Hydrogeomorphology Vol. 13, No. 46, 2026

Research Paper

Landslide Hazard Assessment in the Onarchay Watershed of Meshkinshahr Using the (MABAC) Model

Aghil madad[*1], Sayyad asghari Saraskanrood[2], Davar taghizadeh[3]

1. Associate Professor, Department of Geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil. Iran. Aghil48madadi@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Geography. , Mohaghegh Ardabili University, Ardabil Iran. s.asghari@uma.ac.ir
3. Ph.D Student in Geomorphology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil. Iran. davar.taghizadeh48@gmail.com

Keywords

Landslide, MABAC model GIS,Onarchay, Meshkinshahr, Iran.

Receive : 2025/02/24

Accepted: 2025/05/03

Published: 2026/04/12

ABSTRACT

Introduction

One of the most important forms of geomorphological processes on the Earth's surface is landslides. Landslides are dynamic processes that play a role in the change and evolution of slopes (Guzzetti et al., 2005:274). This phenomenon occurs due to the displacement of constituent materials on slopes; the result is the movement of a large mass of materials down the slopes (Maddi, 2009:77). The displacement of soil and rock masses on slopes originates from two external and internal factors.However, this phenomenon causes the formation and evolution of slopes in mountainous areas (Roering et al., 2005:655). But they cause damage or death to humans and also significant financial losses to mountainous areas, agricultural lands and facilities in that area such as communication roads and development sectors (Mohammadnia et al., 2018:115). In this context: (Maddadi et al., 2019), conducted a comparative evaluation of MABAC and CODAS multi-criteria decision-making in landslide risk zoning in Kausar County. (Yalcin, 2008), evaluated landslide areas in the Ardsin region of Turkey using the analytic hierarchy process and statistical index and weighting factor. Therefore, considering that no research has been conducted on landslides in the Onarchay region so far.

Therefore, the purpose of this study is to investigate the various factors affecting the occurrence of landslides in the Onar Chay watershed of Meshkinshahr and to zoning the landslide risk using the (MABAC) model.

*Correspondin Author: Madadi.A. E-mail:aghil48madadi@yahoo.com

How to cite this article: Madadi, Aghil ., Asghari Saraskanrood, Sayyad., Taghizadeh, Davar. (2026). Landslide Hazard Assessment in the Onarchay Watershed of Meshkinshahr Using the (MABAC) Model: Hydrogeomorphology, 13(46): 1 – 19.
DOI: 10.22034/hyd.2025.65991.1779

Copyright: © by the authors Publisher: University of Tabriz

This research is applied and its method is based on the integration of data analysis, geographic information system GIS and the use of MABAC multi-criteria analysis techniques. In this regard, using the opinions of experts on the important criteria involved in the occurrence of landslides, twelve thematic layers were examined as influential variables. First, the information layers of the criteria were prepared in the geographic information system GIS and the criteria were weighted using the CRITIC method. Then, the standardization stage was carried out according to the fuzzy membership function FUZZY, during which the range of data changes in the interval zero and one was identical and the highest value, i.e. the value of one, was assigned to the maximum membership and the lowest value, i.e. zero, to the minimum membership in the set. The required data were obtained from topographic maps of 1:50,000 scale, geological maps of 1:100,000 scale, digital elevation model DEM images of the region with a resolution of 12/5 meters, climatic data and other information layers, field studies, and library resources. Finally, analysis and modeling were performed using the MABAC multi-criteria decision-making method in the GIS and EXCEL software platform, and a landslide zoning map of the basin was extracted.

Results and Discussion

Based on the results, the final map was obtained in 5 classes: very low, low, medium, high and very hi gh. The southern, southwestern and southeastern regions of the region have a high potential for landslides. Very low risk areas with (16.10), low (16.60) percent cover a smaller area of the region. On the other hand, medium risk areas with (23.80), high (25) and very high (18.50) percent cover a larger area. The results of this study show that various factors are effective in landslide risk zoning and the evaluation of the "Mabac" model has been able to zone the basin well in terms of landslide risk potential.

Conclusions

Based on landslide zoning maps using the Mabac model, the variables of slope, land use, lithology, and geology were ranked first to fourth with the highest weight coefficient as the main and important factors in the occurrence of landslides in the region. The criteria of distance from fault, Slope direction(Aspect), and distance from river with the lowest weight coefficient were assigned ranks of 12, 11, and 10, respectively. In addition, and considering the rank-order nature of the model used in this study, distance from roads were ranked (9), rainfall (8), soil (7), vegetation (6), and elevation classes (5). According to the output of the study, the low and very low risk areas, with a total area of 32.70 percent, cover a smaller area of the area, and on the other hand, the areas with medium, high and very high risk have allocated a larger area. According to the output of the final map, 67.30 percent of the Onar Chay watershed is located in the categories with medium, high and very high risk areas. It can be said that the results of this study indicate the high risk of the study area in terms of landslide occurrence. Therefore, in the slopes with southern, southwestern and southeastern directions, due to the storage of moisture on the loose and fine-grained formations of the slopes, the potential for slope movement in the region is high.

مقاله پژوهشی

ارزیابی خطر زمین‌لغزش درحوضه‌ی آبریز اُنارچای مشکین شهر با استفاده از مدل‌ماباک (MABAC)

عقیل مددی[۱] *، صیاد اصغری سراسکانرود[۲]، داور تقی ز اده [۳]

۱-استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. aghil48madadi@yahoo.com
۲-استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. s.asghari@uma.ac.ir
۳-دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.davar.taghizadeh48@gmail.com

کلیدواژه‌ها

زمین‌لغزش،مدل MABAC، GIS، اُنارچای، مشکین‌شهر،ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/23

چکیده

زمین‌لغزش‌ها فرایندهای فعالی هستند؛ که در تحول چشم اندازها مشارکت دارند. حوضه آبریز اُنارچای با مساحت ۱۲۲/۳۶ کیلومترمربع در استان اردبیل، جنوب‌شرقی شهرستان مشکین‌شهر در موقعیت جغرافیایی بین″ ۰۱ ′ ۵۰ °۴۷ تا ″ ۱۶ ′ ۵۵ °۴۷ طول شرقی و ″۳۸ ′ ۱۴ °۳۸ تا ″ ۰۶ ′ ۳۴ °۳۸ عرض شمالی واقع شده است . تحقیق حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این حوضه صورت گرفته است. روش مورد استفاده براساس مدل تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ ماباک (MABAC) و در محیط‌های نرم‌افزاری EXCEL و GIS انجام یافته است. در راستای پهنه‌بندی زمین‌لغزش اُنارچای از ۱۲ متغیر مهم موثر بر وقوع زمین‌لغزش: زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، لیتولوژی، فاصله ازگسل، پوشش‌گیاهی، شیب، جهت شیب، طبقات‌ارتفاعی، بارش، فاصله ازآبراهه، کاربری‌اراضی، فاصله ازجاده استفاده گردید. وزن‌دهی به معیارهای مورد بررسی در ماباک با استفاده از روش کریتیک(CRITIC) انجام شد. در نهایت، لایه‌های موضوعی مؤثر بر رویداد زمین‌لغزش با توجه به وزن و ضرایب آن‌ها در محیط نرم‌افزار (GIS) با استفاده از روش ترکیب‌وزنی با یکدیگر ترکیب و نقشه‌نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بدست آمد. با توجه به خروجی حاصل از بکارگیری روش ماباک، عوامل شیب،کاربری‌اراضی، لیتولوژی و زمین شناسی با کسب امتیاز بیشتری در رتبه‌های اول تا چهارم قرار گرفتند. عوامل دیگر شامل: طبقات ارتفاعی، پوشش گیاهی، خاک، بارش، فاصله از راه‌ها، فاصله از رودخانه، جهات شیب و فاصله از گسل به ترتیب امتیاز رتبه‌های بین پنجم تا دوازدهم را به خود اختصاص دادند. مع الوصف با توجه به خروجی نقشه نهایی، پهنه‌های زمین‌لغزش‌حوضه عمدتاً در جنوب ، جنوبشرقی و جنوب غربی توزیع شده‌اند.

کلید واژه‌ها: زمین‌لغزش، مدل MABAC ، GIS، اُنارچای، مشکین‌شهر

*نویسنده مسئول: عقیل مددی رایانامه: aghil48madadi@yahoo.com

ارجاع به این مقاله: مددی، عقیل؛ اصغری‌سراسکانرود، صیاد؛ تقی زاده، داور (۱۴۰۵). ارزیابی خطر-زمین‌لغزش درحوضه‌ی آبریز اُنارچای مشکین شهر با استفاده از مدل‌ماباک (MABAC). هیدروژئومورفولوژی،۱۳ (۴۶): 19– ۱.

شناسه دیجیتال مقاله: DOI: 10.22034/hyd.2025.65991.1779

Copyright: ©2025 by the authors Publisher: University of Tabriz

مقدمه

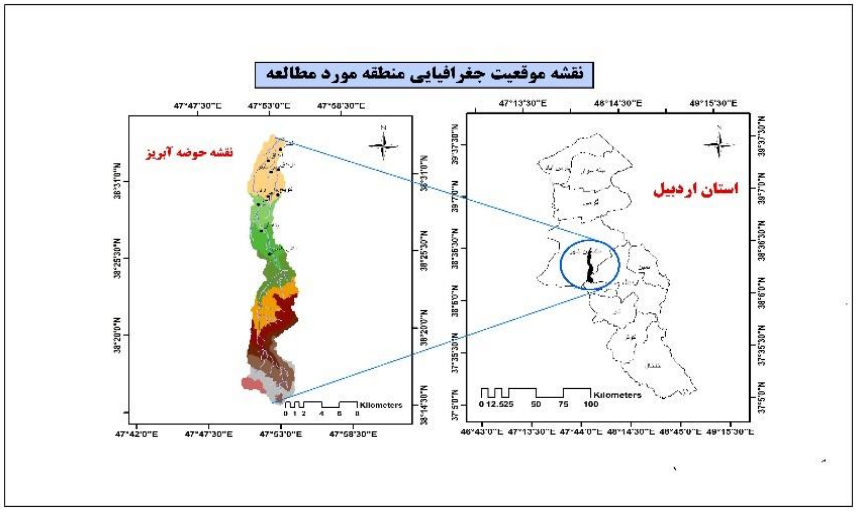
ژئوموفولوژیست‌ها از همان زمان تکوین و پیدایش دانش ژئومورفولوژی همواره سعی داشته‌اند با استفاده از فناوریهای در دسترس، فرم ها و فرآیندها را در طول زمان و در نظام‌های فضایی خاصی به مقیاس دلخواه به نمایش بگذارند (امیراحمدی و همکاران، ۹۸:۱۴۰۰). یکی از مهمترین این فرم‌ها که تحت تاثیر فرایندهای زمین ریخت‌شناسی فعال در سطح زمین قرار دارند؛ لغزش‌های دامنه‌ای هستند. زمین‌لغزش‌ها فرایندهای پویایی هستند که در تغییر و تحول دامنه‌ها نقش دارند (گزوتی[1] و همکاران،274:2005). این پدیده بر اثر جابجایی مواد تشکیل دهنده بر روی دامنـه‌ها اتفاق می‌افتد؛ به نحوی که در اثر مکانیسم آب موجود روی دامنه و نیروی جاذبه رخ می‌دهند. نتیجه آن حرکت توده‌ی انبوهی از مواد بـه طرف پـایین دامنـه‌ها می‌باشد(مددی، 77:1389). جابجایی توده مواد خاک و سنگ روی دامنه‌ها از دو عامل خارجی و داخلی نشات می‌گیرند. از عوامل بیرونی می‌توان به سنگ‌شناسی و تیپ‌خاک، ساختارهای ناهمگن، مقاومت برشی مواد، وضعیت آبهای زیر سطحی، ترکیب و هندسه زمین از قبیل: شیب، جهات‌شیب، ارتفاع زیرشویی پای شیب، بارگذاری در بخش‌های بالایی دامنه ، ضربات و ارتعاشات به سبب اقدامات عمرانی و یا استخراجی معادن، کاهش و یا تغییر رژیم آب و از عوامل داخلی در حرکت دامنه‌ها، شامل: انواع تخریب فیزیکی، شیمیایی و زیستی، فرسایش، لرزه‌خیزی اشاره کرد (بومر[2] و همکاران ، ۲۰۰۲ : ۱۹۵). هر چند پدیده مزبور موجب تکوین و تکامل دامنه‌ها در مناطق کوهستانی می‌شوند (روئرینگ[3] و همکاران ، ۶۵۵:۲۰۰۵). لیکن باعث آسیب و یا مرگ و میر انسانها و همچنین زیان‌های مالی قابل توجهی به نواحی کوهستانی ، زمین‌های زراعی و تاسیسات موجود در آن ناحیه مانند راههای ارتباطی و بخش‌های عمرانی می‌شوند (محمدنیا و همکاران ،۱۱۵:۱۳۹۷). در چنین وضعیتی همه ساله اثرات سوء زیادی را در مقیاس محلی و جهانی در ابعاد اقتصاد و انسانی را بر جای می‌گذارد (یالسین[4] و همکاران، ۲۷۵:۲۰۱۱). در بررسی و برآوردهای دفتر هماهنگی امور بشردوستانه سازمان ملل متحد (OCHA) مخاطرات طبیعی سالیانه بین ۳۰- ۵۰ میلیارد دلار ضرر و زیان مالی در سطح جهان وارد می‌کنند (ساندرس[5] و همکاران ، ۱۳۰:۲۰۱۰). زمین‌لغزش‌ها نتیجه‌ی تغییرات در شرایط طبیعی و عملکرد مخرب انسانها در طبیعت می‌باشد. (نجفی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱) ولی جزء مخاطراتی هستند که می‌توان آن‌ها را پیش‌بینی کرده و از زیانها و آسیب‌های جانی و خسارات مالی ناشی از آن عاقبت اندیشی نمود. برای این رسیدن به این هدف راهکارهای گوناگونی وجود دارد که از اهمّ آن پهنه‌بندی‌ها است. نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش می‌توانند وسیله در خور توجه و سودمندی برای برنامه‌ریزان و مدیران در راستای آگاهی و شناسایی پهنه‌های مناسب جهت پیشرفت و عمران منطقه در اختیار قرار دهند. منظور و هدف از پژوهش در زمینه زمین‌لغزش‌ها، پیدا کردن روش و طرقی مناسب برای به حداقل رساندن بحران‌ها و ضررهای ناشی از آنها می‌باشد و همین امر پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزشی را ضروری ساخته که نقش غیرقابل انکاری را در مدیریت حوضه‌های آبریز ایفا می‌کند (آیالیو[6] و همکاران ،16:۲۰۰۵) فلذا جهت کاهش بلایای ناشی از زمین‌لغزش حیاتی است (کلکسن[7] و همکاران،2016 :۵۴). در این زمینه: (مددی و همکاران، ۱۳۹۹)، به ارزیابی مقایسه‌ای تصمیم‌گیری چند معیار ماباک و کوادس در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان کوثر پرداختند. مطابق نتایج پژوهش، دقت روش ماباک در طبقه‌ی خوب و دقت روش کوداس در طبقه‌ی خیلی‌خوب قرارداشت. شریفی و همکاران(۱۴۰۰)، به الویت‌بندی عوامل تاثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در حوضه آبریز وهرگان پرداختند. نتایج نشان داد که استقرار راههای ارتباطی بر روی دامنه‌های با شیب‌تند و با مواد سست دامنه‌ای از اساسی‌ترین علل در وقوع زمین‌لغزش بوده است. (مددی و همکاران، ۱۴۰۲)، به بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه بالادست سد یامچی استان اردبیل با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره (MARCOS) و (CODAS) پرداختند. (یالسین،۲۰۰۸)، به ارزیابی نواحی زمین‌لغزش در ناحیه آردسن کشورترکیه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسه مراتبی و شاخص آماری و عامل وزنی پرداخت؛ و به این نتیجه رسید

1- Guzzetti et al
2- Bommer et al
3- Roering et al
4-Yalcin et al
5-Sanders et al
6-Ayalew et al
7-Colkesen et al

که روش(AHP)، بهتر از سایر روشهای مورد بررسی پراکنش زمین‌لغزش‌ها را نشان می‌دهد. (بیچری[1] و همکاران، ۲۰۱۹) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و (GIS) در منطقه ساحلی صفی کشور آفریقایی مغرب پرداختند. و با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، وزن‌دهی شدند. در ادامه منطقه مورد مطالعه در 4 کلاس طبقه‌بندی شد. (دیکشـــیت و همکاران[2]، ۲۰۲۰)، طی مطالعه‌ای به بررسی خطر زمین‌لغزش در منطقه فیونت شولینگ کشور آسیایی بوتان را با استفاده از مدل پژوهشی (WLC) پرداختند وکارآیی روش(WLC) ، با لحاظ حوادث زمین‌لغزش‌های سـالهای ۲۰۰۴ الی ۲۰۱۴ مورد تایید قرار گرفت. با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی در خصوص زمین‌لغزش در منطقه اُنارچای انجام نیافته بود. لذا هدف این تحقیق بررسی عوامل مختلف و تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز اُنارچای مشکین‌شهر و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل (MABAC) می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

این حوضه با مساحت ۱۲۲/۳۶ کیلومترمربع در استان اردبیل، در جنوب‌شرق شهرستان مشکین‌شهر(دورترین نقطه فیزیکی حوضه) و در شمال توده آتشفشانی سبلان قرارگرفته است. از نظر موقعیت جغرافیایی بین″ ۰۱ ′ ۵۰ °۴۷ تا ″ ۱۶ ′ ۵۵ °۴۷ طول شرقی و ″۳۸ ′ ۱۴ °۳۸ تا ″ ۰۶ ′ ۳۴ °۳۸ عرض شمالی واقع شده است (شکل۱). آب و هوای منطقه و با استفاده از طبقه‌بندی دومارتن از نوع نیمه خشک و با توجه به ضریب اقلیمی آمبرژه از نوع نیمه‌مرطوب سرد و در طبقه‌بندی ایوانوف از نوع استپی است (طاوسی و همکاران،۱۳۸۹:۵۱). مهمترین عامل محلی مؤثر در اقلیم حوضه ، ارتفاعات محلی می‌باشد. کاهش دما و به تبع آن افزایش مقدار بارش از اثرات توپوگرافی خاص منطقه بر سطح حوضه می‌باشد. با توجه به نوع اقلیم منطقه، میانگین بارش و درجه حرارت سالیانه به ترتیب ۳۳۰ میلیمتر و ۳ درجه سانتیگراد می‌باشد. زهکش اصلی این حوضه از جنوب به شمال جریان داشته و شاخه‌ای از شبکه‌ی زهکشی رودخانه قره سو از زیر شاخه‌های رود ارس محسوب می‌گردد. از نظر هیدرولوژی شکل حوضه بصورت کشیده و ناشی از ویژگی‌های توپوگرافی محل است . ضمن اینکه واحدهای زمین‌شناسی در منطقه غالبا از سازندهای آواری سست و دانه ریز مانند توف، لارهار و کنگلومرای مخروط افکنه‌ای (فنگلومرا) ، بیش از نیمی از حوضه بالاخص در جنوب ، جنوب‌شرق و جنوب‌غرب و مرکز تشکیل و گسترش داشته و بیشتر ناپایداری و زمین لغزش‌ها نیز در این جهات از حوضه دیده می‌شود.



شکل(۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure(1) : Geographical location of the study area

1-Dikshit et al

8-Bchari et al

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نظر ساختاری از نوع کاربردی است و روش پژوهش آن تحلیلی بر پایه تلفیق داده‌های سیستم‌اطلاعات جغرافیایی (GIS[1])و استفاده از فنون تحلیل چند معیاره ماباک (MABAC) می‌باشد. در این رابطه با استفاده از نظر کارشناسان امر در خصوص معیارهای مهم دخیل در وقوع زمین‌لغزش، دوازده لایه‌ی موضوعی شامل؛ « زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، لیتولوژی، فاصله ازگسل، پوشش‌گیاهی، شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، بارش، فاصله ازآبراهه، کاربری اراضی، فاصله ازجاده» بعنوان متغیرهای تأثیرگذار، بررسی شدند. نخست، لایه‌های اطلاعاتی معیارها، در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه و وزن دهی معیارها، با بهره‌گیر از روش‌کریتیک (CRITIC) انجام گردید. سپس مرحله استانداردسازی با توجه به تابع عضویت فازی (FUZZY) انجام شد(جدول ۱). نقشه‌های استاندارسازی شدند(شکل ۸) . علاوه براین داده های مورد نیاز از روی نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ ، نقشه های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ، تصاویر مدل رقومی ارتفاع(DEM) منطقه با قدرت تفکیک ۱۲/۵ در ۱۲/۵ متری دریافتی از سایت آلاسکا - داده‌های اقلیمی و سایر لایه‌های اطلاعاتی، مطالعات میدانی و نیز منابع کتابخانه‌ای حاصل شد. در ادامه توضیحات مختصری در رابطه با مدل‌های مورد استفاده ارائه شده است. در نهایت تحلیل و مدلسازی به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ماباک (MABAC) در بستر نرم افزارهای (GIS) و (EXCEL) انجام و نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش حوضه استخراج گردید.

جدول (۱): نوع توابع فازی‌ساز لایه های موضوعی تأثیرگذار بر خطر زمین لغزش حوضه آبریز اُنارچای

Table (1) Types of fuzzifying functions of thematic layers affecting landslide risk in the Onarchay watershed

متغییرها	ساز وکار	مشخصه تابع فازی
زمین‌شناسی	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین‌لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
خاک‌شناسی	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین‌لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
لیتولوژی	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین‌لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله ازگسل	در نواحی نزدیک گسل، وقوع زمین‌لغزش بالقوه افزایش پیدا می‌کند.	تابع نزدیک فازی
پوشش‌گیاهی	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین‌لغزش- آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
شیب	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین‌لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
جهت شیب	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین‌لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
طبقات‌ارتفاعی	با افزایش ارتفاع، خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
بارش	با افزایش مقدار بارش، خطر زمین‌لغزش افزایش می‌یابد	تابع خطی افزایشی
فاصله ازآبراهه	در نواحی نزدیکی آبراهه ها ، وقوع زمین‌لغزش بالقوه افزایش پیدا می‌کند.	تابع نزدیک فازی
کاربری‌اراضی	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین‌لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله ازجاده	در نقاط نزدیک به راهها ، وقوع زمین‌لغزش بالقوه افزایش پیدا می‌کند.	تابع خطی افزایشی

وزن‌دهی CRITIC (اهمیت معیارها، از راه همبستگی بین معیارها)

روش کریتیک (CRITIC) روش وزن‌دهی به معیارها می‌باشد که براساس همبستگی و انحراف معیار داده‌های ماتریس تصمیم است. این روش به صورت ترکیبی با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند ماباک بسیار هماهنگ است. در کریتیک، داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضادّ موجود بین عوامل یا معیارها مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند. در این روش، پس از محاسبهٔ انحراف معیار، معیارهای مورد بررسی، ماتریس متقارنی به ابعاد m×m ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل شده‌است. با تعیین پارامترهای بالا، تضادّ موجود بین معیار j با معیارهای دیگر از روی رابطهٔ یک محاسبه می‌شود.

1-Geographic Information System

$$Cjk = \sum_{k=1}^{m}(1 - rjk) \quad (۱)$$

در این رابطه Cjk نشان دهنده مجموع تضادّ معیار j با معیارهای k می‌باشد که از k = 1 شروع شده و به k = m ختم می‌شود. از طرفی rjk، همبستگی معیارهای k و j را نشان می‌دهد. با این حال می توان میزان اطّلاعات عامل j را با بهره‌گیری از رابطهٔ دو ، محاسبه نمود.

$$Cj = \delta j \sum_{k=1}^{m}(1 - rjk) \quad (۲)$$

با توجه به رابطه فوق Cj، معرف میزان اطّلاعات معیار j و انحراف معیار در مقادیر مرتبط با عامل یا معیار j می باشد. با توجّه به روابط یادشده بالا، معیارهایی که دارای Cj بالاتری باشند، وزن بیشتری به خود تخصیص خواهند داد. وزن هر عامل مانند j از رابطه سه بدست می‌آید. .

$$Wj = \frac{Cj}{\sum_{k=1}^{m} Ck} \quad (۳)$$

که در آن Wj نشان از وزن معیار j و Ck میزان اطّلاعات مجموع معیارهای k است که از k = 1 شروع و تا k = m ادامه می‌یابد. بنابراین، برآیند وزن نهایی معیارها ، از تقسیم میزان اطلاعات هر معیار بر مجموع میزان تمامی اطلاعات معیارها حاصل می‌شود (دیاکولاکی، ۱۹۹۵: ۲۱).

بنابراین به منظور وزن دهی به معیارها مطرح در این پژوهش صرفا ازماتریس تصمیم متشکله و بدون نیاز به داده‌های جدید و طی روند اجرایی در نرم افزار اکسل انجام گردید. با توجه به میزان اطلاعات، مجموعه تضادها و انحراف معیارها حاصل از این روش وزن نهایی هر یک از معیارها جهت استفاده در مدل ماباک حاصل گردید. (جدول۲).

جدول (۲) : نتایج حاصل از اطلاعات و وزن نهایی معیارها با استفاده از روش‌کریتیک

Table (2): Results of the information and final weight of the criteria using the CRITIC method

معیار	شیب	جهت شیب	طبقات *ارتفاعی*	بارش	فاصله از رودخانه	کاربری اراضی	فاصله از راهها	پوشش گیاهی	لیتولوژی	خاک	فاصله از گسل	زمین شناسی
میزان اطلاعات	۵/۸۰۴	۱/۵۴۶	۳/۴۳۳	۱/۷۶۳	۱/۶۵۵	۵/۲۸۸	۴/۱۵۵	۱/۶۹۹	۵/۱۳۴	۱/۵۸۲	۱/۵۱۸	۳/۶۹۶
مجموعه تضاد	۱۱/۱۱۰	۶/۳۵۳	۷/۶۵۴	۶/۳۸۶	۶/۷۷۷	۱۰/۷۴۰	۱۱/۹۱۰	۶/۵۸۰	۹/۹۷۱	۶/۳۰۹	۶/۶۳۱	۸/۲۲۵
انحراف معیار	۰/۵۲۲	۰/۲۴۳	۰/۴۴۹	۰/۲۷۶	۰/۲۴۴	۰/۴۹۲	۰/۳۴۹	۰/۲۵۸	۰/۵۱۵	۰/۲۵۱	۰/۲۲۹	۰/۴۵۰
وزن نهایی	۰/۱۵۶	۰/۰۴۱	۰/۰۹۲	۰/۰۴۷	۰/۰۴۴	۰/۱۴۲	۰/۱۱۱	۰/۰۴۶	۰/۱۳۸	۰/۰۴۲	۰/۰۴۱	۰/۰۹۹

مدل ماباک(MABAC)

روند اجرایی روش(MABAC) متشکل از ۷ مرحله یا گام به شرح آتی است : مرحله اول: انتخاب معیارها و گزینه‌ها: شامل ۱۲معیار – گزینه: "زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، لیتولوژی، فاصله‌ازگسل، پوشش‌گیاهی، شیب، جهت شیب، طبقات‌ارتفاعی، بارش، فاصله ازآبراهه، کاربری‌اراضی، فاصله ازجاده) می‌باشد. مرحله دوم: تشکیل ماتریس تصمیم و فرم‌دهی به ماتریس اتخاذ تصمیم شاخص گزینه: ماتریس تصمیم در این حالت به شکل معیار-گزینه می‌باشد. به تعبیری ماتریسی که ستون‌های آن را معیارهای مسئله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول نیز اصولا امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار می باشد (رابطه سه).

$$X = \begin{bmatrix} x_{1\,1} & x_{1\,2} & \cdots & x_{1\,n} \\ x_{2\,1} & x_{2\,2} & \cdots & x_{2\,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m\,1} & x_{m\,2} & & x_{m\,n} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

مرحله سوم: نرمال سازی ماتریس تصمیم: در این پژوهش ارزش‌گذاری و نرمال‌سازی با بهره‌گیری از تابع عضویت فازی صورت می‌گیرد. درایه‌های ماتریس تصمیم با xij و درایه‌های ماتریس تصمیم نرمال با nij نمایش داده می‌شوند .

$$N = \begin{bmatrix} n_{1\,1} & n_{1\,2} & \dots & n_{1\,n} \\ n_{2\,1} & n_{2\,2} & \dots & n_{2\,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ n_{m\,1} & n_{m\,2} & & n_{m\,n} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

مرحله چهارم : محاسبه ماتریس تصمیم موزون:

در این مرحله با بهره‌گیری از رابطه شش، ماتریس نرمال را وزن‌دار می‌کنیم.

(به روشCRITIC) بطوریکه nij عنصرهای ماتریس نرمال شده (N) و wi ضرایب وزنی معیار را مشخص می‌نماید.

$$V_{ij} = W_j * (nij + 1) \quad (۶)$$

مرحله پنجم : تعیین و مشخص کردن مرز ناحیه شباهت ماتریس (g): در رابطه هفت، vij عناصر ماتریس وزنی (V) و m تعداد کل گزینه‌های جایگزین را نشان می‌دهد. پس از محاسبه مقدار gi ماتریس محدوده‌های تقریبی مرزی با توجه به معیارهای G با فرمت N*1 شکل می‌گیرد و n تعداد کل معیارهایی را که گزینه‌های ارائه شده برای آنها انتخاب می‌شود را نشان می‌دهد.

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^{m} v_{ij}\right)^{1/m} \quad (۷)$$

بنابراین اگر n معیار داشته باشید یک ماتریس G1×n به صورت زیر خواهیم داشت (رابطه هشت):

$$G = [g1.g2.\dots.gn] \quad (۸)$$

مرحله ششم: محاسبه فاصله گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت: در این بخش با استفاده از رابطه نه ، فاصله گزینه‌ها را تا ناحیه g بدست می‌آید. در واقع باید ماتریس وزن دار را از ماتریس g کم کرد.

$$Q = V - G \quad (۹)$$

بدنبال تعیین ماتریس Q، می‌توان با بهره گیری از حد بالایی مساحت (G+) و حد پایین مساحت (G-) کیفیت هرگزینه را معین نمود. بر این مبنا گزینه Ai وابسته به اجتماع مجموعه مورد اشاره می باشد. حد بالای مساحت (G+) ناحیه‌ای است که گزینه ایده آل مثبت در آن قرار دارد و حد پایین مساحت (G-) ناحیه‌ای است که گزینه ضد ایده‌آل در آن قرار دارد. میزان وابستگی گزینه Ai به اجتماع بالا بر مبنای رابطه ۱۰، حاصل می‌شود. جهت تعیین گزینه Ai به عنوان مطلوب ترین شکل از مجموعه، ضروری است که بیشترین معیارهای ممکن متعلق به منطقه تقریبی بالایی(G+) باشد. میزان بالاترqiϵG+ مبین این است که گزینه جایگزین به گزینه جایگزین ایده آل نزدیک‌تر است، در حالی که مقدار پایین‌تر qiϵG نشان می‌دهد که گزینه جایگزین، به گزینه جایگزین ضد ایده آل نزدیک‌تر است.

$$A_i \in \begin{cases} G^+ & \text{if } q_{ij} > 0 \\ G^- & \text{if } q_{ij} = 0 \\ G^- & \text{if } q_{ij} < 0 \end{cases} \quad (10)$$

مرحله هفتم: انتخاب گزینه نهایی: در روش ماباک (MABAC)، با استفاده از رابطه یازده ، امتیاز نهایی هر گزینه با توجه به معیارها را تعیین نموده و بر مبنای آن گزینه‌ها رتبه‌بندی یا به اصطلاح درجه بندی می‌شوند.

$$S_i = \Sigma(qij); i = 1.2\dots.n; j = 1.2.\dots m \quad (۱۱)$$

ارزیابی و محاسبه کمیت های توابع معیار، از طریق گزینه‌ها به عنوان مجموع فاصله‌های جایگزین از مناطق تقریبی مرزی qi حاصل می‌شود. با تجمیع عنصرهای ماتریس Q در هر سطر، مقدار نهایی تابع معیار گزینه‌ها بدست می‌آید. در این خصوص رابطه n تعداد معیارها را نشان می‌دهد و m تعداد گزینه است(پاموچار[1] و همکاران،۲۰۱۵).

1- Pacumar et al

یافته‌های تحقیق

در پژوهش حاضر جهت تهیه نقشه خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه اُنارچای، با استفاده از مدل ماباک و در محیط نرم افزاری ArcMap از تعداد ۱۲ متغیر به شرح ذیل استفاده شد.

شیب عمومی محدوده مورد مطالعه، بین ۰ تا ۵۷ درصد می‌باشد (شکل۲، الف). این محدوده با داشتن متوسط شیب ۲۸درصد، جهت وقوع لغزش مستعد است. ۲۹/۴۵ کیلومترمربع از مساحت محدوده دارای شیب ۵-۰ درصد می‌باشد. طبقات شیب ۱۰-۵ و ۲۰-۱۰، به ترتیب ۲۲/۴۴ و ۳۹/۵۶ کیلومترمربع از سطح محدوده را شامل می‌شوند. همچنین به ترتیب ۱۹/۰۹ ، ۵/۴۸ و۶/۳۴ کیلومترمربع از سطح محدوده، در طبقات شیب ۳۰-۲۰، ۴۰-۳۰ و ۵۶-۴۰ قرار گرفته است. مناطق بسیار پرخطر جهت لغزش در این منطقه بدلیل نوع مواد تشکیل دهنده دامنه که غالباً بصورت منفصل و سست بوده و با جذب آب و دخالت سایر عوامل موثر باعث زیاد شدن تنش‌ها به تبع آن گسیختگی و حرکت دامنه در شیب‌های بین ۱۵ تا ۳۵ درصد قراردارد. درجهات شیب و با توجه به محاسبات بعمل آمده ۴/۶۷کیلومتر مربع از مساحت محدوده در جهت شیب جنوب، ۳/۷۵ کیلومترمربع در جهت جنوب‌شرقی و ۹/۲۹ کیلومتر مربع در جهت جنوب‌غربی قرار گرفته است. همچنین به ترتیب ۳۴/۸۱، ۱۶/۲۷ و ۱۴/۷۱ کیلومترمربع ازمساحت محدوده را جهات شمال، شمالغرب و شمالشرق پوشش می‌دهد. به علاوه، ۷/۰۱ کیلومترمربع از مساحت محدوده دارای جهت شیب شرقی می‌باشد و جهت غربی، ۱۳/۸۵ کیلومتر مربع؛ درضمن ۱۸ کیلومتر مربع از منطقه مورد مطالعه دربخش سفلی حوضه (شمالی) را زمین‌های پست تشکیل می‌دهد(شکل۲، ب). از نظرعامل جهت شیب، نقاط بسیارپرخطر و پر خطر در منطقه مورد بررسی، در دامنه های جنوب، جنوبغربی وجنوبشرقی گسترش دارند. این جهات دامنه ها به دلیل تحت تاثیر قرار گرفتن نسبت به هر یک از عوامل، تابش خورشید، بادهای غالب منطقه دریافت بارش زیاد، ماندگاری بلند مدت برف و داشتن رطوبت بیشتر که متغیر های اساسی جهت لغزش در منطقه هستند؛ نسبت به سایر جهات از پتانسیل بیشتری برخوردارند. از این حیث جهت شیب تاثیر قابل قبولی در لغزش منطقه داشته اند.

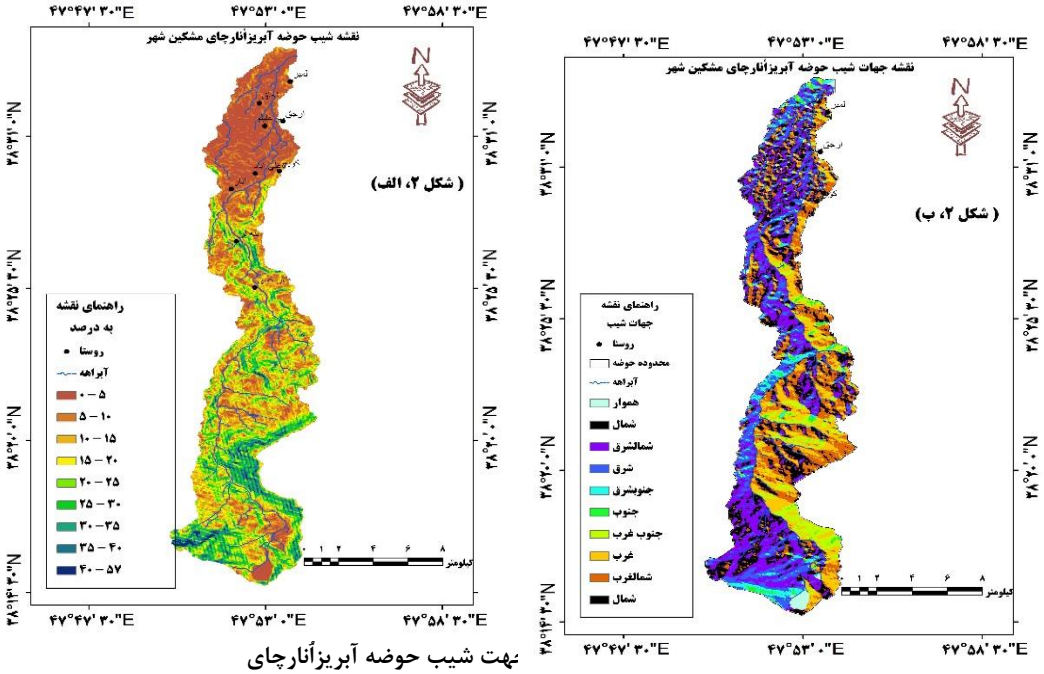
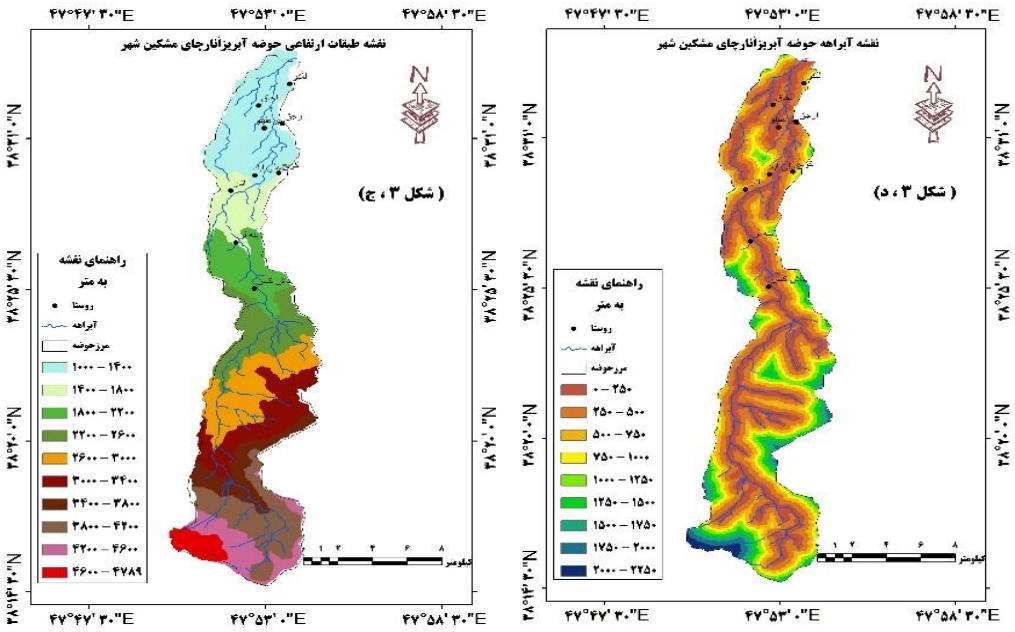


Figure (2): Map of slope criteria and Aspect of the Unarchay watershed

طبقات‌ارتفاعی محدوده مورد مطالعه، به ۱۰ طبقه از ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر تا ۴۷۸۹-۴۶۰۰ طبقه‌بندی شد (شکل۳،ج). با توجه به نقشه طبقات ارتفاعی محدوده مشخص شد که ۲۴/۱۵ کیلومترمربع از مساحت محدوده در طبقه‌ارتفاعی ۱۴۰۰-۹۹۹ متر قرار دارد. طبقات

ارتفاعی ۱۸۰۰۰- ۱۴۰۰ ،۲۲۰۰-۱۸۰۰ ،۲۶۰۰-۲۲۰۰ متر به ترتیب ۹/۶۴ ، ۱۱/۵۶، ۱۳/۳۴ کیلومترمربع از مساحت محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌دهند. علاوه براین به ترتیب؛ ۱۴/۸۰ و ۹۵/ ۱۲ و ۸/۳۸ و ۱۴/۱۶ و ۹/۸۹ و ۳/۴۹ کیلومترمربع،از مساحت حوضه در طبقات ارتفاعی ۳۰۰۰-۲۶۰۰ و ۳۴۰۰-۳۰۰۰ و ۳۸۰۰-۳۴۰۰ و ۴۲۰۰- ۳۸۰۰ و ۴۶۰۰-۴۲۰۰ و ۴۷۸۹-۴۶۰۰ قرار گرفته است. بدین ترتیب متوسط ارتفاع محدوده ۲۸۸۹ متر از سطح آزاد دریاها می‌باشد. اختلاف ارتفاع نسبی نزدیک به ۴۰۰۰ متر (۳۷۸۰) منجر به بوجود آمدن تنوع محیطی و همچنین انرژی دینامیکی بالا (در جهت زمین‌لغزش)در سطوح محدوده مطالعاتی شده است. نتایج حاصله از لایه های اطلاعاتی و در نهایت نقشهٔ خطر زمین‌لغزش‌حوضه نشان می‌دهد؛که ارتفاعات بالای ۲۵۰۰ متر بیشترین لغزش را به خود اختصاص داده‌اند. دلیل این موضوع ناپایداری دامنه‌ها در برابر مولفه‌های آب و هوایی و محیطی است. همچنین با بررسی و تطبیق لایهٔ زمین‌لغزش با زمین‌شناسی و نوع سنگ مشاهده شد که بیشتر زمین لغزش‌ها در مناطقی رخ داده است که جنس سنگ‌ها بیشتر سست و ریز دانه مانند پامیس و خاکسترهای آتشفشانی بوده اند. به سبب زهکشی آب در دامنه‌های پرشیب، سواحل آبراهه‌ها بطور معمول استعداد بالایی در وقوع زمین لغزش دارند و می‌توانند با زیرشویی و با از بین بردن تکیه گاه دامنه‌ها منجر به فرسایش و گسترش زمین‌لغزش‌ها موثر باشند. (لی[1]،۲۰۰۵: ۸۵۰). رودخانه‌های حوضه مورد مطالعه به شکل شاخه‌درختی بوده و به تبعیت از جوان بودن زمین‌شناسی منطقه به غیر از بخش جلگه‌ای و هموار شمالی آن که به حالت ذوزنقه‌ای به خود گرفته غالب دامنه‌ها تحول نیافته و بصورت V شکل و با شیب تند جریان دارند. مورفولوژی دامنه‌های محدوده بسیار نامنظم و معمولا فرآیند فرسایش دامنه‌ای در آن شدید است. از این رو، شکل پروفیل عرضی آن‌ها دایما در حال تغییر می‌باشند. برابر بررسی‌های صورت گرفته متوسط شیب آبراهه‌ها حوضه نزدیک به ۱۰ درصد می‌باشد. زمین‌لغزشها زمانی اتفاق می‌افتند که بر اثر بارش رگباری و ذوب سریع برف جریان آب رودخانه‌ها شدید و با زیر شویی دامنه‌ها منجر به زمین‌لغزش‌های گردیده است. در این مطالعه فاصله از آبراهه در حوضه مزبور بین صفر تا ۲۲۵۰متر در نظر گرفته شده است. بسیاری از زمین لغزش‌ها در حوضه مورد مطالعه با میانگین ۵۰ متری از بستر اصلی رودخانه‌ها اتفاق افتاده است(شکل۳،د).

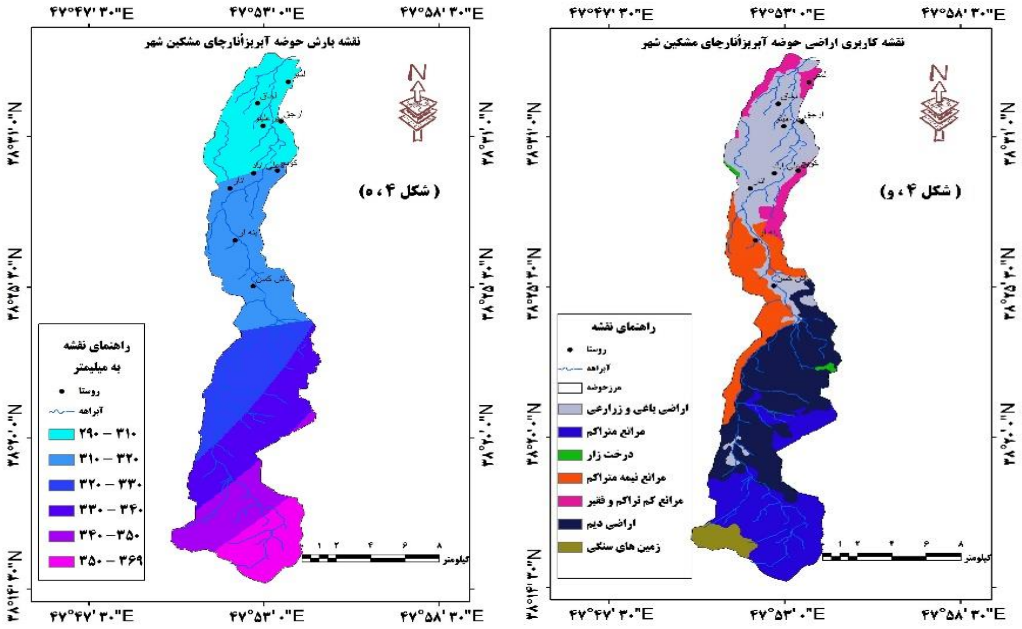


شکل (۳): نقشه معیارهای رودخانه و طبقات ارتفاعی حوضه آبریزاُنارچای

Figure (3): Map of river parameters and elevation classes of the Unarchay watershed

1-Lee-

بارش یکی از عوامل بسیار مهم در ایجاد و یا تسریع زمین لغزش‌ها می‌باشد. منحنی‌های هم بارش سالانه بر اساس آمار ۲۰ ساله (۱۳۸۴-۱۳۶۵)۱۰ایستگاه باران‌سنجی انگوت، رضی، زهرا، مشیران، ساولان، نیر، مشکین‌شهر، موییل، مرادلو،لای تهیه شد. میانگین بارش سالیانه در حوضه مطالعاتی(بین ۲۹۷ تا ۳۶۵) میلیمتربر آورد گردید(شکل۴،ه). ماههای فروردین و اردیبهشت بیشترین بارندگی در حوضه را دارد و کمترین بارندگی در تابستان، مردادماه اتفاق می‌افتد. همچنین مناطق با بارش زیاد غالبا در نواحی مرتفع کوهستانی منطقه اتفاق و مناطق با بارش کم، در نواحی کم‌ارتفاع حوضه قرار دارند. بر اساس آمار ایستگاههای بارانسجی منطقه و در نرم افزار GIS بارش حوضه به ۶ کلاس طبقه بندی شد. با توجه به بررسی حاصله مناطق لغزشی با طبقه بسیار زیاد در طبقه بارشی بین ۳۴۰ - ۳۶۹ رخ داده است و ارتباط معنا داری بین ارتفاع، استمرار و میزان بارش در زمین‌لغزش منطقه وجود داشت. در حوضه مورد مطالعه از لحاظ کاربری‌اراضی ، اراضی باغی و زراعی با مساحت ۳۰.۳۴ کیلومترمربع، مراتع با پوشش متراکم با ۲۹.۰۲ کیلومترمربع، درخت‌زار با ۰،۵۹۰کیلومترمربع(۵۹هکتار)، مراتع با پوشش نیمه متراکم با ۱۵.۸۵ کیلومترمربع ، مراتع با پوشش‌کم‌تراکم و فقیر با ۶.۵۴ کیلومترمربع(۶۵۴ هکتار)،اراضی دیم با ۳۵.۴۸ کیلومترمربع و زمین های با پوشش‌سنگی با۴.۵۴ کیلومترمربع (۴۵۴ هکتار) را تشکیل داده‌اند(شکل ۴،و).

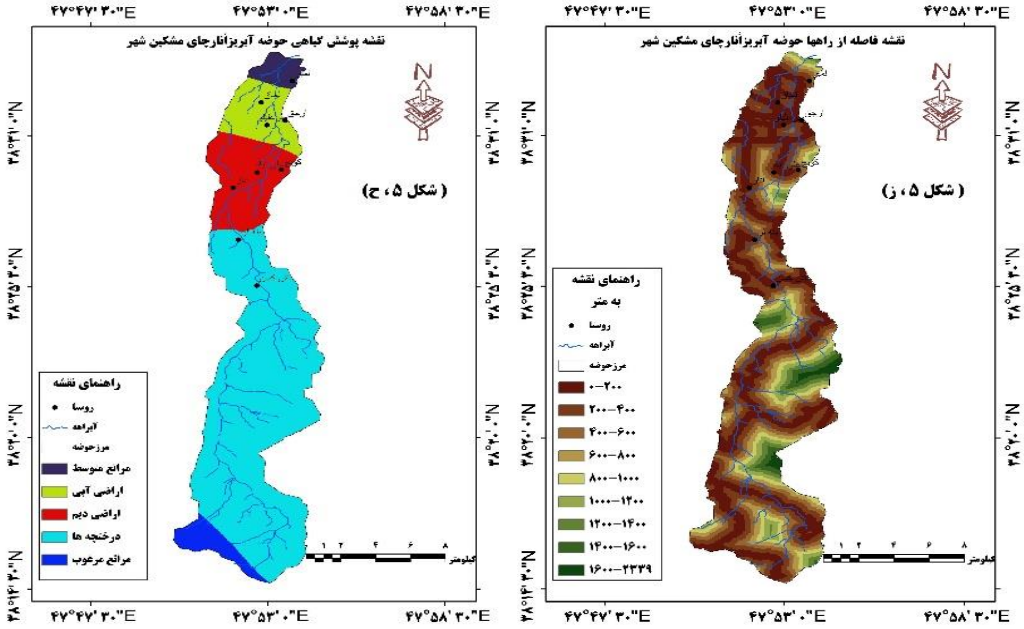


شکل (۴): نقشه معیارهای کاربری اراضی و بارش حوضه آبریزانارچای

Figure (4): Map of land use and rainfall criteria of the Unarchay watershed

از این لحاظ کاربری‌زراعی و مراتع بیشترین سطح از مساحت مناطق دارای احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد را به خود اختصاص داده است. عدم رعایت اصول کشت و زرع بویژه شخم زدن دامنه‌ها در راستای شیب ، چرای بیش از حد ظرفیت مراتع بواسطه دام‌های عشایر در مراتع با فقر پوشش‌گیاهی به تسریع وقوع زمین‌لغزش منجر شده است. لذا با تاثیر و دخالت سایر عوامل من‌جمله بارندگی، نوع‌خاک، شیب و عدم رعایت اصول فنی در نحوه شخم زدن (شخم به موازات شیب دامنه) منجر به فرسایش‌خاک و زمین‌لغزش شده است. علاوه براین ساخت و سازهای متنوع و مختلف عمرانی یا سایر اقدامات از قبیل قطع پوشش‌گیاهی، استخراج معدن (دربرخی نقاط حوضه) و ایجاد لرزه ناشی از آن مزید بر علت تغییر رفتار دامنه‌ها و زمین‌لغزش در منطقه گردیده است. جاده‌سازی در این حوضه بدلیل شیب زیاد زمین سبب از بین رفتن تکیه‌گاه دامنه و به دنبال آن اختلال در پای شیب و بی ثباتی شده و موجب لغزش‌هایی گریده است. در محدوده مطالعاتی به غیر از جاده فرعی لاهرود به شابیل کلیه راه‌های این منطقه را جاده روستایی کم عرض آسفالته و یا راههای ییلاقی خاکی

عشایری تشکیل می‌دهند. با توجه به نقشه خروجی (شکل۵،ز)، فاصله از جاده در حد فاصل صفر تا ۲۳۳۹ متر می‌باشند. بدلیل لیتولوژی خاص و شیب زیاد زمین، در مقاطعی از دامنه‌های در مجاور راهها این منطقه دچار لغزش شده‌اند. از جنبه میزان تراکم و نیز نوع پوشش‌گیاهی منطقه از مجموعه ۱۲۲/۳۶ کیلومتر مربع حوضه ۵۷/۱۵ درصد را مراتع متوسط کوهستانی پوشش داده است. علاوه براین ۱۰/۳۵، ۱۰ ، ۷/۵۰ و ۱۵ درصد از حوضه آبریز مورد اشاره به ترتیب تحت پوشش زمین های کشاورزی آبی ، اراضی دیم، درخت زارها شامل درختان اُرس و بلوط و مراتع مرغوب و استپی با پراکندگی انواع گون‌ها می‌باشند (شکل۵،ح). با توجه به بررسی میدانی و نقشه نهایی حاصله غالب زمین لغزش‌های منطقه بدلیل زراعت دیمی و اقدامات کشاوزی از جمله شخم زدن و یا بهر برداری غیر اصولی و چرای دام توسط عشایر دراراضی دیم و مراتع با پوشش کم تراکم و ضعیف رخ داده است.

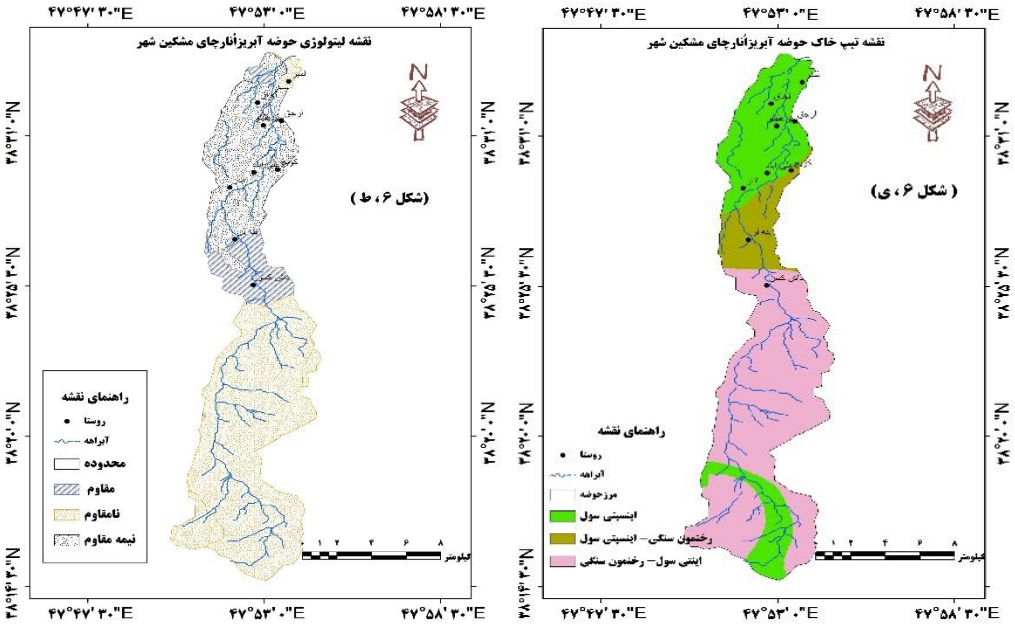


شکل (۵): نقشه معیارهای پوشش گیاهی و فاصله از جاده حوضه آبریزاُنارچای

Figure (5): Map of vegetation cover criteria and distance from the road of the Unarchay watershed

در رابطه با لیتولوژی می‌توان گفت طبقات بسیار پرخطر و پرخطر، به طور عمده در سازندهایی با مقاومت بسیارکم، کم، متوسط قرار دارند. حوضه آبریز اُنارچای به دلیل آتشفشانی بودن منطقه (توف، پامیس، خاکستر آتشفشانی، کنکلومراها و ...) از لیتولوژی سست و نامقاومی برخودار است. از لحاظ مقاومت سازندهای محدوده به ۳ طبقه، نامقاوم، نیمه مقاوم و مقاوم تقسیم گردیده است (شکل۶،ط). به ترتیب ۷۵/۶۸کیلومتر مربع نامقاوم، ۳۳/۸۷ کیلومترمربع نیمه مقاوم و ۱۲/۸۱کیلومترمربع نیز با سازندهای مقاوم پوشانده است. بنابراین ۱۰۹/۵۵ کیلومترمربع (تقریبا ۹۰ درصد) از مساحت حوضه را سازندهایی با لیتولوژی نامقاوم و نیمه مقاوم تشکیل داده‌است. بدین سبب برای لغزش و سایر حرکات دامنه‌ای مساعد می‌باشد. با توجه به خروجی نقشه نهایی مناطق با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد زمین لغزش در این کلاس‌ها قرار دارند. خاک منطقه مورد مطالعه در دو رده خاک اینسپی‌سول و اینتی‌سول می‌باشند (شکل۶،ی). خاک اینسپی سول جوان بوده و صرفا یک افق در پروفیل خود دارد. این نوع خاک ریزدانه و لومی ماسه‌ای است و رطوبت را به خوبی نگه می‌دارد و در آن کانی‌های هوازده دیده می‌شود. در رده خاک اینتی‌سول نیز باید گفت که این نوع خاک ها متشکل ازچهار زیر رده اکوانت (به رنگ خاکستری تیره غالبا اشباع از آب)، فلوونت (جوان – قهوه ای- رسی)، اورتنت (کم عمق و جوان) و سامنت (ماسه ای) رده خاک انتی‌سول نیز مانند رده اینتی‌سول مربوط به عهد حاضر و جوان می‌باشند. خاکهای اینتی‌سول فاقد تکامل افق‌ها است و یا بسیارکم است و نشانه‌ای از تکامل افق‌ها در پیدایش درآن دیده نمی شود (رامشت،۱۶۲:۱۳۷۲). برابر بررسی‌ها ۶۰ درصد خاک منطقه از نوع

اینتی‌سول تشکیل یافته است. با توجه به خروجی نقشه نهایی زمین لغزش‌های با کلاس بسیار پرخطر منطبق با همین رده خاک است. به همین دلیل برای وقوع زمین لغزش حساس می‌باشد.

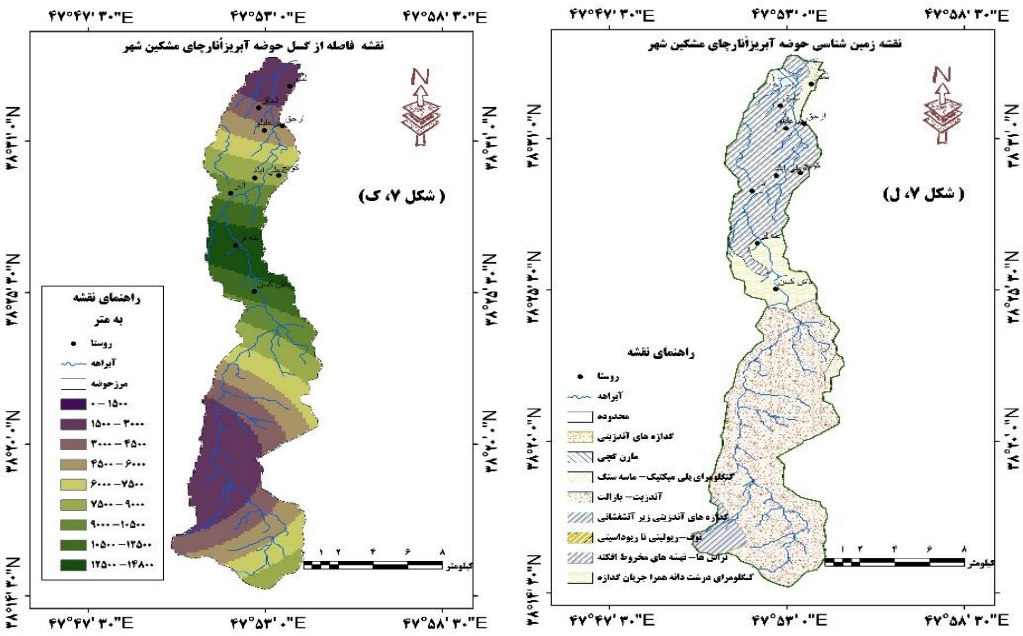


شکل (۶): نقشه معیارهای خاک و لیتولوژی حوضه آبریزاُنارچای

Figure (6): Map of soil and lithology criteria of the Unarchay watershed

مناطقی که به گسل نزدیک هستند نسبت به مناطق دیگر از استعداد زمین‌لغزش بیشتری برخوردارند. تأثیر گسل‌ها به صورت خردشدگی سنگهای اطراف، ایجاد درزها و خلل و فُرَج و به تبع آن نفوذ بیشتر آب در درون توده‌های خردشده و با کاهش مقاومت برشی دامنه، زمین‌لغزش را افزایش یا تسهیل می نماید. لذا در این مطالعه از این معیار نیز بعنوان عامل دخیل در وقوع زمین‌لغزش استفاده گردید. در این زمینه از نقشه زمین‌شناسی منطقه استفاده شده و گسل منطقه نیز استخراج شد. همچنین فاصله از این عوارض نیز با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، محاسبه شد (شکل۷،ک). مهمترین گسل درحوضه اُنارچای ، گسل‌های دامنه‌های شمال سبلان می‌باشند. از نظر تراکم، بیشتر گسل‌ها در حوالی هرم داغ و در حوضه خیاوچای قرار گرفته‌اند. در منطقه به ترتیب نزدیکترین و دورترین فاصله از گسل صفر تا ۱۴۰۰۰ متر می باشد. مناطق پرخطر معرفی شده حاصل از مطالعه حاضر، به طور عمده در فاصله صفر تا ۳۵۰۰متری از گسل قرار دارند. نوع سنگ‌ها و خصوصیات فیزیکی آن به همراه شیب درشدت و حدّت زمین‌لغزش موثر می‌باشد(خان[1]و همکاران،۱۳:۲۰۱۹). بدین منظور در تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور، استفاده شده است. سپس در نرم‌افزار Arc GIS، تمامی واحدهای مختلف سنگ شناسی منطقه که از نوع آتش فشانی (قریب ۷۰ درصد) و رسوبی گسترده شده است ترسیم گردید. زمین‌شناسی حوضه مورد مطالعه را سازندهای دوران سنوزوئیک تشکیل داده‌اند. در این حوضه بر مبنای ساختار و سن زمین شناسی در ۸ واحد سنگی طبقه‌بندی شد (شکل۷،ل).الف) واحدEav، گدازه‌های‌آندزیتی.ب) واحد، Qfl1، نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای و تراس‌های آبرفتی ج) واحدQvc ، کنگلومراهای درشت‌دانه متشکل از مواد آتشفشانی آواری به صورت محلی همراه با جریانهای گدازه لاهاری. د) واحد Plc،کنگلومرا پلی‌میکتیک و ماسه‌سنگ . ه) واحد Murmg ، مارن گچی. و)واحد، Qdt، توف ریولیتی تا ریوداسیتی. ز)واحد، Qabv ،گدازه‌های آندزیتی و بازالتی. ح)واحد،Qasv،گدازه‌های آندزیتی زیرآتشفشانی. با توجه به خروجی نقشه نهایی زمین لغزش‌های با کلاس بسیار پرخطر در واحدهای Qabv و***Qfl1*** رخ داده است.

1-Khan et al



شکل (۷): نقشه معیارهای گسل و زمین شناسی حوضه آبریزاُنارچای

Figure (7): Map of fault and geological criteria of the Unarchay watershed

رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

با توجه به اوزان هر یک از معیارهای بدست آمده از روش کریتیک (جدول۲) و همچنین امتیازات حاصله ازخروجی روش ماباک (جدول۳) از بین عوامل مختلف تاثیرگذار در زمین‌لغزش حوضه آبریز اُنارچای‌مشکین‌شهر، عوامل شیب،کاربری‌اراضی، لیتولوژی و زمین‌شناسی با کسب امتیاز بیشتری در رتبه‌های اول تا چهارم قرار گرفتند. علاوه بر این طبقات ارتفاعی ، پوشش‌گیاهی، نوع‌خاک، بارش، فاصله از راهها، فاصله از رودخانه، جهت شیب و فاصله از گسل به ترتیب امتیاز ، رتبه‌های بین ۵ تا ۱۲ را به خود اختصاص دادند.

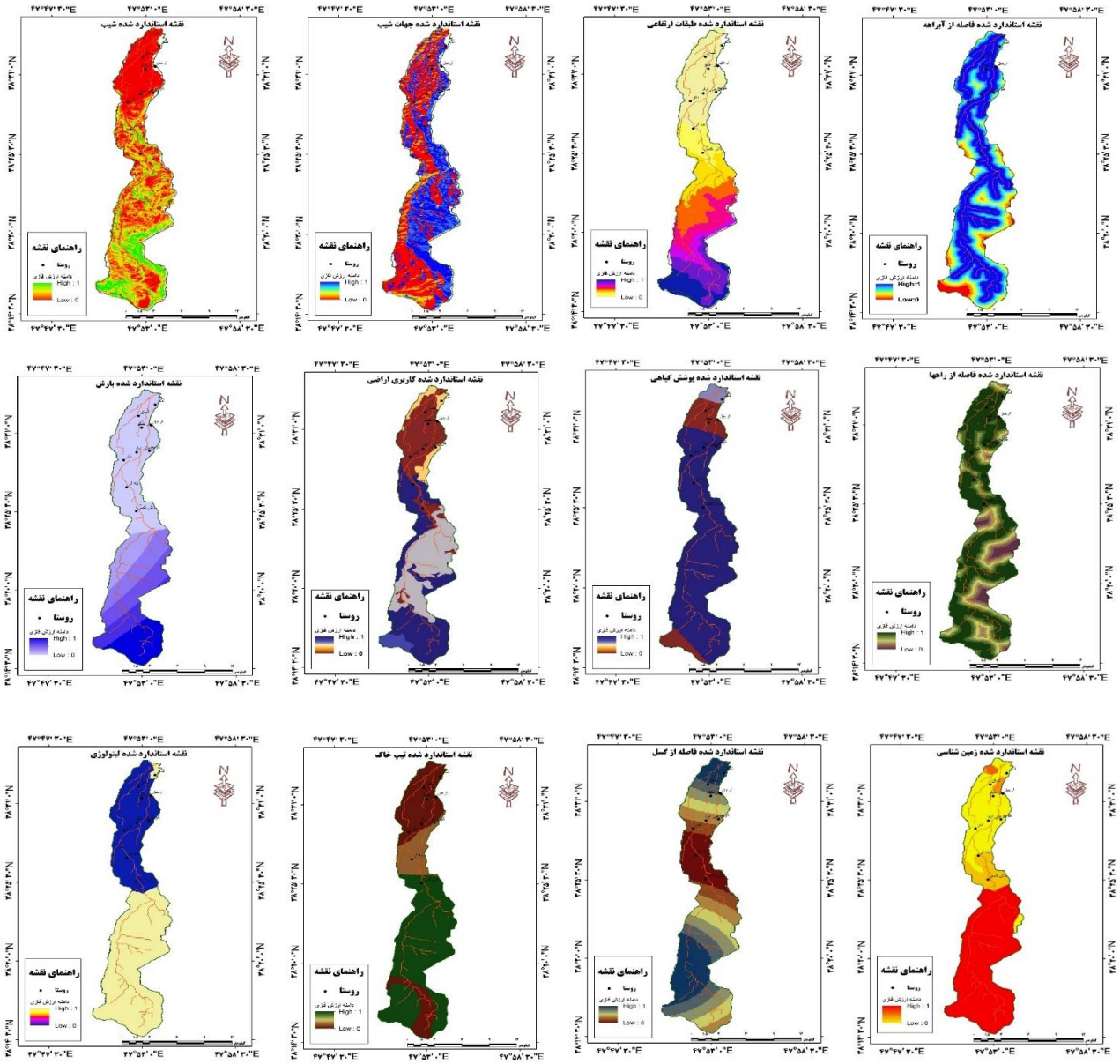
جدول (۳) : رتبه‌ی گزینه های نهایی به روش ماباک

Table (3): Ranking of final options using the Mabac method

گزینه	امتیاز	وزن	رتبه
شیب	۰/۳۵۷۵۹	۰/۶۸۴۶۵۴	۱
جهات شیب	-۰/۱۸۴۰۴	-۰/۳۵۲۳۷	۱۱
طبقات ارتفاعی	۰/۱۹۵۳۹۶	۰/۳۷۴۱۱۱	۵
بارش	-۰/۰۰۵۰۷	-۰/۰۰۹۷	۸
فاصله از رودخانه	-۰/۰۸۳۰۹	-۰/۱۵۹۰۸	۱۰
کاربری اراضی	۰/۲۷۴۰۶۷	۰/۵۲۴۷۳۸	۲
فاصله از راهها	-۰/۰۱۵۸۱	-۰/۰۳۰۲۶	۹
پوشش گیاهی	۰/۰۴۵۹۰۴	۰/۰۸۷۸۸۹	۶
لیتولوژی	۰/۲۴۵۳۸	۰/۴۶۹۸۱۳	۳
تیپ خاک	۰/۰۲۰۶۵۴	۰/۰۳۹۵۴۵	۷
فاصله از گسل	-۰/۵۳۷۲۹	-۱/۰۲۸۷۱	۱۲
زمین شناسی	۰/۲۰۸۵۸۸	۰/۳۹۹۳۷	۴
جمع	۰/۵۲۲۲۹۴	۱	

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

پس از تهیه‌ی نقشه‌های استاندارد شده (شکل 8) در رابطه با هر یک از معیارهای مطرح در نقشه‌ی پهنه بندی زمین‌لغزش در حوضه اُنارچای و اعمال کردن وزن‌های مربوطه جدول(۲) ، نقشه‌های حاصله وارد تکنیک‌های مورد بررسی شده و با اعمال مراحل مختلف بر روی نقشه‌های خروجی نهایی در ۵ طبقه‌ی بسیار پرخطر، پرخطر، با خطر متوسط، باخطر کم و خیلی کم خطر، بدست آمد(شکل ۹).

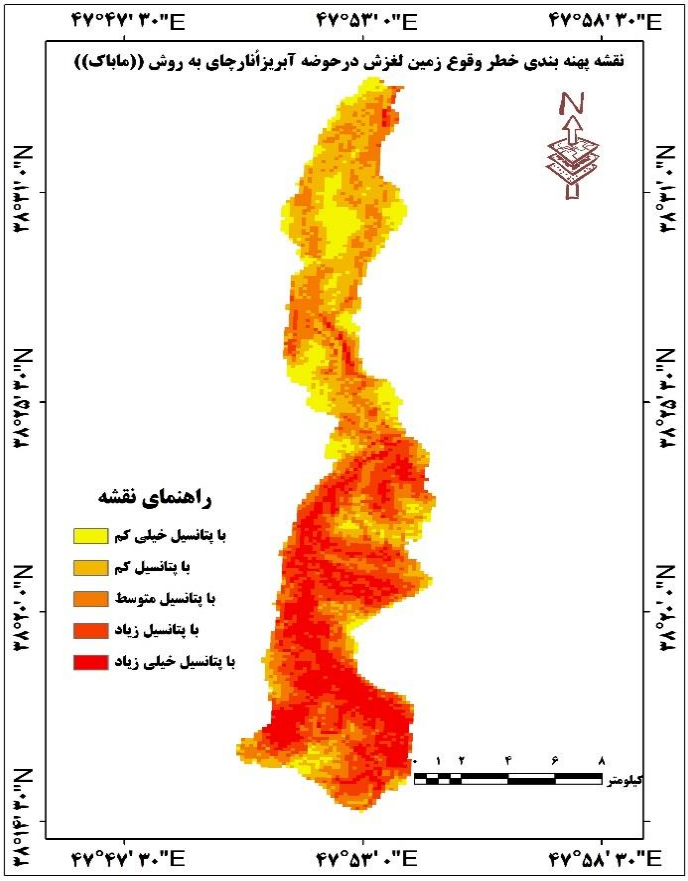


شکل (۸): نقشه‌های استاندارد شده معیارهای مطرح در پهنه‌بندی زمین‌لغزش حوضه اُنارچای

Figure (8): Standardized map of criteria used in landslide zoning of the Onarchay basin

ترکیب لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه نهایی

پس از وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، وزن بدست آمده بر روی لایه‌ها اعمال شد . در نهایت با استفاده از عملگر گامای فازی، لایه‌ها با هم ترکیب شده و بدین صورت نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز اُنارچای مشکین‌شهر در پنج‌کلاس با پتانسیل های، خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد درGIS تهیه گردید (شکل۸).



شکل (9): نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه مورد مطالعه به روش ماباک

Figure (9): Landslide hazard zoning map of the studied basin using the Mabac method

بر اساس نتایج حاصله، بخش‌های جنوب، جنوب غربی وجنوب شرقی منطقه پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین لغزش دارند. مناطق با خطرکم با (16/60) و بسیار کم(16/10)، درصد، مساحت کمتری از سطح محدوده را پوشش می‌دهند. از سوی دیگر، پهنه‌های با خطر متوسط با (23/80)، زیاد(25) و خیلی‌زیاد با (18/50) درصد مساحت بیشتری را به خود اختصاص دادند(جدول۴).

جدول(۴): اطلاعات طبقات حاصل از بکارگیری الگوریتم چندمعیارهٔ ماباک

Table (4): Class information obtained by applying the MABAC multi-criteria algorithm

میزان خطر	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
مساحت (کیلومترمربع)	۱۹/۶۴	۲۰/۲۶	۲۹/۱۰	۳۰/۶۴	۲۲/۷۲
درصد	۱۶/۱۰	۱۶/۶۰	۲۳/۸۰	۲۵	۱۸/۵۰

نتیجه‌گیری

زمین‌لغزش بعنوان پدیده ژئومورفولوژیکی در سرتاسر جهان تلفات انسانی و ضرر و زیانهای اقتصادی کلانی وارد می‌کند. در راستای پیشگیری و یا کاهش از وقوع این مخاطره طبیعی، نیازمند و مستلزم برنامه‌ریزی در سطوح مختلف و مدیریت بهینه می‌باشد. در این راستا یکی از راههای موثر پهنه‌بندی مناطق مستعد به زمین‌لغزش‌ها است. به همین منظور هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی ارتباط عوامل موثر دروقوع زمین‌لغزش‌های حوضه آبریز اُنارچای مشکین‌شهر در استان اردبیل بوده است. با توجه به هدف مطالعه و بررسی شرایط طبیعی و انسانی منطقه؛ عوامل: « شیب، جهت‌شیب، طبقات‌ارتفاعی، میزان‌بارش، فاصله از آبراهه، کاربری‌اراضی، فاصله‌ازجاده، پوشش‌گیاهی، لیتولوژی، تیپ خاک، فاصله از گسل و سازندهای زمین شناسی» به عنوان عوامل موثر در وقوع خطر زمین‌لغزش در منطقه شناسایی شدند. سپس با استفاده از روش وزن‌دهی‌کریتیک، وزن معیارهای ذکر شده در پژوهش تعیین شد. در نهایت با توجه به وزن‌های استخراج شده از کاربرد این روش ، مدل‌سازی نهایی با استفاده از مدل ریاضی MABAC انجام و نقشه‌نهایی پهنه‌بندی‌خطر زمین‌لغزش در این حوضه آبریز به‌دست آمد. نتایج پژوهش نشان داد: متغییرهای شیب ، کاربری اراضی، لیتولوژی و زمین شناسی با احراز بیشترین ضریب وزنی به‌عنوان عوامل اصلی و مهم در وقوع زمین‌لغزش‌ها در منطقه در رتبه‌های اول تا چهام قرار گرفتند. معیارهای فاصله از گسل، جهت شیب و فاصله از رودخانه با کمترین ضریب وزنی رتبه‌های به ترتیب ۱۲، ۱۱و ۱۰ را به خود اختصاص دادند. علاوه براین و با توجه به ماهیت رتبه‌ای بودن مدل بکار رفته در این تحقیق، فاصله از راهها در رتبه‌های (۹)، بارش (۸)، خاک (۷)،پوشش‌گیاهی(۶) و طبقات ارتفاعی (۵) جای گرفتند. با توجه به خروجی حاصل از مطالعه، مناطق با خطرکم و بسیارکم، با کل مساحت ۳۲/۷۰ درصد، مساحت کمتری از سطح محدوده را پوشش می‌دهند و از سوی دیگر، پهنه‌های با خطر متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد مساحت بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند و به ترتیب؛ ۲۳/۸۰ ، ۲۵ و 18/50درصد از محدوده، در طبقه‌ی بسیار پرخطر ، پرخطر و متوسط و به عبارتی ۶۷/۳۰ درصد از حوضه‌آبریز اُنار چای در این سه طبقه قرار دارد. لذا می‌توان‌گفت که نتایج حاصل از این مطالعه، بیانگر خطر بالای محدوده مورد مطالعه، از لحاظ وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. با توجه به نقشه‌پهنه‌بندی زمین‌لغزش محدوده مورد بررسی؛ مناطق پرخطر، به طور عمده: در شیب ۱۵ تا ۳۵ درصد و در ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر ، همچنین در مناطق با بارش ۳۶۹-۳۴۰ میلی‌متر، و در دامنه‌های دارای جهات جنوبی، جنوبغربی و جنوبشرقی به دلیل ذخیره رطوبت بر روی سازندهای سست و ریز دانه دامنه‌ها ازپتانسیل بالایی در حرکت دامنه منطقه دارد. سازندهای زمین‌شناسی هوازده بسیار نامقاوم و نیمه‌مقاوم، که به طور عمده، متشکل ازسازندهای سست و نرم رس، پومیس، خاکستر اغلب متاثر از فعالیتهای آتشفشانی اواخر دوران سوم زمین‌شناسی و کنگلومراهای منفصل مخروط-

افکنه‌ها و نیز پوشش‌گیاهی نامتراکم کوهستانی و خاک کم‌عمق و ریزدانه و حساس به لغزش منطقه، کاربری‌های اراضی کشاورزی و مرتعی، حساسیت بالایی نسبت به وقوع لغزش را دارا هستند. به علاوه نتایج مطالعه، نشان می‌دهد که اراضی پرخطر به طور نسبی،

درفاصله‌های نزدیک از راه ارتباطی یعنی منتهی به جاده‌ها ، رودخانه تا فاصله ۵۰ متر و گسل به طور عمده در فاصله صفر تا ۳۵۰۰متری از گسل قرار دارند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد؛ عوامل مختلفی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تاثیر دارد و ارزیابی مدل ماباک توانسته است به خوبی حوضه را از نظر پتانسیل خطر زمین‌لغزش پهنه‌بندی نماید. نظر به اینکه این منطقه امروزه به دلایلی از جمله طبیعت بکر و زیبا و آبهای گرم مورد توجه گردشگران و آحاد مردم قرارداشته و بالطبع برای گسترش کارهای زیر ساختی و عمرانی را در پی‌خواهد داشت، می‌طلبد تا مورد توجه مسئولان و سازمان‌های متولی امر قرار گیرد تا رهیافتی برای مدیریت بهتر و علمی‌ترمدیران و برنامه‌ریزان باشد و در مناطق با پتانسیل خطر بالا و بسیاربالا با انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و کارهای عمرانی مناسب و البته کارشناسی شده به وسیله متخصصان، از وقوع و یا گسترش زمین‌لغزش‌های احتمالی پیشگیری نموده و یا به حداقل برسد.

References

-Amir Ahmadi, A; Jamal Abadi, J; Daneshfar, R; (2021). Modeling and zoning of landslides in the Latian basin using 2-variable statistical comparison, Bi-Quarterly Journal of Disaster Management, 2022(21), 97-127.(in persian).

-Asghari Saraskanroud, S ؛Aghayari, L.; P.; Zeinali, B. (2024). Identification and zoning of landslide-prone areas in Germi County. Journal of Hydrogeomorphology, 11(39), 1-18. (in persian).

-Ayalew, L., Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, 65(2): 15–31.

-Baumgertel, A., S. Luki, S. Belanovi´c Simi´c, and R. Kadovi´c, 2019. Identifying Areas Sensitive to Wind Erosion- A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia). Appl Sci, 19 (23):1-12.

-Bchari, F.E., Theilen-Willige, B., Ait Malek, H. (2019); Landslide hazard zonation assessment using GIS analysis at the coastal area of Safi (Morocco), Proceedings of the International Cartographic Association،pp 1-7.

-Bommer, J. J., & Rodríguez, C. E. (2002). Earthquake-induced landslides in Central America. Engineering Geology, 13(3), 189-220.

-Colkesen, I., Sahin, E., & Kavzoglu, Taskin.(2016). Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression, Journal of African Earth Sciences, 16(118), 53-64.

-Diakoulaki, D؛ Mavrotas, G؛ Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method, Computers and Operations Research, 22 (7), 763–770.

-Dikshit, A., Sarkar, R., Pradhan, B., Acharya, S., & Alamri, AM.,(2020). Spatial Landslide Risk Assessment at Phuent sholing, Bhutan. Geosciences, 10(4), 1-17.

-Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., & Ardizzone, F. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. Geomorphology, 19(4), 272-299.

-Khan, H., M. ShafiqueKhan, A. Mian, Safeer, U.; and Chiara, C, (2019). Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 22 (1): 11-24.

-Lee, S., (2007). application and veification of fuzzy algebriaic operators to land slide suseplibility mapping, Environmental Geology,2007، 847-855.

-Madadi, A؛ (2010), Investigation of geomorphological instability of the Sayin neck (between the cities of Nir-Sarab, Azerbaijan region) using the Anbalagan method, Journal of Geography and Environmental Planning, 1(21)،77-94. (in persian).

-Madadi, A.; Piroozi, A. (2022), Landslide hazard zoning in the upstream basin of Yamchi Dam, Ardabil Province, using MARCOS and CODAS decision methods, Quantitative Geomorphology Research,12 (1), -94 73. (in persian).

-Madadi, A.; Piroozi, A. (2023). Landslide hazard zoning in the upstream basin of Yamchi Dam, Ardabil Province, using MARCOS and CODAS decision methods, Journal of Quantitative Geomorphology Research, 10(12), 73-94. (in persian).
-Mohammadnia, M.; Fallah Qalhari, G. (2018). Landslide probability simulation using fuzzy logic and analytic hierarchy process (case study: Piweh-Jen watershed - Southern Binaloud highlands), Journal of Applied Research in Geographical Sciences, 18(48), .115-130 (in persian).
-Najafi Igdir, A; Roustaei, S; Hejazi, A; Rajabi, M; Jalali, N. (2021). Application of two-variable statistical models in landslide hazard zoning in the Nazluchai watershed, Quarterly Journal of Hydrology. 8(27), 1-17. (in persian).
-Pacumar D, Cirovic G (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using multiattributive border approximation area comparison (MABAC). Expert Systems with Applications. 42(6):3016- 3028.
-Ramesht, M.(1993). Geography of Soils, Tehran UniversityPublications. (in persian).
-Roering, J. J., Kirchner, J. W., Dietrich, W. E. (2005). Characterizing structural and lithologic controls on deep-seated landsliding: Implications for topographic relief and landscape evolution in the Oregon Coast Range, USA. Geological Society of America Bulletin, 17(6), 654-668.
-Sharifi Pichon. Mohammad. Shirani. Korosh. & Shirani. Maeda. (1400). Prioritization of factors affecting theoccurrence of landslides and zoning of its sensitivity using multivariate linear regression method. case study:Abriz Vohergan-West of Isfahan province. Hydrogeomorphology. 8(26). 163-139. (in persian).
-Sanders M. H and Clark P. D.(2010). Geomorphology: Processes, Taxonomy and Applications. Nova Science Publishers, Inc. (2010) ،216.
-Tavusi, T., DelAra, Qadir (2010), Climate zoning of Ardabil province, Scientific and Technical Journal of Niwar, No. 70-71, Autumn and Winter, 2010, pp. 50-51(in persian).
-Yalcin, A (2008), GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierchay process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): of results and confirmations. CATENA, (72), 1-12.
-Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglo, AA., Yomraliglu, T. (2011). A GIS- based comparative study of feguency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics metids for land slide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. Geomorfology,. 8 (85), 274-287.