. 6, p. 062041. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/861/6/06204.