

Research Article**Landslide microzonation using fuzzy grey correlation analysis (case study: Mollaghafar drainage basin, northeast of Khuzestan Province)**Sohrab Ghaedi¹, Sara Amoozgar¹, Ali Shojaian^{1*}

1- Department of Geography and Urban Planning, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Keywords: Landslide, Fuzzy gray relationship analysis, GIS, Mollaghafar drainage basin, Modeling**1- Introduction**

Zoning slip is one of these methods that can help identify critical areas of zoning maps obtained and used in planning (Azimpour, 2009). Landslides in different areas of the Zagros, including the study area, due to the geological location and morphology, cause much damage annually. Given the importance and role of this phenomenon in the sustainability of slopes, agricultural lands and development of urban and rural areas, etc., the factors affecting landslides and the evidence in the study area have been investigated. The model used in this research is fuzzy grey analysis. One of the advantages of grey relational analysis compared to other multi-criteria decision-making methods is that there is no limit on the sample size and normality of data distribution, and in addition, its computational method is easy. Applying fuzzy theory requires identifying the relevant membership function based on the experience of experts. However, the grey theory also works well without considering the membership function and the range of available information. Implementing this technique in a fuzzy environment will improve the results and eliminate the uncertainties of the decision problem (Wang et al., 2018).

Therefore, due to the grey analysis capabilities, the ultimate goal of this study is a landslide micro zonation using the available indicators and data and the application of this model.

2- Materials and Methods

This research is descriptive-analytical in terms of type and applied-practical in terms of purpose. In this research, the data collection tool is a survey and a library whose information and data have been collected by collecting the opinions of experts and statistical sources of the province. The collected research variables are data and maps of slope, direction, hydrology, lithology, land use, topography, precipitation and vegetation. The mentioned materials have been prepared from various statistical sources such as the digital model of surveying organization, vegetation map resulting from Landsat satellite images and geological data. Finally, this information and data have been analyzed with a fuzzy grey correlation model. The specialized application software used in this study were ARCGIS, GS module and its specialized tools.

3- Results and discussion

In order to apply the model used, a map of research indicators in the ArcGIS environment was prepared. The maps prepared from the research indicators include 1: waterways, 2: slope direction, 3: slope, 4: altitude, 5: lithology, 6: land use, 7: vegetation, and 8: rainfall. After implementing the fuzzy grey relation, each indicator's relation coefficient, grey relational rank and membership values were determined and applied to the relevant maps and layers, respectively. After preparing every map using the weights of grey relational analysis, a fuzzy

* Corresponding author: shojaian@scu.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2021.36387.2195

Received 2021-01-14

Accepted 2021-05-24

membership function was applied to them, and the relevant maps were generated. In the next step, using overlapping layers with fuzzy membership degrees, in the ArcGIS environment, the landslide risk zoning map of the Mollaghafar drainage basin in 5 floors with the probability of very low occurrence is very low, low, medium, high and very high was extracted. With the studies performed and using the results obtained in the study area's fuzzy grey relational analysis model, there are no signs of destruction due to natural factors on a large scale. However, destruction due to complete cutting, road construction, severe grazing, soil compaction, surface and furrow erosion, and conversion of forests to pasture and agriculture are observed in all areas with a slope of less than 60%. Among the studied factors, slope with values of 0.7142 and lithology with 0.6802 had the highest and lowest rank in landslide zoning of the studied area. According to the zoning map (Figure 5), and based on eight factors affecting landslides in the form of different layers of information, levels with very high to very low risk were identified in the form of 5 floors. From the whole area that is 1908491 square meters, areas with very low landslide risk with an area of 430,568 square meters (including 22.5% of the total area of the basin), areas with low landslide risk with an area of 295033 square meters (including 15.4% of the total area of the basin), areas with medium landslide risk with an area about 423746 square meters (including 22% of the total area of the basin), an area of 465431 square meters (including 24% of the total area of the basin) has a high risk of landslides. Finally, 15% of the total area of 294703 square meters is very high risk

4- Conclusion

Since the landslide kills and injures many people in many parts of the world, this necessitates paying attention to this dangerous phenomenon. Considering the importance and role of this phenomenon in the sustainability, agricultural land and the development of urban and rural areas, etc. In this research, the factors affecting the creation of landslides and evidence in the study area have been addressed. Factors such as susceptibility to variable conditions, unregulated exploitation of forests, non-compliance with technical principles of road construction and maintenance (forest and rural), lack of proper management, and improper use of available resources have exacerbated this phenomenon. Landslides kill and injure many people every year in many parts of the world, highlighting the need to pay attention to this dangerous phenomenon. Given the importance and role of this phenomenon in the sustainability of slopes, agricultural lands and the development of urban and rural areas, etc., in the present study, the factors affecting landslides and the existing evidence in the study area have been investigated. The model used in this research is fuzzy grey analysis. Data were collected, and a map related to each research variable, including slope, direction, hydrology, lithology, land use, topography, precipitation, and vegetation, to achieve this study's goal. After standardizing the data, applying the fuzzy grey analysis model, and preparing the research outputs, examining the area and the final output map shows that in the southeastern part of the basin, despite the river, the risk of landslides is low due to low slope. It is east, center and northeast of the basin. Areas with steeper slopes and denser waterways have high vulnerability. Therefore, if measures are not taken to control surface waterways in the basin, these areas will probably gradually become high-risk areas. The model was applied to the areas with diverse factors affecting the slip phenomenon to generalize and expand the research results. This research considers each parameter at a level and for the general indicator. It is suggested that the relevant specialists determine the excellent indicator of each factor with Delphi methods, and the results are compared.

References

- Azimpour, A., Sadoogh, H., Dalal Oghli, A., Servati, M., 2009. Evaluating the results of AHP model in landslide risk zoning (Ahar Chai Catchment). *Geographical Space Quarterly* 9(26), 83-71.
- Wang, H.C., Duanmu, L., Lahdema, R., Li, X., 2018. Afuzzy-grey multicriteria decision making model for district heating system. *Applied Thermal Engineering* 128, 1051-1061.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Ghaedi, S., Amoozgar, S., Shojaian, A., 2022. Landslide microzonation using fuzzy grey correlation analysis (case study: Mollaghafar drainage basin, northeast of Khuzestan Province). *Adv. Appl. Geol.* 12(2), 337-350.

DOI: 10.22055/AAG.2021.36387.2195

url: https://aag.scu.ac.ir/article_16821.html?lang=en



ریزپهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از تحلیل رابطه‌ای خاکستری فازی (مطالعه موردی: حوضه آبریز ملاغفار، شمال شرق خوزستان)

سهراب قاندي

عضو هیات علمی گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

سارا آموزگار

دانش آموخته‌ی جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

علی شجاعیان*

عضو هیات علمی گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

*shojaian@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۵

چکیده

زمین لغزش از پدیده‌های طبیعی است که در تحول و فرسایش اشکال زمین اثری تعیین کننده دارد. اهمیت این پدیده بویژه زمانی بیشتر می‌شود که در محدوده‌های سکونتگاهی انسان و یا نزدیک به آن، اتفاق بیفتد. در این پژوهش به مدل‌سازی شدت خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز ملاغفار با استفاده از مدل خاکستری فازی پرداخته شده است. مهمترین عوامل در تحلیل و بررسی زمین لغزش شیب، ارتفاع، کاربری زمین، فاصله از شبکه آبراهه‌ها، سنگ‌شناسی، میزان بارش و پوشش گیاهی می‌باشند که به عنوان پارامترهای اصلی و موثر در پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه قلمرو پژوهش، مورد واکاوی قرار گرفته‌اند. پس از تهیه لایه داده‌های متناسب با این عوامل و استانداردسازی آنها، از مدل وزن دهی و تحلیل رابطه‌ی خاکستری از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد و در نهایت با بکارگیری قواعد زمین آماری، به اعمال وزن‌های خروجی برای هر لایه اقدام و نقشه‌های مربوطه استخراج گردید. همچنین پس از هم پوشانی لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ۵ طبقه: بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تهیه گردید. نتایج بدست آمده از مدل وزن‌دهی و تحلیل رابطه‌ی خاکستری فازی در منطقه مورد مطالعه بیانگر آن است که پارامتر کاربری اراضی بیشترین (۰/۷۰۲۸) و شبکه آبراهه‌ها با (۰/۶۸۹۲) کم ترین وزن را در مدل‌سازی زمین لغزش حوضه ملاغفار بدست آوردند. همچنین پهنه با خطر زمین لغزش بسیار زیاد، مساحتی نزدیک به ۲۹۴۷۰۳ متر مربع از کل حوضه را در بر می‌گیرد.

کلمات کلیدی: زمین لغزش، تحلیل رابطه‌ای خاکستری فازی، GIS، حوضه آبریز ملاغفار، مدل سازی

مقدمه

حرکات توده‌ای و به ویژه زمین لغزش یکی از انواع بلایای طبیعی و نیز یکی از مهمترین پدیده‌های مخرب طبیعی هستند که در مناطق کوهستانی مشکلات جدی بوجود می‌آورند (Intarawichian and Dasananda, 2010). وجود عواملی همچون مستعد بودن، شرایط ناهمواری، بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل، عدم رعایت اصول فنی احداث و نگهداری جاده‌های جنگلی و روستایی، عدم اعمال مدیریت صحیح و بهره‌برداری غیر اصولی از منابع موجود، باعث تشدید زمین لغزش شده است (Pour Ghasemi et al., 2012; Shamsipour, 2010). زمین‌لغزش می‌تواند باعث تخریب جنگل‌ها، مراتع، اراضی زراعی، مسدود نمودن رودخانه‌ها و تشکیل سدهای طبیعی یا تغییر مسیر آنها (که با خطر شکسته شدن بعدی و با ایجاد فرسایش کناری در سوی دیگر رودخانه)، تشدید اثر عوامل فرساینده در اثر بهم زدن استحکام طبیعی زمین و افزایش میزان رسوب در پشت سدها و دریاچه‌های طبیعی،

سرریز آب در دامنه‌های ساحلی دریاچه‌های طبیعی و دریاچه‌های پشت سدها و در نهایت باعث آسیب رساندن به سازه‌های اجرا به منظور طرح‌های حفاظت خاک و آبخیزداری در محل‌های وقوع زمین لغزه گردد. همچنین در پروژه‌های عمرانی، همچون انتخاب مسیر احداث بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی کوهستانی، انتخاب محل احداث سدهای خاکی، بتنی و آب بندها و کانال‌های انتقال آب، احداث تونل‌های عبور و مرور و طرح‌هایی همچون توسعه جنگل‌ها و منابع طبیعی درگرو مطالعه پایداری شیب‌های طبیعی منطقه است، که می‌توانند متأثر از لغزش‌ها باشند (Azimpour, 2009).

هرساله هزاران هکتار از خاک‌های کشاورزی و مرتعی مرغوب بر اثر رویداد پدیده زمین لغزش در آنها، از قدرت باروری خارج می‌گردند و واریزه‌های بسیاری به درون آبراهه‌ها حمل می‌شوند. در اثر عملکرد فرسایش آبی بر روی توده‌های لغزشی که با بهم ریختن مواد تشکیل دهنده دامنه‌ها و سبب تبدیل آنها از مصالح توده‌ای به مصالح منفصل و

مدل قابل اعتماد برای منطقه‌بندی خطر لغزش است. شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی از عوامل موثر در رانش زمین هستند.

حوضه آبریز ملاغفار از جمله مناطقی که به دلیل بارندگی نسبتاً فراوان و به دلیل کوهستانی بودن منطقه و تغییر کاربری به شدت مستعد زمین لغزش می‌باشد. و در برخی مناطق این منطقه شواهدی از وقوع زمین‌لغزش مشاهده شده است. استفاده از مشاهدات زمینی از طریق نقشه‌برداری زمینی یکی از روش‌های تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری است که مشکلات متعددی به همراه دارد. سرعت کم جمع‌آوری اطلاعات بدلیل دشوار بودن و یا عدم امکان دسترسی به تمامی مناطق آسیب دیده از مهمترین مشکلات مطرح در این زمینه هستند. تصاویر هوایی و ماهواره‌ای یکی دیگر از راه‌های تهیه این نقشه هاست. نتایج تحقیقات و مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که رویکرد به فناوری‌های نوین می‌تواند برای شناسایی مناطق خطرپذیر، مناسب باشند (Shojaeian et al., 2016). در حال حاضر می‌توان از روش‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS به صورت تلفیقی در امر تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش و آگاهی از مناطق پرخطر موجود استفاده نمود که از جمله نیازهای اساسی در امر مدیریت بحران است که مدیران بر اساس آن اقدام به تصمیم‌گیری می‌کنند. در جهت رسیدن به مدیریت کارا و مناسب در هنگام وقوع بحران زمین لغزش، نیاز است که قبل از وقوع، به شناسایی و برنامه‌ریزی آن پرداخته شود تا تمام جوانب بحران سنجیده شود و راهکارها و نقشه‌های مقابله با آن در اختیار مدیران قرار گیرد. به همین دلیل تحقیق و پژوهش در این زمینه قبل از وقوع بحران ضرورت انکار ناپذیری دارد.

زمین لغزش هر ساله در بسیاری از مناطق دنیا باعث کشته و مجروح شدن افراد زیادی می‌شود که این امر ضرورت توجه به این پدیده خطرناک را نمایان می‌سازد. در مورد خسارات ناشی از حرکات توده‌ای در ایران نیز مطالعاتی صورت گرفته که طبق گزارش، خسارات مربوط به ۴۹۰۰ زمین لغزش تا پایان شهریورماه ۱۳۸۶، ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال برآورد گردیده است (Pour Ghasemi et al., 2012). پهنه‌بندی لغزش یکی از روش‌هایی است که می‌توان به کمک آن مناطق بحرانی را تعیین نموده و از نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده در برنامه‌ریزی‌ها استفاده نمود (Azimpour, 2009). زمین لغزش در پهنه‌های مختلف زاگرس و از جمله منطقه مورد مطالعه، با توجه به موقعیت زمین‌شناسی و مورفولوژی، سالیانه خسارات زیادی را به بار می‌آورد. با توجه به اهمیت و نقش این پدیده در پایداری دامنه‌ها، اراضی کشاورزی و توسعه نواحی شهری و روستایی و غیره؛ در پژوهش حاضر به بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد زمین لغزش و شواهد موجود در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. مدل بکار رفته در این تحقیق تحلیل خاکستری فازی است. از مزایای تحلیل رابطه‌ای خاکستری در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه این است که محدودیتی در مورد حجم نمونه و نرمال بودن توزیع داده‌ها وجود ندارد و علاوه بر آن شیوه محاسباتی آن نیز آسان است. بکارگیری تئوری فازی مستلزم تشخیص تابع عضویت مربوطه بر اساس تجربه خبرگان است. اما تئوری خاکستری بدون در

سست می‌شود و در نتیجه عملکرد عوامل فرساینده و افزایش رسوب زایی تسهیل می‌شود. نوع زمین لغزه‌ها می‌تواند از نظر میزان جابجایی مواد و میزان بهم ریختگی مواد نوع نهشته‌های درگیر شده، میزان تفاوت درجه‌بندی حساسیت سنگ‌ها و موقعیت زمین لغزه‌ها نسبت به شبکه‌های آبراهه‌ای منطقه و فاصله زمین لغزه‌ای رخ داده با آبراهه‌ها و رتبه‌بندی آبراهه‌ها در شدت فرسایش بر روی زمین‌های لغزیده شده متفاوت باشند (Khatibi, 2008).

در مورد موضوع مورد تحقیق مطالعات چندی صورت گرفته است که به اختصار ذکر می‌گردد:

Urmia و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی با عنوان منطقه‌بندی حوضه آبشار جنگل سیاه بالا، ضمن بررسی مواد سنگ‌ها و خاکها، فاصله از گسل، شیب، فاصله از محور جاده و توزیع آبراهه‌ها به این نتیجه رسیدند که مناطق مستعد لغزش در پنج دسته تقسیم می‌شوند.

Amir Ahmadi (۲۰۱۰) در تحقیقی با عنوان منطقه‌بندی خطر لغزش با استفاده از روش‌های AHP و GIS ضمن بررسی زمین شناسی، خاک‌شناسی، عناصر خطی، شیب، بارش، کاربری و ارتفاع زمین در منطقه‌ی چلاو آمل وزن و اولویت هر یک از عوامل موثر را تعیین نمود.

Fradad و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی با عنوان منطقه‌بندی حساسیت به خطر لغزش با استفاده از منطق فازی و روش شبکه عصبی ضمن بررسی ارتفاع و توپوگرافی، کاربری زمین، بارش، زمین‌شناسی و فاصله از گسل به این نتیجه رسیدند که در روش فازی، با مداخله‌ی یک متخصص خبره و انتخاب بهینه‌ی اپراتور فازی، پاسخی متناسب با محیط طبیعی بدست می‌آید.

Cyrus Shirani (۲۰۱۶) در تحقیقی با عنوان منطقه بندی بالقوه خطر لغزش، با تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی و رگرسیون چند متغیره ضمن بررسی ۵۴ متغیر در سراب حوضه‌ی کارون شمالی به این نتیجه رسید که هر دو روش در جدا سازی مناطق خطر با یک شاخص لغزش خاص، دقت یکسانی دارند.

Malekian و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی با عنوان کاربرد و مقایسه مدل‌های تجزیه خوشه‌ای خاکستری و تحلیل سلسله مراتبی ضمن بررسی موارد زمین شناسی، پوشش گیاهی، ویژگی‌های خطی، شیب، بارش، کاربری و ارتفاع زمین در حوضه آبخیز گوریایگان، نتایج حاصل از منطقه‌بندی سیل را بر اساس مدل تجزیه‌ی خوشه خاکستری ارائه دادند.

Biscuit (۲۰۱۶) در تحقیقی با عنوان ارزیابی منطقه‌بندی خطر لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک، ضمن بررسی توپوگرافی، خاک شناسی، جهت شیب، بارش، کاربری و ارتفاع زمین به این نتیجه رسید که نتایج روش شبکه عصبی بهتر و دقیق تر از روش لجستیک است و در پایان Shivani (۲۰۱۷) در تحقیقی با عنوان منطقه‌بندی خطر لغزش با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی ضمن بررسی شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، پوشش گیاهی، بارش، جهت، سنگ بستر به این نتیجه دست یافت که شبکه عصبی مصنوعی یک

احاطه شده است. شکل ۱ نمای کلی از محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

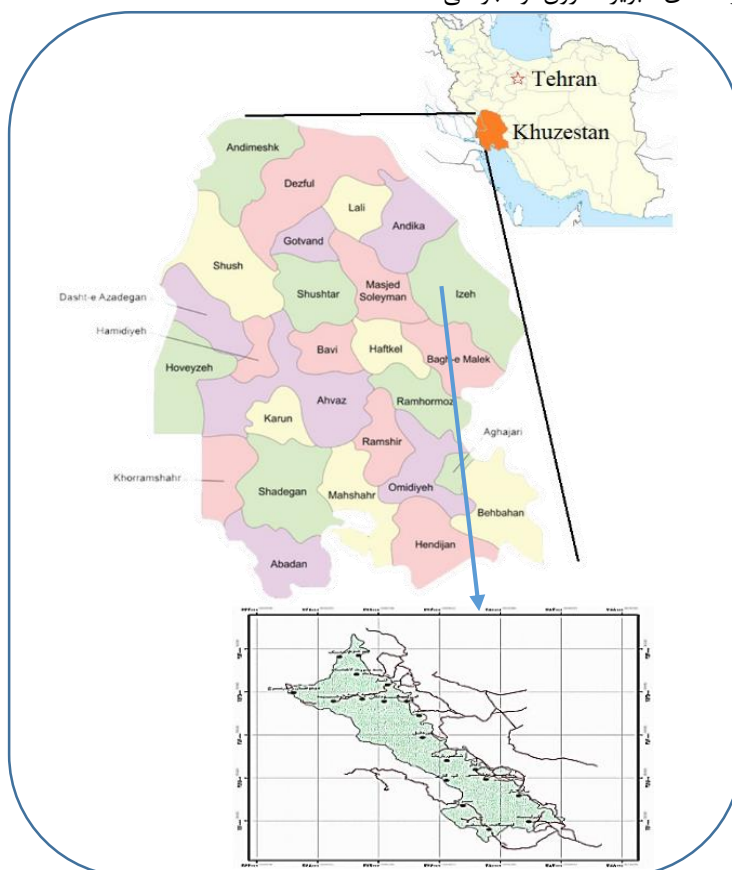
مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نظر نوع، توصیفی - تحلیلی و از لحاظ هدف، کاربردی - عملی می‌باشد. ابزار گردآوری اطلاعات در این پژوهش پیمایشی و کتابخانه‌ای است که اطلاعات و داده‌های آن از طریق جمع‌آوری نظرات کارشناسان و منابع آماری استان جمع‌آوری شده است. برای جمع‌آوری متغیرهای پژوهش شامل داده و نقشه‌های شیب، جهت، هیدرولوژی، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، توپوگرافی، بارش و پوشش گیاهی مورد استفاده بوده است. مواد مورد اشاره از منابع گوناگون آماری مانند مدل رقومی سازمان نقشه‌برداری، نقشه پوشش گیاهی منتج از تصاویر ماهواره لندست و داده‌های زمین‌شناسی تهیه گردیده و در نهایت این اطلاعات و داده‌ها با مدل رابطه‌ای خاکستری فازی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. نرم‌افزارهای تخصصی مورد استفاده تحقیق ArcGIS و همچنین ماژول GS و ابزارهای تخصصی آن بوده‌اند.

نظر داشتن تابع عضویت و بر اساس محدوده اطلاعات در دسترس نیز به خوبی عمل می‌نماید. پیاده‌سازی این تکنیک در محیط فازی باعث دقت در نتایج و حذف عدم قطعیت‌های مساله تصمیم‌گیری می‌شود (Wang et al., 2018). بنابراین و با توجه به قابلیت‌های تحلیل خاکستری، هدف نهایی تحقیق حاضر ریزپهنه‌بندی زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌ها و داده‌های در دسترس و کاربرد این مدل می‌باشد.

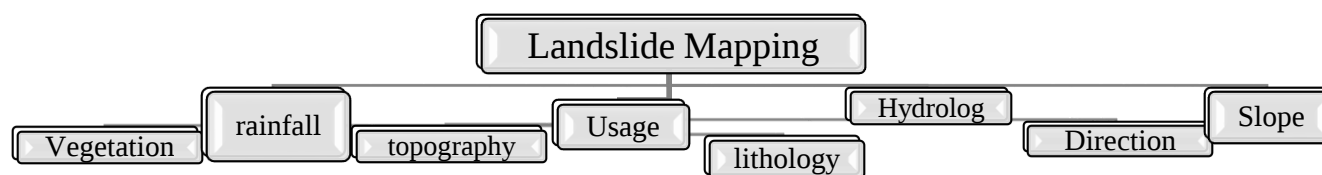
منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز ملاغفار در جنوب غربی ایران در محدوده بین عرض جغرافیائی $31^{\circ} 42' 20''$ تا $31^{\circ} 55'$ شمالی و طول جغرافیائی $49^{\circ} 47' 25''$ تا 49° شرقی واقع شده است. به لحاظ تقسیمات کشوری محدوده مورد نظر در استان خوزستان، در قسمت‌هایی از شهرستان ایزده، مسجدسلیمان و محدوده‌های از شهرستان‌های باغملک و رامهرمز قرار گرفته است. محدوده مطالعاتی جزئی از رشته کوه‌های زاگرس و کوه پایه‌های آن محسوب می‌شود که تحت عنوان حوضه آبریز رودخانه مرغاب نیز شناخته می‌شود. مساحت این منطقه حدود ۱۰۵ کیلومتر مربع می‌باشد که توسط حوضه‌های آبریز کارون و جراحی



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و موقعیت آن.

Fig. 1. Study area and its location.



شکل ۲- دیاگرام عامل‌های مورد مطالعه در پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه آبریز ملاغفار.

Fig. 2. Diagram of the studied factors in landslide mapping of Mollaghafar catchment area.

عامل قطعی و کافی) عمل می‌نماید (Mahdavi, 2006). بیشترین درصد از مساحت حوضه را شیب ۳۰-۶۰ درصد تشکیل می‌دهد. جهت تحلیل ارتباط این عامل با رویداد زمین لغزش لایه، شیب براساس درجه و در ۶ طبقه تهیه گردید، و به شیب بالا امتیاز کمتر و شیب پایین امتیاز بالا داده شده است (جدول ۱).

شیب دامنه: شیب در شکل هیدروگراف و ظرفیت نفوذپذیری خاک موثر است. هرچه شیب بیشتر باشد بیشتر تحت تاثیر فرسایش قرار می‌گیرد. پدیده زمین لغزش عموماً در شیب‌های بیش از ۲۵ درصد و بخصوص شیب‌های بالای ۴۰ درصد جلوه نموده‌اند. بنابراین، شیب دامنه‌ها در ظهور پدیده‌های ریزش و لغزش به عنوان یک عامل لازم (و نه یک

جدول ۱- طبقه‌بندی شیب در منطقه (بر حسب درصد).

Table 1. Slope divisions in the region (percentage).

Total area	> 60	slope 30-60	Slope 20-30	slope 5-12	Slope 0-5	Area
1999.5	13.5	151.5	7.8	0.15	0	Ha

حتی کشاورزی استفاده بعمل آورده‌اند که این بهره‌برداری‌ها در گذشته با شدت زیادی انجام شده که نتایج آن تخریب جنگل‌ها و کاهش سطح آنها بوده است. بطور کلی تنها نقش فعالیت انسانی در حرکات توده‌ای مهم نیست بلکه نوع فعالیت‌های انسانی (کاربری زمین) بسیار مهم است.

جهت شیب: جهت شیب نقش موثری در پتانسیل لغزش دارند. تغییر شیب دامنه‌ها ممکن است بطور طبیعی یا بطور مصنوعی ایجاد شده باشند (Ahmadi, 1995). در محدود مورد مطالعه مساحتی در حدود ۱۵۲/۷ هکتار جهت شیب دامنه در جهت غرب، و مساحتی حدود ۱۱۳/۹ هکتار دامنه در جهت جنوب شرق و کمترین مساحت ۰/۱ در هکتار شامل دامنه در جهت شمال می‌باشد. با توجه به تغییر میزان تابش خورشید در جهت‌های مختلف که موجب تغییر در میزان رطوبت و دمای عرصه می‌شود، جهت جغرافیائی دامنه در بروز زمین لغزش منطقه تأثیر می‌گذارد.

ارتفاع: روستا حوضه آبریز ملاغفار تقریباً از کلیه جهات به ارتفاعات محدود می‌شود قسمت‌هایی از شمال و جنوب حوضه را دشت‌ها و اراضی هموار تشکیل می‌دهند. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۰۰۰ متر و حداقل ارتفاع ۸۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. محدوده ارتفاعی ۱۲۰۰ - ۸۰۰ متر بیشترین مساحت از سطح حوضه را تشکیل می‌دهد (Dehdez Geology Report, 2005). بنابراین هرچه ارتفاع بالاتر امتیاز کمتر صفر و هرچه مناطق دارای ارتفاع کمتر امتیاز یک داده شده است.

بارش: بارندگی‌های در منطقه در ظهور پدیده‌های ریزش و لغزش نقش مهمی را ایفا می‌نماید. میانگین سالانه بارش ۵۸۹/۶ میلیمتر در سال است. بنابراین با توجه به نوع متغییر برای فازی‌سازی از تابع خطی استفاده گردید. بدین ترتیب که به مناطق دارای بارش کمتر امتیاز نزدیک به ۱ و مناطق با بارش بالا امتیاز نزدیک به صفر تعلق می‌گیرد.

شبکه آبراهه: به دلیل عمل زیر بری دامنه‌ها که به طور طبیعی توسط آبراهه‌ها و یا به طور مصنوعی توسط انسان هنگام احداث جوی‌ها و کانال‌های آب صورت می‌گیرد (Sadoogh, 2010) آبراهه‌ها بعنوان یک عامل محرک در ناپایداری دامنه‌ها محسوب می‌شوند. وجود آبراهه‌ها در پای دامنه‌های لغزشی باعث فرسایش مواد و عاملی برای ایجاد لغزش‌های بعدی است (Mutreja, 1994).

کاربری زمین: کاربری زمین از عواملی است که می‌تواند در جهت ناپایداری شیب موثر واقع شود. یکی از موارد بارز تغییر کاربری زمین، تبدیل زمین‌ها و نواحی شیب‌دار جنگلی به زمین‌های کشاورزی و مرتعی است (Sadoogh, 2010). مردم ساکن این مناطق بطور سنتی از این جنگل‌ها جهت تامین چوب‌آلات مورد نیاز ساختمانی، هیزمی، دامداری و

با نام تحلیل رابطه‌ای خاکستری به کار گرفته شده است. تحلیل رابطه‌ای خاکستری جزئی از تئوری خاکستری، است که برای حل مسائلی به کار می‌رود که از روابط پیچیده‌ای بین عوامل و متغیرهایشان برخوردارند (Mora'n, 2006). تئوری سیستم‌های خاکستری، الگوریتمی است که روابط غیرقطعی اعضای یک سیستم با یک عضو مرجع را تحلیل می‌کنند و قابلیت استفاده در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره را داراست. جزئیات فرایند تحلیل رابطه‌ای خاکستری به این شرح است (Shojaeian et al., 2016). ایجاد رابطه خاکستری زمانی که واحدهای اندازه‌گیری عملکرد شاخص‌های مختلف متفاوتند، ممکن است تأثیر برخی از شاخص‌ها نادیده گرفته شود. همچنین زمانی که برخی شاخص‌های عملکرد از دامنه گسترده‌ای برخوردارند، ممکن است چنین اتفاقی روی دهد. همچنین اگر هدف یا جهت این شاخص‌ها تفاوت داشته باشند، نتایج نادرست در تحلیل‌ها به وجود می‌آید (Huang et al., 2003). بنابراین، تبدیل کلیه ارزش‌های عملکردی هر گزینه به یک سری مقایسه‌ای در فرایندی مشابه نرمالیزه کردن، ضروری به نظر می‌رسد. این پردازش، گام ایجاد روابط خاکستری در تئوری سیستم‌های خاکستری نامیده می‌شود.

بنابراین به منظور ایجاد اعداد خاکستری و به علت تطابق بیشتر و تدقیق نتایج، از اعداد موجود در جدول شماره ۲ استفاده شده است.

جدول ۲- مقیاس اعداد خاکستری (Dabaghi et al., 2010).

Table 2. Grey numbers scale (Dabaghi et al., 2010).

(Grey number scale)	(Language variable)
(0 , 1)	(Very weak)
(1 , 4)	(Weak)
(4 , 6)	(Medium)
(6 , 9)	(Good)
(9 , 10)	(Very good)

$$i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

رابطه ۳:

$$x_{ij} = \frac{|y_{ij} - y_j^*|}{\max\{\max\{y_{ij}, i=1, 2, \dots, m\} - y_j^*, y_j^* - \min\{y_{ij}, i=1, 2, \dots, m\}\}}$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

رابطه ۱ برای شاخص "هرچه بزرگ‌تر، بهتر"، رابطه ۲ برای شاخص "هرچه کوچک‌تر، بهتر" و رابطه ۳ برای حالتی که هر چه به ارزش مطلوب y_j^* نزدیک‌تر باشد بهتر است، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تعریف سری‌های هدف مرجع

پس از ایجاد روابط خاکستری با استفاده از معادلات (۱)، (۲) و یا

پوشش گیاهی: پوشش گیاهی از مهمترین فاکتورهای موثر بر وقوع لغزشها است و تغییرات پوشش گیاهی اغلب سبب بروز رفتار لغزشی می‌شود (Mohammad Ali et al., 2017).

سنگ‌شناسی: نقشه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه پس از انجام بررسی‌های لازم نقشه‌های زمین‌شناسی، داده‌های ماهواره‌ای و عکس-های هوایی تهیه شد. واحد آبرفتی (آلوویم) و پادگانه‌های (تراس) قدیمی متعلق به عهدحاضر بیشترین تأثیر را در رخداد زمین‌لغزشها دارد. این واحد سنگ‌شناسی به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی مانند هوازدگی شدید، نفوذپذیری کم و باقیماندن حجمی زیادی آب در داخل آن، همچنین نبود پوشش گیاهی چشمگیر، حتی در شیب‌های کم نیز امکان لغزش و حرکت دارد (Shirani and Seif, 2016).

روش تحلیل رابطه‌ای خاکستری فازی

تحلیل رابطه‌ای خاکستری را نخستین بار، دنگ مطرح کرد. این تئوری برای حل مسائل مبهم و مسائلی که داده‌های گسسته و اطلاعات ناقص دارند به کار می‌رود. این تئوری با استفاده از اطلاعات نسبتاً کم و با تغییرپذیری بسیار در معیارها، خروجی‌های رضایت بخش و مطلوبی را ایجاد می‌کند. تئوری خاکستری، همچون تئوری فازی، یک مدل ریاضی اثربخش برای حل مسائل نامشخص و مبهم است (Deng, 1982). این تئوری در زمینه‌های بسیار، نظیر حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره،

در یک مسأله تصمیم‌گیری چند شاخصه که دارای m گزینه و n شاخص است، i امین گزینه را می‌توان به صورت $y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{in})$ بیان نمود، به طوری که عبارت y_{ij} است از ارزش عملکردی شاخص j برای گزینه i . عبارت Y_i را می‌توان به کمک یکی از روابط (۱)، (۲) و یا (۳) به سری مقایسه‌ای $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in})$ تبدیل نمود.

رابطه ۱:

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \min\{y_{ij}, i=1, 2, \dots, m\}}{\max\{y_{ij}, i=1, 2, \dots, m\} - \min\{y_{ij}, i=1, 2, \dots, m\}}$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

رابطه ۲:

$$x_{ij} = \frac{\min\{y_{ij}, i=1, 2, \dots, m\} - y_{ij}}{\max\{y_{ij}, i=1, 2, \dots, m\} - \min\{y_{ij}, i=1, 2, \dots, m\}}$$

رابطه ۵، رتبه رابطه‌ای خاکستری را بین x_0 و x_i نشان می‌دهد. در واقع، این عبارت، میزان همبستگی سری مرجع هدف و سری مقایسه‌ای را نشان می‌دهد. w_j ، وزن شاخص j است که معمولاً به قضاوت تصمیم‌گیرنده یا به ساختار مساله پیشنهادی بستگی دارد. به علاوه، (Fung, 2003) همان‌طور که پیشتر ذکر شد، بر روی هر شاخص، سری مرجع هدف، نشان‌دهنده بهترین عملکردی است که در میان سری‌های مقایسه‌ای قابل حصول است. بنابراین، اگر یک سری مقایسه‌ای برای یک گزینه، بالاترین رتبه رابطه‌ای خاکستری را با سری مرجع هدف داشته باشد، بدین معناست که این سری مقایسه‌ای، دارای بیشترین شباهت با سری مرجع هدف است و لذا این گزینه، بهترین انتخاب است.

تعریف توابع عضویت فازی پارامترهای تحقیق

هدف از تعریف تابع عضویت برای فاکتورها، وزن‌دهی تدریجی و پیوسته به آنهاست. در این حالت وزن هر پیکسل براساس مقدار تابع عضویت آن پیکسل در مجموعه فازی مناسب فاکتور مورد نظر بدست می‌آید. انتخاب توابع عضویت به منظور پهنه‌بندی لغزش زمین اهمیت به‌سزایی دارد (Effati, 2011). از همین رو با توجه به ماهیت هر فاکتور تابع عضویت هر لایه در بخش fuzzy membership تعیین می‌گردد. بدین ترتیب در پژوهش حاضر برای تمام لایه‌ها که ماهیت پیوسته دارند، تابع عملگر پروداکت (PRODUCT) اعمال گردید. مقدارهای عضویت فازی ترکیب شده با این عملگر، به دلیل خاصیت ضرب آن به سمت مقادیر خیلی کوچک میل دارد. چرا که در این عملگر چندین ورودی‌های فازی‌سازی شده که بین صفر و یک هستند با همدیگر ضرب می‌شوند. مثلاً ضرب دو مقدار عدد ۰.۸ و ۰.۹ برابر می‌شود با ۰.۷۲، که این عدد به سمت صفر می‌باشد (رابطه ۶).

رابطه ۶:

$$U_{com} = \prod_{i=1}^n U_i$$

در این رابطه:

U : مقدار عضویت نقشه نهایی

U : مقدار عضویت ورودی (نقشه و شاخص‌های) می‌باشد.

مزیت این روش برخلاف عملگرهای AND و OR این است که در این عملگر کلیه مقدارهای عضویت مشترک بر روی نتیجه تاثیر دارند و به دلیل اینکه خروجی این تابع همیشه اعداد کوچکتری نسبت به ورودی‌ها است در نتیجه در مکان‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرد چرا که در این عملگر پیکسل‌های کمتری انتخاب خواهد شد. این خاصیت حکایت از حساسیت بالای این عملگر در عملیات هم پوشانی دارد.

(۳)، تمامی ارزش‌های عملکردی در مقیاس [۰ و ۱] قرار می‌گیرند. اگر برای یک شاخص j در گزینه i ، ارزش x_{ij} که از فرایند ایجاد رابطه خاکستری ایجاد شده، برابر با ۱ بوده یا از ارزش مربوط به هر گزینه دیگری به ۱ نزدیکتر باشد، بدین معناست که عملکرد گزینه i در شاخص j از سایر گزینه‌ها بهتر است. بنابراین، اگر برای گزینه‌ای تمامی ارزش‌های عملکردی، یک باشد، این گزینه، بهترین انتخاب خواهد بود. این مقاله، سری مرجع هدف را به صورت $X_0 = (1, 1, \dots, 1)$ تعریف می‌کند و آنگاه به جستجوی گزینه‌ای می‌پردازد که سری‌های مقایسه‌ای اش، نزدیک‌تر به این سری هدف باشند.

محاسبه ضریب رابطه‌ای خاکستری: ضریب رابطه‌ای خاکستری برای تعیین نزدیکی x_{ij} به x_{0j} مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچه ضریب رابطه‌ای خاکستری، بزرگ‌تر باشد x_{ij} به x_{0j} نزدیک‌تر است. ضریب رابطه‌ای خاکستری را با استفاده از رابطه (۴) می‌توان محاسبه نمود:

رابطه ۴:

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta Min + \zeta \Delta Max}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta Max} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

در رابطه (۴)، $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ ضریب رابطه‌ای خاکستری میان x_{ij} و x_{0j} را نشان می‌دهد که در آن:

$$\Delta_{ij} = x_{0j} - x_{ij}$$

$$\Delta Min = \min\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

$$\Delta Max = \max\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

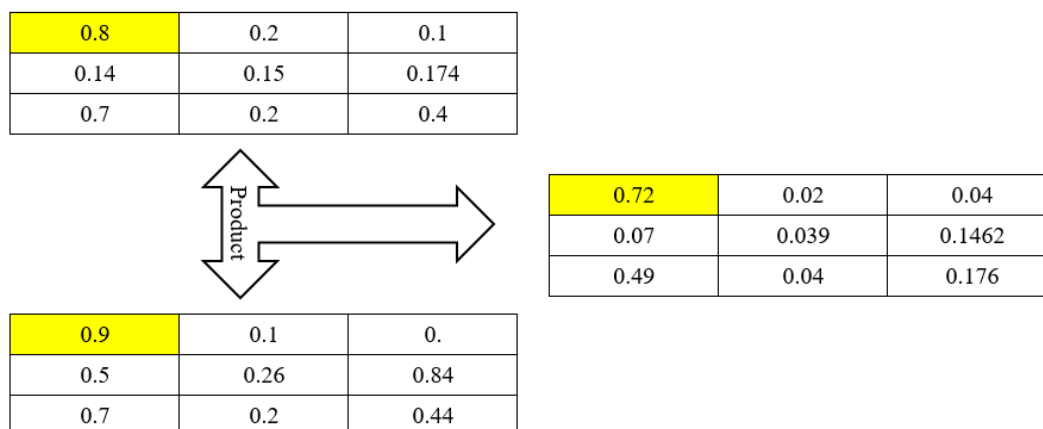
$$\zeta \in [0, 1] \text{ ضریب تشخیص}$$

هدف از به کارگیری ضریب تشخیص، گسترش یا محدود ساختن دامنه ضریب رابطه خاکستری است (Shojaeian et al., 2016). محاسبه رتبه رابطه‌ای خاکستری: پس از محاسبه تمامی ضرایب رابطه‌ای خاکستری $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ ، رتبه رابطه‌ای خاکستری را با استفاده از رابطه (۵) می‌توان محاسبه نمود:

رابطه ۵:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

$$\Gamma(x_0, x_i) = \sum_{j=1}^n w_{j\gamma}(x_{0j}, x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, m$$



شکل ۳- تعریف توابع عضویت فازی در پارامترهای تحقیق.

Fig. 3. Definition of fuzzy membership functions of research parameters.

نقشه‌ها با عملگر فازی پروداکت اقدام شد. انتخاب عملگر یکی از پیچیده‌ترین مراحل کار با منطق فازی است. زیرا عملگرها ارتباط و کنش و واکنش‌های متفاوتی را در یک نقشه ایجاد می‌کنند. از این رو با توجه به نوع داده، عملگر مناسب را انتخاب می‌نمایند. بنابراین در گام بعدی با استفاده از همپوشانی لایه‌های دارای درجات عضویت فازی، در محیط ArcGIS و با استفاده از جعبه ابزار Fuzzy Overlay، در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبریز ملاغفار در ۵ طبقه و با احتمال وقوع خیلی کم، کم، متوسط، زیاد خیلی زیاد استخراج گردید (شکل ۵).

پس از پیاده سازی رابطه خاکستری فازی به ترتیب ضریب رابطه‌ای، رتبه رابطه‌ای خاکستری و مقادیر عضویت هر یک از شاخص‌ها تعیین و به نقشه‌های و لایه‌های مربوطه اعمال گردید. جدول ۳ معرف ضریب رابطه‌ای خاکستری و جدول ۴ رتبه رابطه‌ای خاکستری شاخص‌های مورد استفاده در مدل‌سازی پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه آبریز ملاغفار را نشان می‌دهند.

پس از تهیه هریک از نقشه‌ها با استفاده از وزن‌های تحلیل رابطه‌ای خاکستری، تابع عضویت فازی بر هریک اعمال و نقشه‌های مربوطه تولید گردید. پس از وزن‌دهی و تهیه نقشه‌های وزن‌دار فازی، به تلفیق این

جدول ۳- ضریب رابطه‌ای خاکستری شاخص‌ها در حوضه آبریز ملاغفار.

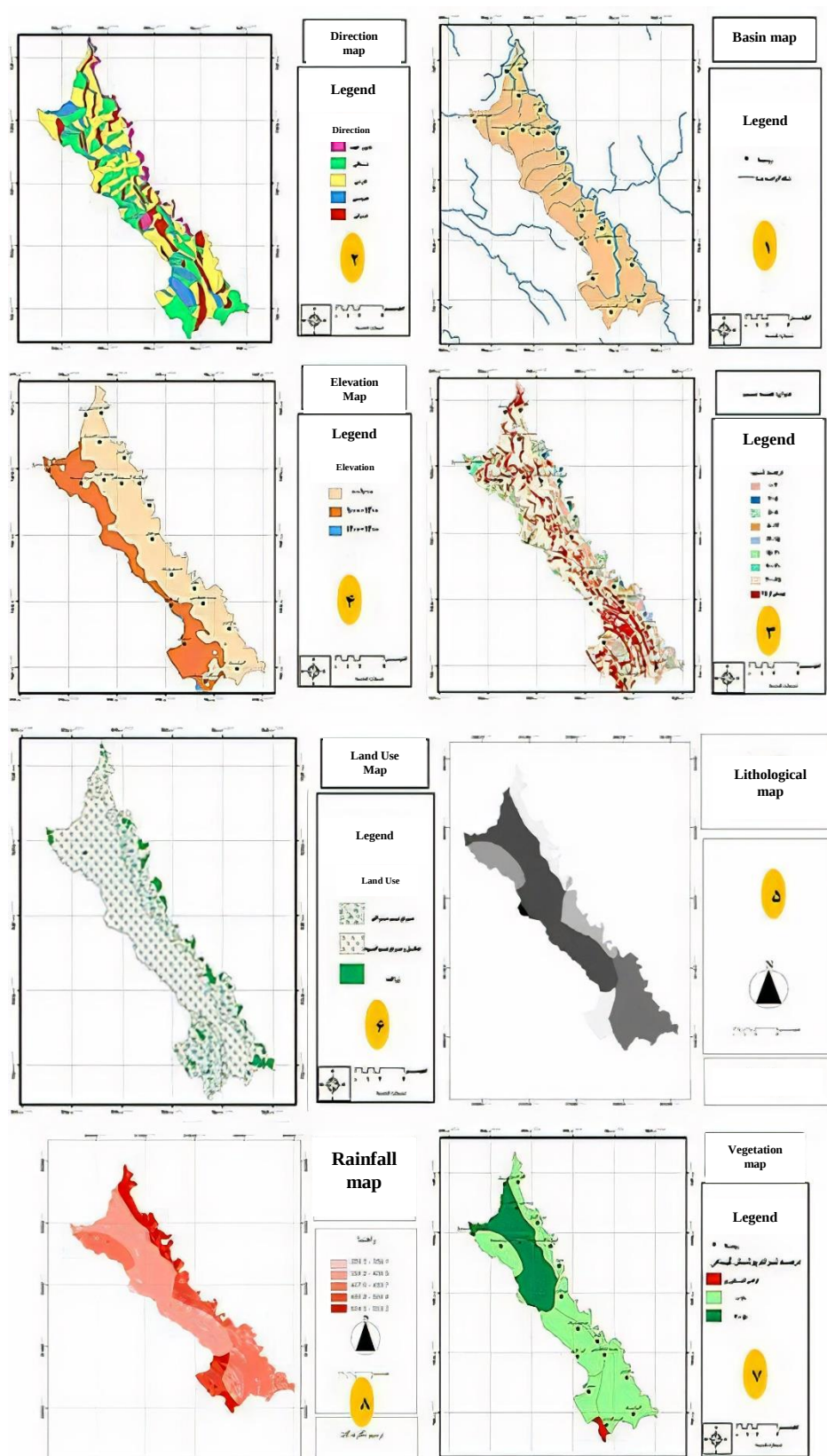
Table 3. Grey correlation coefficient of indicators in Mollaghafar catchment.

(Mollaghafar catchment)	(Indicator)
0.656	(steep direction)
0.656	(Land use)
0.7059	Hydrology (water network)
0.7059	(Height)
0.687	(Slope)
0.666	(Vegetation)
0.696	(Rainfall)
0.681	(Petrology)

جدول ۴- رتبه رابطه‌ای خاکستری هر شاخص.

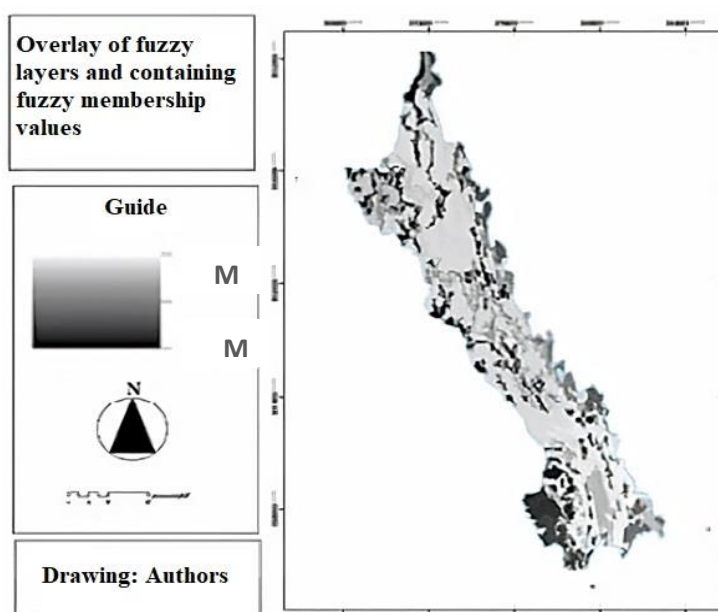
Table 4. Grey relational rank of each index.

Petrology	Rain fall	Vegetation	Height	Hydrology	Land use	Steep direction	Slope	Mollaghafar catchment
0.6802	0.7081	0.6892	0.6992	0.7111	0.7028	0.7137	0.7142	Grey relationship rank



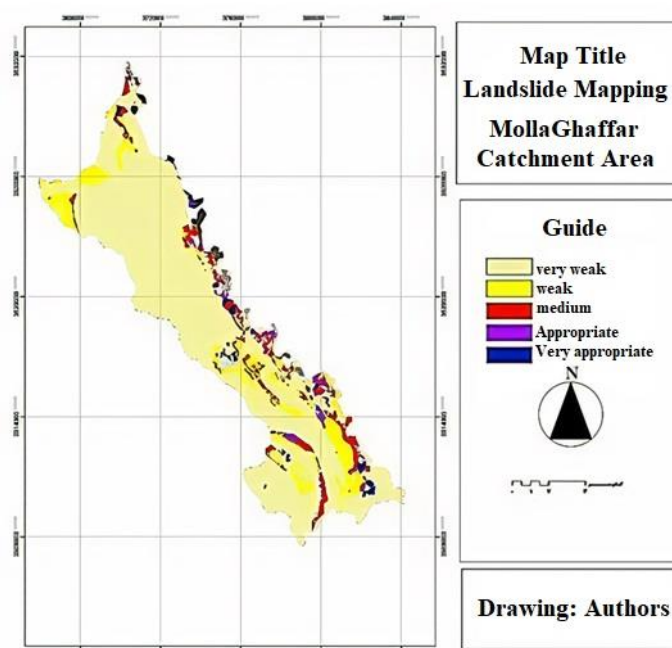
شکل ۴- نقشه‌های تهیه شده از شاخص‌های تحقیق برای منطقه مورد مطالعه.

Fig. 4. Maps prepared from research indicators for the study area.



شکل ۵- نقشه همپوشانی لایه‌های با درجات عضویت فازی شاخص‌های تحقیق.

Fig. 5. Layer overlap map with fuzzy membership degrees of research indicators.



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزه آبریز ملاغفار.

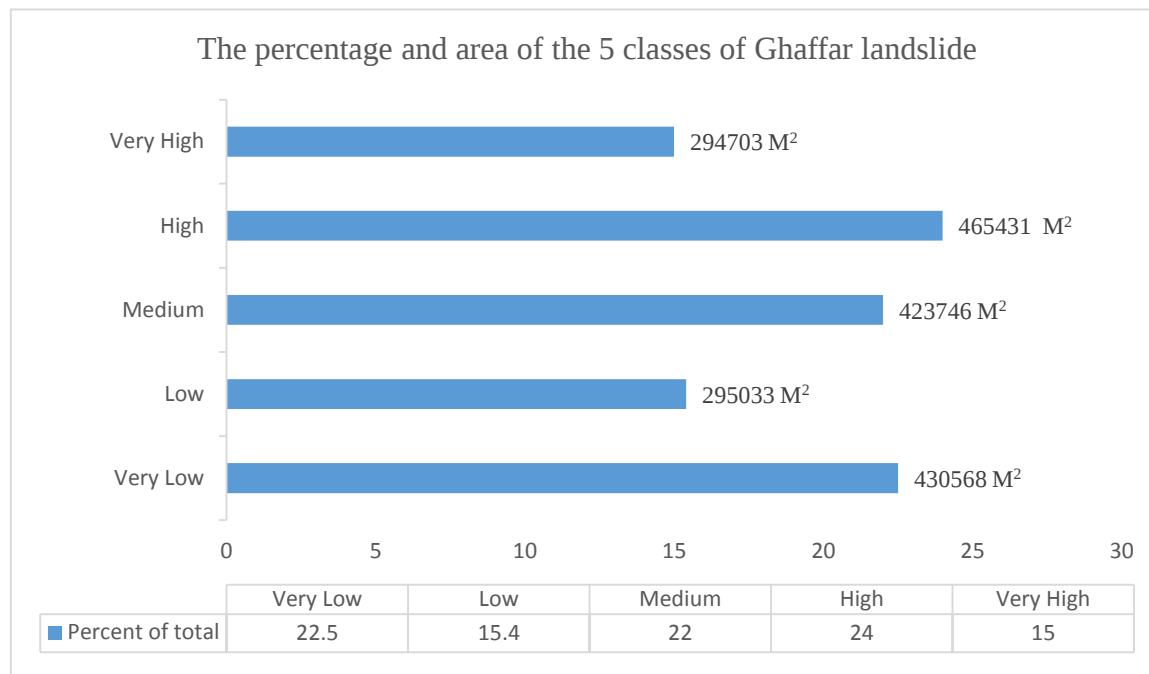
Fig. 6. Landslide mapping of Mollaghafar catchment area.

مورد مطالعه، شیب با مقادیر $0/7142$ و سنگ شناسی با $0/6802$ به ترتیب بیشترین و کمترین رتبه را در پهنه‌بندی زمین لغزش منطقه مورد مطالعه داشته است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی بدست آمده (شکل ۶)، و براساس ۸ عامل موثر بر زمین لغزش در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی سطوح با ریسک خیلی زیاد تا خیلی کم در قالب ۵ طبقه شناسایی شدند. از کل منطقه با مساحت 1908491 مترمربع؛ مناطق با

با بررسی‌های انجام شده و با استفاده از نتایج بدست آمده درمدل تحلیل رابطه ای خاکستری فازی در منطقه مورد مطالعه، آثاری مبنی بر تخریب در اثر عوامل طبیعی در سطح وسیع مشاهده نمی‌شود اما تخریب در اثر قطع یکسره، احداث جاده، چرای شدید، کوبیدگی خاک، فرسایش‌های سطحی و شیاری، تبدیل جنگل‌ها به مرتع و زراعت در تمام عرصه‌های با شیب کمتر از 60% مشاهده می‌گردد. از میان عوامل

۴۲۳۷۴۶ متر مربع (شامل ۲۲ درصد از کل مساحت حوضه)، پهنه‌ای به مساحت ۴۶۵۴۳۱ (شامل ۲۴ درصد از کل مساحت حوضه) دارای خطر زمین لغزش زیاد و بالاخره ۱۵ درصد از کل منطقه با مساحت ۲۹۴۷۰۳ دارای خطر ریسک بسیار زیاد برای وقوع این پدیده بوده است (شکل ۷).

خطر زمین لغزش بسیار کم به مساحت ۴۳۰۵۶۸ متر مربع (شامل ۲۲٫۵ درصد از کل مساحت حوضه)، محدوده‌های با زمین خطر زمین لغزش کم با مساحت ۲۹۵۰۳۳ مترمربع (شامل ۱۵٫۴ درصد از کل مساحت حوضه)، کلاس با خطر زمین لغزش متوسط دارای مساحتی حدود



شکل ۷- نمودار مساحت و درصد کلاس‌های پنجگانه زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه.

Fig. 7. Graph of area and percentage of five landslide classes in the study area.

قسمت جنوبی شرق حوضه علی‌رغم وجود رودخانه، بعلت شیب اندک، ریسک لغزش کم می‌باشد و بیشترین خطر متوجه مناطق شرق، مرکز و شمال شرق حوضه می‌باشد. محدوده‌هایی که شیب بیشتر و آبراهه‌ها با تراکم بیشتری بهم رسیده‌اند، شاهد خطرپذیری مناطق بیشتر می‌باشیم. بنابراین چنانچه تمهیداتی برای کنترل آبراهه‌های سطحی در حوضه ایجاد نگردد، احتمالاً این مناطق به تدریج به مناطق پر خطر تبدیل خواهند شد. در راستای امکان تحقق تعمیم و گسترش نتایج تحقیق، می‌توان مدل مورد استفاده پژوهش را در مناطقی که تنوع گسترده و متنوع‌تری از عوامل اثرگذار در پدیده لغزش وجود دارد، بکار بست و نتایج حاصله را مقایسه نمود. در این تحقیق اوزان هر پارامتر در یک سطح و برای کلیت شاخص در نظر گرفته شده است؛ پیشنهاد می‌شود اوزان ریز شاخص هر عامل با متدهای دلفی توسط متخصصین مربوطه تعیین و نتایج مقایسه گردد.

نتیجه‌گیری

از آنجا که زمین لغزش هر ساله در بسیاری از مناطق دنیا باعث کشته و مجروح شدن افراد زیادی می‌شود، این امر ضرورت توجه به این پدیده خطرناک را نمایان می‌سازد. با توجه به اهمیت و نقش این پدیده در پایداری دامنه‌ها، اراضی کشاورزی و توسعه نواحی شهری و روستایی و غیره؛ در پژوهش حاضر به بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد زمین لغزش و شواهد موجود در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. مدل بکار رفته در این تحقیق تحلیل خاکستری فازی است. برای دستیابی به هدف این پژوهش به جمع آوری داده و نقشه مربوط به هریک از متغیرهای پژوهش شامل شیب، جهت، هیدرولوژی، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، توپوگرافی، بارش و پوشش گیاهی اقدام گردید. پس از استانداردسازی داده‌ها و اعمال مدل تحلیل خاکستری فازی و تهیه خروجی‌های تحقیق، با تدقیق در منطقه و نقشه‌ی خروجی نهایی مشخص گردید که در

منابع

- Ahmadi, H., 1995. Applied Geomorphology, Vol 1, Water Erosion, University of Tehran Press.
- Ali Mohammadi, S., Pashaei Aval, A., Parsai, L., Hatami Moghadam, Z., 2017. Investigation of the effect of vegetation on the occurrence of landslides in the period 1967 to 2006 (Case study; Seyed Kalateh watershed Ramyan). 2nd National Conference on Ecological Agriculture of Iran, Gorgan.

- Azimpour, A., Sadoogh, H., Dalal Oghli, A., Servati, M., 2009. Evaluating the results of AHP model in landslide risk zoning (Ahar Chai Catchment). *Geographical Space Quarterly* 9(26), 83-71.
- Biswajeet, P., 2016. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling Original Research Article. *Environmental Modelling & Software* 25(6), 747-759.
- Dabbaghi, A., Malek, A., Shafiei, M., 2010. Introduction of Grey Tool in Evaluating GOCAI Organizational Culture and Its Implementation in the Deputy of Engineering, Structure and Productivity of National Iranian Oil Company. *Management Quarterly and Human Resources in Industry* 13(84), 61.
- Deng, J. L., 1982. Control problems of grey system. *Systems and Control letters* 1, 288-294.
- Effati, M., Rajabi, M., 2011. Presenting a new method for identifying road accident hotspots using GIS and fuzzy inference (Case study of Cohen-Lushan axis). *Journal of Surveying Science and Technology* 1(2), 16-1.
- Fardad, M., Alsheikh, A., Hakimpour, F., Vafinejad, A., 2011. Zoning of landslide hazard sensitivity by fuzzy logic neural network methods in GIS, a case study of Mal Khalifa region. 15th Conference of the Geological Society of Iran 1390, 14-1.
- Fung, C. P., 2003. Manufacturing process optimization for wear property of fibre-reinforced polybutylene terephthalate composites with grey relational analysis. *Wear* 254, 298-306.
- Huang, J.T., Liao, Y.S., 2003. Optimization of machining parameters of Wire-EDM bases on grey relation and statistical analysis. *International Journal of Production Research* 41, 1707-172.
- Intarawichian, N., Dasananda, S., 2010. Analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping in Lower Mae Chaem watershed, Northern Thailand. *Suranaree Journal of Science and Technology* 17(3), 277-292.
- Karimi, T., Sadeghi Moghadam, M., 2014. *Rough Collections and Grey Collections*. 1st Edition, Mehraban Book Institute, 45-40.
- Mahdavi, M., Karimzadeh, H., 2006. Zoning of the central part of Varzeqan city for locating rural service centres using GIS. *Geographical Research Quarterly* 55, 242-203.
- Malekian, A., Hassanpour, S., Faraji, S., Hassan Ali, K., Rahimi, S., 2018. Application and comparison of grey clustering analysis models and hierarchical analysis in locating suitable areas for flood watershed Gorbayegan. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 20, 46-35.
- Mir Ahmadi, A., 2010. Landslide Hazard Zoning Using Hierarchical Analysis (AHP) Case Study of Chelav Amol Watershed. *Iranian Journal of Geographical Association* 8, 203-181.
- Mora'n, J., Granada, E., Mi'guez, J.L., Porteiro, J., 2006. Use of grey relational analysis to assess and optimize small biomass boilers. *Fuel Processing Technology* 87, 123-127.
- Mutreja, K.N., 1994. *Applied Hydrology* (Third Print). Published by Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- National Iranian Oil Company, 2005. Report on Geological, Hydrological and Geophysical Studies of Pump Water Supply Project for Houses No. 4 and 5 of Dehdez Prepared by Fars Land Consulting Engineers, pp. 150.
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H., Mohammadi, M., Mostafizadeh, R., Goli Jirandeh, A., 2012. Landslide Hazard Zoning Using Bayesian Theory. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences* 62, 121-109.
- Sadough, H., Arayesh, S., Sarai, A., 2008. Landslide Hazard Zoning in Tea Gardens (South of Lahijan and Langrood). *Geography Quarterly*, 17, 68-53.
- Shamsi Poor, A., Sheikhi, M., 2010. Zoning of Sensitive Areas and Environmental Vulnerability in the West of Fars, by Fuzzy Classification Method and Hierarchical Analysis Process. *Natural Geography Research* 73, 89-53.
- Shirani, K., Hashemi Jazi, M., Niknejad, A., Rakhsha, S., 2012. Landslide risk potential zoning by AHP hierarchical analysis and multivariate regression (MR) Case study of North Karun river basin mirage. *Journal of Rangeland and Watershed Management (Journal of Natural Resources)* 65(3), 38-22.
- Shirani, K., Seif, A., 2016. Landslide risk zoning using statistical methods (Pishkuh region, Fereydunshahr city). *Earth Sciences Quarterly* 22(85), 149-158.
- Shivani, C., 2010. Landslide Susceptibility Zonation through ratings derived from Artificial Neural Network Original Research Article. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information* 12, 340-350.
- Shojaeian, A., Maleki, S., Atash Afrooz, N., 2014. *Geographical Technologies in Rural Planning*, Ilam University Press, p. 28.
- Shojaeian, A., Modiri, M., Omidipour, M., 2014. Application of Models in Geography. *Publications of the Geographical Organization of the Ministry of Defence and Armed Forces Support*, pp. 208 - 235.

- Wang, H.C., Duanmu, L., Lahdema, R., Li, X., 2018. Afuzzy-grey multicriteria decision making model for district heating system. *Applied Thermal Engineering* 128, 1051-1061.
- Guidelines for disaster prevention / Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator, 1976, Vol 1, Pre-disaster physical planning of human settlements
- Urmiaei, A, Ghayoumian, J, Bagheri, H, Haji Hassani, H., 2005, Landslide risk zoning in the catchment area of SiahBishe dam, the ninth conference of the Iranian Geological Society 135.1384-125.



©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.