

Research Paper



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



Aghil madadi^{1*} , Sayyad asghari Saraskanrood² , Davar taghizadeh³ 

1. Professor, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. Iran.

Aghil48madadi@yahoo.com

2. Professor, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. Iran. s.asghari@uma.ac.ir

3. Ph.D Student in Geomorphology, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. Iran.

davar.taghizadeh48@gmail.com

Keywords

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

Received: 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](https://doi.org/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 high. 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.



ارزیابی خطر زمین لغزش در حوضه‌ی آبریز آناچای مشکین شهر با استفاده از مدل ماباک (MABAC)



عقیل مددی^{۱*}، صیاد اصغری سراسکانرود^۲، داور تقی زاده^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

چکیده

زمین لغزش‌ها فرایندهای فعالی هستند؛ که در تحول چشم اندازها مشارکت دارند. حوضه آبریز آناچای با مساحت ۱۲۲/۳۶ کیلومترمربع در استان اردبیل، جنوب شرقی شهرستان مشکین شهر 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 زمین لغزش در این حوضه صورت گرفته است. روش مورد استفاده براساس مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ماباک (MABAC) و در محیط‌های نرم‌افزاری EXCEL و GIS انجام یافته است. در راستای پهنه‌بندی زمین لغزش آناچای از ۱۲ متغیر مهم مؤثر بر وقوع زمین لغزش: زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، لیتولوژی، فاصله از گسل، پوشش گیاهی، شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، بارش، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، فاصله از جاده استفاده گردید. وزن‌دهی به معیارهای مورد بررسی در ماباک با استفاده از روش کریتیک (CRITIC) انجام شد. در نهایت، لایه‌های موضوعی مؤثر بر رویداد زمین لغزش با توجه به وزن و ضرایب آن‌ها در محیط نرم‌افزار (GIS) با استفاده از روش ترکیب‌وزنی با یکدیگر ترکیب و نقشه‌نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بدست آمد. با توجه به خروجی حاصل از بکارگیری روش ماباک، عوامل شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و زمین‌شناسی 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، جهت 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 زمین لغزش حوضه عمدتاً در جنوب، جنوب‌شرقی و جنوب غربی توزیع شده‌اند.

کلید واژه‌ها: زمین لغزش، مدل MABAC، GIS، آناچای، مشکین شهر

کلیدواژه‌ها

زمین لغزش، مدل MABAC، GIS، آناچای، مشکین شهر، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۲۳

*نویسنده مسئول: عقیل مددی رایانامه:

aghil48madadi@yahoo.com

ارجاع به این مقاله: مددی، عقیل؛ اصغری سراسکانرود، صیاد؛ تقی زاده، داور (۱۴۰۵). ارزیابی خطر زمین لغزش در حوضه‌ی آبریز آناچای مشکین شهر با استفاده از مدل ماباک (MABAC).

هیدروژئومورفولوژی، ۱۳ (۴۶): ۱۹-۱.

DOI: 10.22034/hyd.2025.65991.1779



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

ژئومورفولوژیست‌ها از همان زمان تکوین و پیدایش دانش ژئومورفولوژی همواره سعی داشته‌اند با استفاده از فناوریهای در دسترس، فرم‌ها و فرآیندها را در طول زمان و در نظام‌های فضایی خاصی به مقیاس دلخواه به نمایش بگذارند (امیراحمدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۹۸). 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^۱ و همکاران، 2005: 274). این پدیده بر اثر جابجایی مواد تشکیل دهنده بر روی دامنه‌ها اتفاق می‌افتد؛ به نحوی که در اثر مکانیسم آب موجود روی دامنه و نیروی جاذبه رخ می‌دهند. نتیجه آن حرکت توده‌ی انبوهی از مواد به طرف پایین دامنه‌ها 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، جهات شیب، 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^۲ و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۹۵). هر چند پدیده مزبور موجب تکوین و تکامل دامنه‌ها در مناطق کوهستانی می‌شوند (روئرینگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۵: ۶۵۵). 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 (محمدمدنی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۱۵). در چنین وضعیتی همه ساله اثرات سوء زیادی را در مقیاس محلی و جهانی در ابعاد اقتصاد و انسانی را بر جای می‌گذارد (یالسن^۴ و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۷۵). در بررسی و برآوردهای دفتر هماهنگی امور بشردوستانه سازمان ملل متحد (OCHA) مخاطرات طبیعی سالانه بین ۳۰-۵۰ میلیارد دلار ضرر و زیان مالی در سطح جهان وارد می‌کنند (ساندرس^۵ و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۰). 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 اهم 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 طریقی 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^۶ و همکاران، ۲۰۰۵: 16) فلذا جهت کاهش بلایای ناشی از زمین‌لغزش حیاتی است (کلکسن^۷ و همکاران، 2016: ۵۴). در این زمینه: (مددی و همکاران، ۱۳۹۹)، به ارزیابی مقایسه‌ای تصمیم‌گیری چند معیار ماباک و کوداس در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان کوثر پرداختند. مطابق نتایج پژوهش، دقت روش ماباک در طبقه‌ی خوب و دقت روش کوداس در طبقه‌ی خیلی خوب 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. (یالسن، ۲۰۰۸)، به ارزیابی نواحی زمین‌لغزش در ناحیه آردسن کشور ترکیه 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

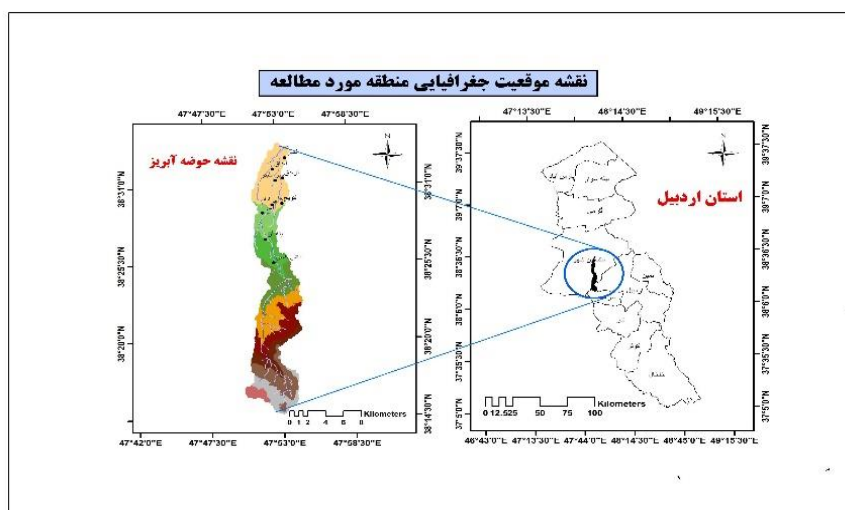
4-Yalcin et al
5-Sanders et al
6-Ayalew et al

7-Colkesen et al

که روش (AHP)، بهتر از سایر روشهای مورد بررسی پراکنش زمین لغزشها را نشان می دهد. (بجاری^۱ و همکاران، ۲۰۱۹) به پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و (GIS) در منطقه ساحلی صفی کشور آفریقای مغرب پرداختند. و با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، وزن دهی شدند. در ادامه منطقه مورد مطالعه در 4 کلاس طبقه بندی شد. (دیکشیت^۲ و همکاران، ۲۰۲۰)، طی مطالعه ای به بررسی خطر زمین لغزش در منطقه فیونت شولینگ کشور آسیایی بوتان را با استفاده از مدل پژوهشی (WLC) پرداختند و کارایی روش (WLC)، با لحاظ حوادث زمین لغزش های سالهای ۲۰۰۴ الی ۲۰۱۴ مورد تایید قرار گرفت. با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی در خصوص خطر زمین لغزش در منطقه آناچای انجام نیافته بود. لذا هدف این تحقیق بررسی عوامل مختلف و تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز آناچای مشکین شهر و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل (MABAC) می باشد.

منطقه مورد مطالعه

این حوضه با مساحت ۱۲۲/۳۶ کیلومترمربع در استان اردبیل، در جنوب شرق شهرستان مشکین شهر (دورترین نقطه فیزیکی حوضه) و در شمال توده آتشفشانی سبلان قرار گرفته است. از نظر موقعیت جغرافیایی بین "۰۱' ۵۰" تا "۱۶' ۵۵" ۴۷° طول شرقی و "۳۸' ۱۴" تا "۰۶' ۳۴" ۳۸° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). آب و هوای منطقه و با استفاده از طبقه بندی دومارتن از نوع نیمه خشک و با توجه به ضریب اقلیمی آمبرژه از نوع نیمه مرطوب سرد و در طبقه بندی ایوانوف از نوع استپی است (طلاوسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۵۱). مهمترین عامل محلی مؤثر در اقلیم حوضه، ارتفاعات محلی می باشد. کاهش دما و به تبع آن افزایش مقدار بارش از اثرات توپوگرافی خاص منطقه بر سطح حوضه می باشد. با توجه به نوع اقلیم منطقه، میانگین بارش و درجه حرارت سالیانه به ترتیب ۳۳۰ میلیمتر و ۳ درجه سانتیگراد می باشد. زهکش اصلی این حوضه از جنوب به شمال جریان داشته و شاخه ای از شبکه ی زهکشی رودخانه قره سو از زیر شاخه های رود ارس محسوب می گردد. از نظر هیدرولوژی شکل حوضه بصورت کشیده و ناشی از ویژگی های توپوگرافی محل است. ضمن اینکه واحدهای زمین شناسی در منطقه غالباً از سازندهای آواری سست و دانه ریز مانند توف، لارهار و کنگلومرای مخروط افکنه ای (فنگلومرا)، بیش از نیمی از حوضه بالاخص در جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب و مرکز تشکیل و گسترش داشته و بیشتر ناپایداری و زمین لغزشها نیز در این جهات از حوضه دیده می شود.



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

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نظر ساختاری از نوع کاربردی است و روش پژوهش آن تحلیلی بر پایه تلفیق داده‌های سیستم‌اطلاعات جغرافیایی (GIS) 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 زمین لغزش، دوازده لایه‌ی موضوعی شامل؛ « زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، لیتولوژی، فاصله از گسل، پوشش گیاهی، شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، بارش، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، فاصله از جاده» بعنوان متغیرهای تأثیرگذار، بررسی شدند. نخست، لایه‌های اطلاعاتی معیارها، در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه و وزن دهی معیارها، با بهره‌گیر از روش کریتیک (CRITIC) انجام گردید. سپس مرحله استانداردسازی با توجه به تابع عضویت فازی (FUZZY) انجام شد (جدول ۱). نقشه‌های استانداردسازی شدند (شکل ۸). علاوه بر این داده‌های مورد نیاز از روی نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های 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 زمین لغزش حوضه آبریز آنارچای استخراج گردید.

جدول (۱): نوع توابع فازی ساز لایه‌های موضوعی تأثیرگذار بر خطر زمین لغزش حوضه آبریز آنارچای

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

متغیرها	ساز و کار	مشخصه تابع فازی
زمین‌شناسی	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
خاک‌شناسی	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
لیتولوژی	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از گسل	در نواحی نزدیک گسل، وقوع زمین لغزش بالقوه افزایش پیدا می‌کند.	تابع نزدیک فازی
پوشش گیاهی	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
شیب	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
جهت شیب	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
طبقات ارتفاعی	با افزایش ارتفاع، خطر زمین لغزش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
بارش	با افزایش مقدار بارش، خطر زمین لغزش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
فاصله از آبراهه	در نواحی نزدیکی آبراهه ها، وقوع زمین لغزش بالقوه افزایش پیدا می‌کند.	تابع نزدیک فازی
کاربری اراضی	تعیین کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع زمین لغزش - آنگاه فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از جاده	در نقاط نزدیک به راهها، وقوع زمین لغزش 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 تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند. در این روش، پس از محاسبه انحراف معیار، معیارهای مورد بررسی، ماتریس متقارنی به ابعاد $m \times m$ ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل شده‌است. با تعیین پارامترهای بالا، تضاد موجود بین معیار Z با معیارهای دیگر از روی رابطه یک محاسبه می‌شود.

مدل ماباک (MABAC)

روند اجرایی روش (MABAC) متشکل از ۷ مرحله یا گام به شرح آتی است: مرحله اول: انتخاب معیارها و گزینه‌ها: شامل ۱۲ معیار - گزینه: "زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، لیتولوژی، فاصله از گسل، پوشش گیاهی، شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، بارش، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، فاصله از جاده" 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 اصولاً امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار می‌باشد (رابطه سه).

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

مرحله سوم: نرمال سازی ماتریس تصمیم: در این پژوهش ارزش گذاری و نرمال سازی با بهره‌گیری از تابع عضویت فازی صورت می‌گیرد. درایه‌های ماتریس تصمیم با x_{ij} و درایه‌های ماتریس تصمیم نرمال با n_{ij} نمایش داده می‌شوند.

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1n} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & & n_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

مرحله چهارم: محاسبه ماتریس تصمیم موزون:

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

(به روش CRITIC) بطوریکه n_{ij} عنصرهای ماتریس نرمال شده (N) و w_i ضرایب وزنی معیار را مشخص می‌نماید.

$$V_{ij} = W_j * (n_{ij} + 1) \quad (6)$$

مرحله پنجم: تعیین و مشخص کردن مرز ناحیه شباهت ماتریس (g): در رابطه هفت، v_{ij} عناصر ماتریس وزنی (V) و m تعداد کل گزینه‌های جایگزین را نشان می‌دهد. پس از محاسبه مقدار g_i 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.

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^m v_{ij} \right)^{1/m} \quad (7)$$

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

$$G = [g_1, g_2, \dots, g_n] \quad (8)$$

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.

$$Q = V - G \quad (9)$$

بدنبال تعیین ماتریس Q، می‌توان با بهره‌گیری از حد بالایی مساحت (G^+) و حد پایینی مساحت (G^-) کیفیت هر گزینه را معین نمود. بر این مبنا گزینه A_i وابسته به اجتماع مجموعه مورد اشاره می‌باشد. حد بالای مساحت (G^+) ناحیه‌ای است که گزینه ایده آل مثبت در آن قرار دارد و حد پایینی مساحت (G^-) ناحیه‌ای است که گزینه ضد ایده آل در آن قرار دارد. میزان وابستگی گزینه A_i به اجتماع بالا بر مبنای رابطه ۱۰، حاصل می‌شود. جهت تعیین گزینه A_i به عنوان مطلوب ترین شکل از مجموعه، ضروری است که بیشترین معیارهای ممکن متعلق به منطقه تقریبی بالایی (G^+) باشد. میزان بالاتر $q_i \in G^+$ مبین این است که گزینه جایگزین به گزینه جایگزین ایده آل نزدیک تر است، در حالی که مقدار پایین تر $q_i \in G^-$ نشان می‌دهد که گزینه جایگزین، به گزینه جایگزین ضد ایده آل نزدیک تر 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.

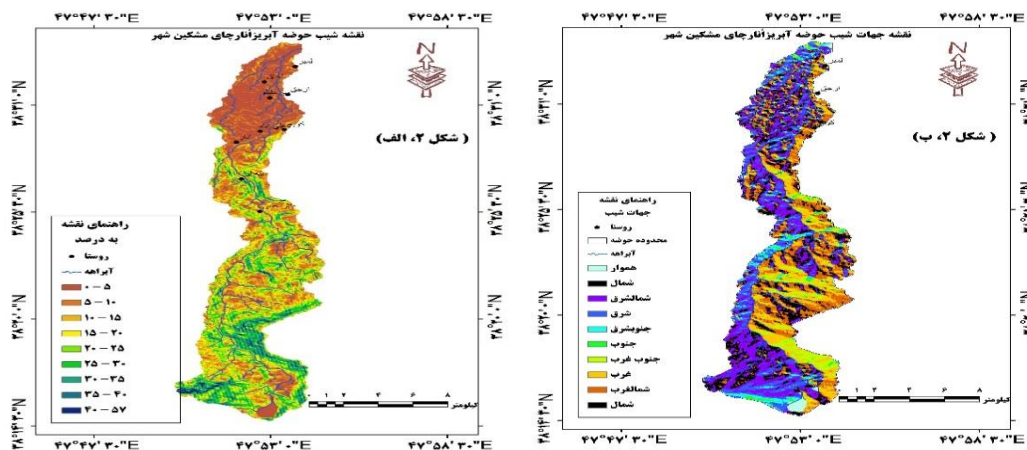
$$S_i = \Sigma(q_{ij}); i = 1.2 \dots n; j = 1.2 \dots m \quad (11)$$

ارزیابی و محاسبه کمیت های توابع معیار، از طریق گزینه‌ها به عنوان مجموع فاصله‌های جایگزین از مناطق تقریبی مرزی q_i 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 (پاکیومار^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

یافته‌های تحقیق

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

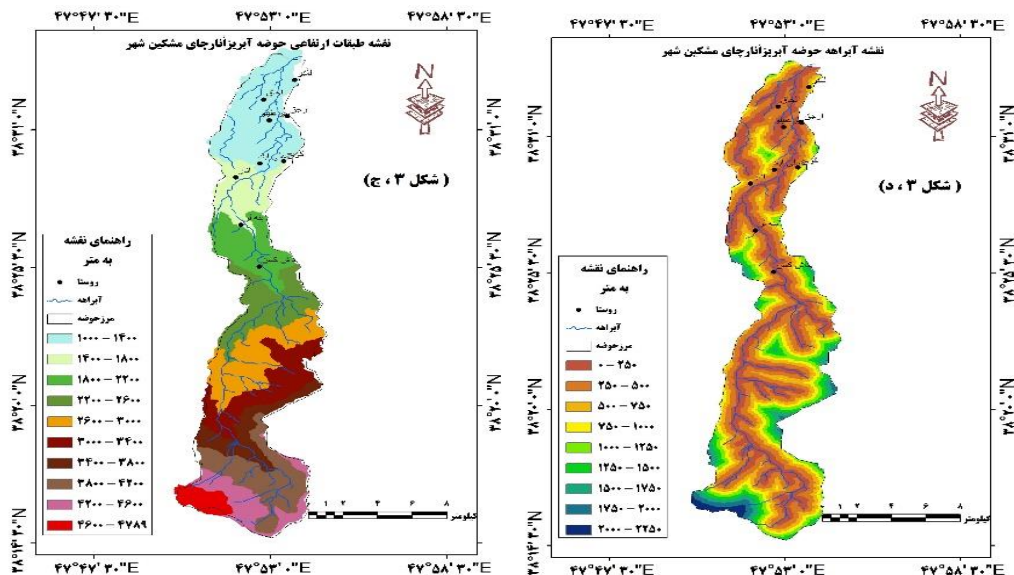
شیب عمومی محدوده مورد مطالعه، بین ۰ تا ۵۷ درصد می‌باشد (شکل ۲، الف). این محدوده با داشتن متوسط شیب ۲۸ درصد، جهت وقوع لغزش مستعد است. ۲۹/۴۵ کیلومترمربع از مساحت محدوده دارای شیب ۰-۵ درصد می‌باشد. طبقات شیب ۱۰-۵ و ۲۰-۱۰، به ترتیب ۲۲/۴۴ و ۳۹/۵۶ کیلومترمربع از سطح محدوده را شامل می‌شوند. همچنین به ترتیب ۱۹/۰۹، ۵/۴۸ و ۶/۳۴ کیلومترمربع از سطح محدوده، در طبقات شیب ۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰ و ۴۰-۵۶ 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 قرار دارد. در جهات شیب و با توجه به محاسبات بعمل آمده ۴/۶۷ کیلومتر مربع از مساحت محدوده در جهت شیب جنوب، ۳/۷۵ کیلومترمربع در جهت جنوب شرقی و ۹/۲۹ کیلومتر مربع در جهت جنوب غربی قرار گرفته است. همچنین به ترتیب ۳۴/۸۱، ۱۶/۲۷ و ۱۴/۷۱ کیلومترمربع از مساحت محدوده را جهات شمال، شمال غرب و شمال شرق پوشش می‌دهد. به علاوه، ۷/۰۱ کیلومترمربع از مساحت محدوده دارای جهت شیب شرقی می‌باشد و جهت غربی، ۱۳/۸۵ کیلومتر مربع؛ در ضمن ۱۸ کیلومتر مربع از منطقه مورد مطالعه در بخش سفلی حوضه (شمالی) را زمین‌های پست تشکیل می‌دهد (شکل ۲، ب). از نظر عامل جهت شیب، نقاط بسیار پرخطر و پر خطر در منطقه مورد بررسی، در دامنه‌های جنوب، جنوب غربی و جنوب شرقی گسترش دارند. این جهات دامنه‌ها 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 متغیرهای 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.



شکل (۲): نقشه معیارهای شیب و جهت شیب حوضه آبریز اناچای

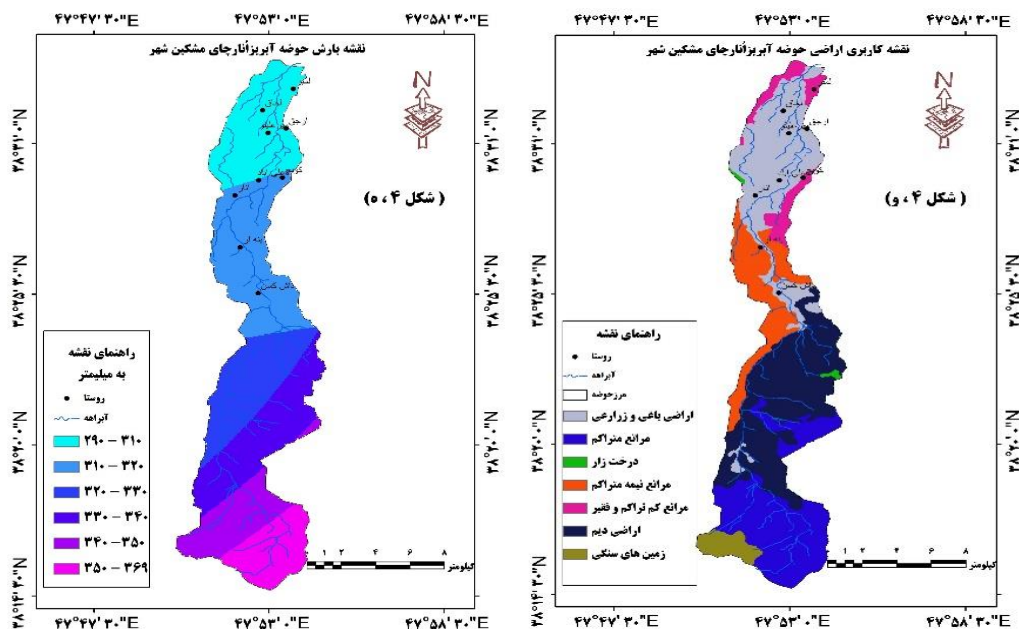
Figure (2): Map of slope criteria and Aspect of the Unarchay watershed

طبقات ارتفاعی محدوده مورد مطالعه، به ۱۰ طبقه از ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر تا ۴۷۸۹-۴۶۰۰ طبقه‌بندی شد (شکل ۳ 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 بر این به ترتیب؛ ۱۴/۸۰ و ۱۲/۹۵ 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 زمین لغزش) در سطوح محدوده مطالعاتی شده است. نتایج حاصله از لایه‌های اطلاعاتی و در نهایت نقشه خطر زمین لغزش حوضه 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 لایه زمین لغزش 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 بوده‌اند. 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 زمین لغزش‌ها موثر باشند. (لی^۱، ۲۰۰۵: ۸۵). 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 دوزنقه‌ای به خود گرفته غالب دامنه‌ها تحول نیافته و بصورت ۷ شکل و با شیب تند جریان دارند. مورفولوژی دامنه‌های محدوده بسیار نامنظم و معمولاً 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. زمین لغزشها زمانی اتفاق می‌افتند که بر اثر بارش رگباری و ذوب سریع برف جریان آب رودخانه‌ها شدید و با زیر شویی دامنه‌ها منجر به زمین لغزش‌های گردیده است. در این مطالعه فاصله از آبراهه در حوضه مزبور بین صفر تا ۲۲۵۰ متر در نظر گرفته شده است. بسیاری از زمین لغزش‌ها در حوضه مورد مطالعه با میانگین ۵۰ متری از بستر اصلی رودخانه‌ها اتفاق افتاده است (شکل ۳ د).



شکل (۳): نقشه معیارهای رودخانه و رودخانه و طبقات ارتفاعی حوضه آبریز آنارچای
 Figure (3): Map of river parameters and elevation classes of the Unarchay watershed

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) ایستگاه باران‌سنجی انگوت، رضی، زهرا، مشیران، ساولان، نیر، مشکین‌شهر، موبیل، مرادلو، لای تهیه شد. میانگین بارش سالیانه در حوضه مطالعاتی (بین ۲۹۷ تا ۳۶۵) میلیمتر بر آورد گردید (شکل ۵،۴). ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیشترین بارندگی در حوضه را دارد و کمترین بارندگی در تابستان، مردادماه اتفاق می‌افتد. همچنین مناطق با بارش زیاد غالباً در نواحی مرتفع کوهستانی منطقه اتفاق و مناطق با بارش کم، در نواحی کم‌ارتفاع حوضه قرار دارند. بر اساس آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی 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 معناداری بین ارتفاع، استمرار و میزان بارش در زمین لغزش منطقه وجود داشت. در حوضه مورد مطالعه از لحاظ کاربری اراضی، اراضی باغی و زراعی با مساحت ۳۰.۳۴ کیلومتر مربع، مراتع با پوشش متراکم با ۲۹.۰۲ کیلومتر مربع، درخت‌زار با ۰.۵۹۰ کیلومتر مربع (۵۹ هکتار)، مراتع با پوشش نیمه متراکم با ۱۵.۸۵ کیلومتر مربع، مراتع با پوشش کم تراکم و فقیر با ۶.۵۴ کیلومتر مربع (۶۵۴ هکتار)، اراضی دیم با ۳۵.۴۸ کیلومتر مربع و زمین‌های با پوشش سنگی با ۴.۵۴ کیلومتر مربع (۴۵۴ هکتار) را تشکیل داده‌اند (شکل ۵،۴).

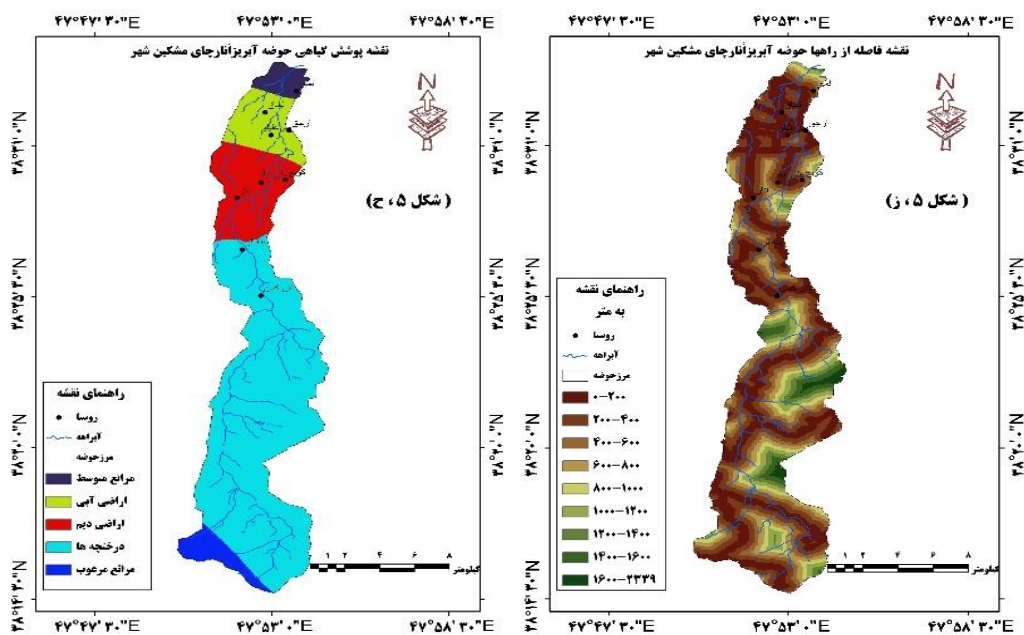


شکل (۴): نقشه معیارهای کاربری اراضی و بارش حوضه آبریز انارچای

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

از این لحاظ کاربری زراعی 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 پوشش گیاهی به تسریع وقوع زمین لغزش منجر شده است. لذا با تاثیر و دخالت سایر عوامل من جمله بارندگی، نوع خاک، شیب و عدم رعایت اصول فنی در نحوه شخم زدن (شخم به موازات شیب دامنه) منجر به فرسایش خاک و زمین لغزش شده است. علاوه بر این ساخت و سازهای متنوع و مختلف عمرانی یا سایر اقدامات از قبیل قطع پوشش گیاهی، استخراج معدن (دربریخی نقاط حوضه) و ایجاد لرزه ناشی از آن مزید بر علت تغییر رفتار دامنه‌ها و زمین لغزش 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 گردیده است. در محدوده مطالعاتی به غیر از جاده فرعی لاهرود به شایبیل کلیه راه‌های این منطقه را جاده روستایی کم عرض آسفالتی و یا راه‌های بیلاقی خاکی

عشایری تشکیل می‌دهند. با توجه به نقشه خروجی (شکل ۵، ز)، فاصله از جاده در حد فاصل صفر تا ۲۳۳۹ متر می‌باشند. بدلیل لیتولوژی خاص و شیب زیاد زمین، در مقطعی از دامنه‌های در مجاور راهها این منطقه دچار لغزش شده‌اند. از جنبه میزان تراکم و نیز نوع پوشش گیاهی منطقه از مجموعه ۱۲۲/۳۶ کیلومتر مربع حوضه ۵۷/۱۵ درصد را مراتع متوسط کوهستانی پوشش داده است. علاوه بر این 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 آرس و بلوط و مراتع مرغوب و استپی با پراکندگی انواع گون‌ها می‌باشند (شکل ۵، ح). با توجه به بررسی میدانی و نقشه نهایی حاصله غالب زمین لغزش‌های منطقه بدلیل زراعت دیمی و اقدامات کشاورزی از جمله شخم زدن و یا بهر برداری غیر اصولی و چرای دام توسط عشایر در اراضی دیم و مراتع با پوشش کم تراکم و ضعیف رخ داده است.

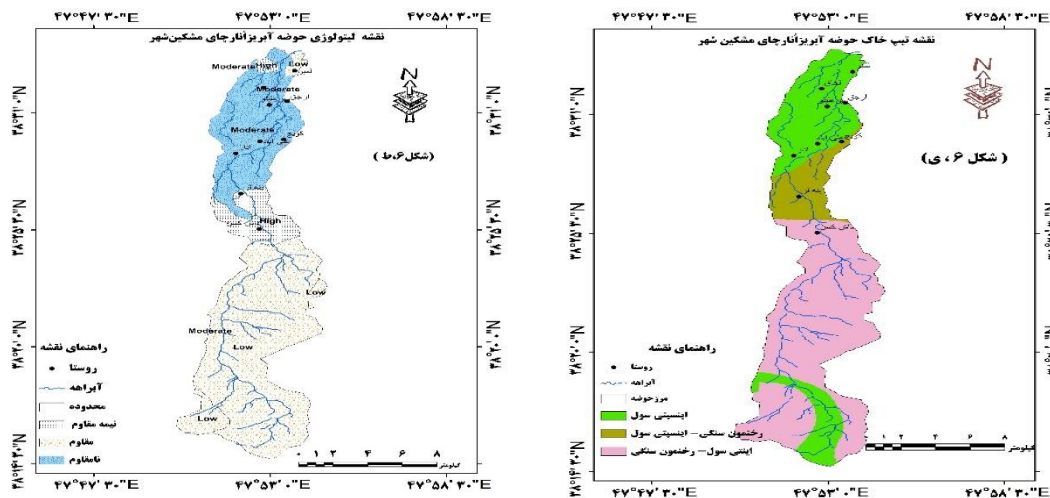


شکل (۵): نقشه معیارهای پوشش گیاهی و فاصله از جاده حوضه آبریز آنارچای

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 بسیار کم، کم، متوسط قرار دارند. حوضه آبریز آنارچای به دلیل آتشفشانی بودن منطقه (توف، پامیس، خاکستر آتشفشانی، کنکومراها و ...) از لیتولوژی سست و نامقاومی برخوردار است. از لحاظ مقاومت سازندهای محدوده به ۳ طبقه، نامقاوم، نیمه مقاوم و مقاوم تقسیم گردیده است (شکل ۶، ط). به ترتیب ۷۵/۶۸ کیلومتر مربع نامقاوم، ۳۳/۸۷ کیلومتر مربع نیمه مقاوم و ۱۲/۸۱ کیلومتر مربع نیز با سازندهای مقاوم پوشانده است. بنابراین ۱۰۹/۵۵ کیلومتر مربع (تقریباً 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 اینسپی سول و اینتی سول می‌باشند (شکل ۶، ی). خاک اینسپی سول جوان بوده و صرفاً 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 اینتی سول نیز باید گفت که این نوع خاک‌ها متشکل از چهار زیر رده اکوانت (به رنگ خاکستری تیره غالباً اشباع از آب)، فلوونت (جوان - قهوه‌ای - رسی)، اورنت (کم عمق و جوان) و سامنت (ماسه‌ای) رده خاک انتی سول نیز مانند رده اینتی سول مربوط به عهد حاضر و جوان می‌باشند. خاکهای اینتی سول فاقد تکامل افق‌ها است و یا بسیار کم است و نشانه‌ای از تکامل افق‌ها در پیدایش در آن دیده نمی‌شود (رامشت، ۱۳۷۲: ۱۶۲). برابر بررسی‌ها ۶۰ درصد خاک منطقه از نوع

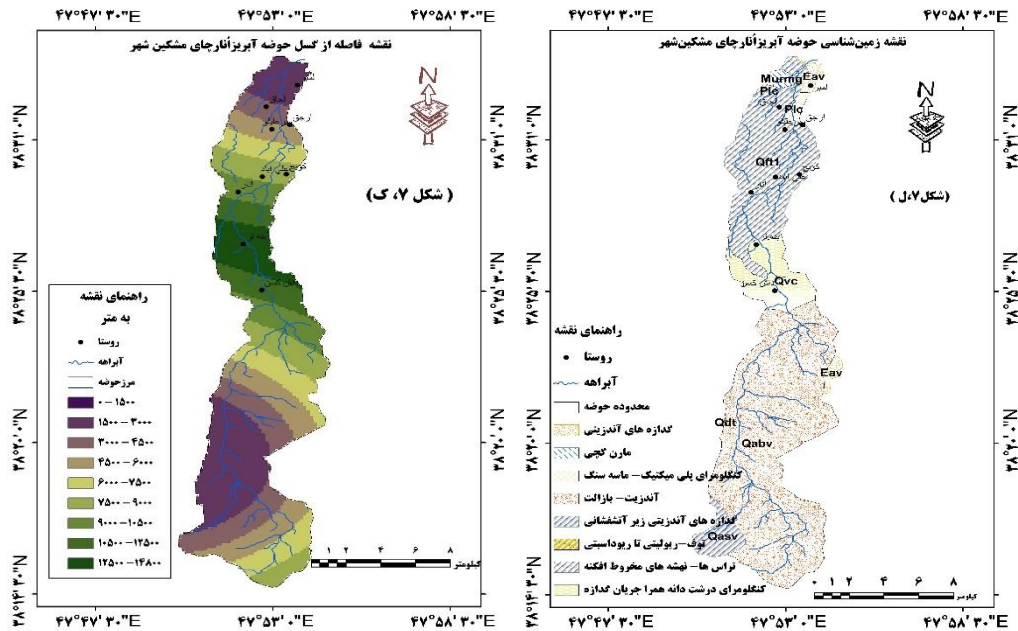
این‌تی سول تشکیل یافته است. با توجه به خروجی نقشه نهایی زمین لغزش‌های با کلاس بسیار پرخطر منطبق با همین رده خاک است. به همین دلیل برای وقوع زمین لغزش حساس می‌باشد.



شکل (۶): نقشه معیارهای خاک و لیتولوژی حوضه آبریز آنارچای

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

مناطق که به گسل نزدیک هستند نسبت به مناطق دیگر از استعداد زمین لغزش بیشتری برخوردارند. تأثیر گسل‌ها به صورت خردشدگی سنگ‌های اطراف، ایجاد درزها و خلل و فرج و به تبع آن نفوذ بیشتر آب در درون توده‌های خردشده و با کاهش مقاومت برشی دامنه، زمین لغزش را افزایش یا تسهیل می‌نماید. لذا در این مطالعه از این معیار نیز بعنوان عامل دخیل در وقوع زمین لغزش 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 (شکل ۷، ک). مهمترین گسل در حوضه آنارچای، گسل‌های دامنه‌های شمال سیلان 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 می‌باشد. مناطق پرخطر معرفی شده حاصل از مطالعه حاضر، به طور عمده در فاصله صفر تا ۳۵۰۰ متری از گسل قرار دارند. نوع سنگ‌ها و خصوصیات فیزیکی آن به همراه شیب درشت و حدت زمین لغزش موثر می‌باشد (خان‌ا و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۳). 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 مواد آتش فشانی 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 (شکل ۷، ل، الف) و واحدهای Eav، گدازه‌های آندزیتی. ب) واحد، Qf1، نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای و تراس‌های آبرفتی ج) واحد Qvc، کنگلومراهای درشت‌دانه متشکل از مواد آتشفشانی آواری به صورت محلی همراه با جریانهای گدازه لاهاری. د) واحد Plc، کنگلومرا پلی میکتیک و ماسه سنگ. ه) واحد Murmg، مارن گچی. و) واحد Qdt، توف ریولیتی تا ریوداسیتی. ز) واحد Qabv، گدازه‌های آندزیتی و بازالتی. ح) واحد Qasv، گدازه‌های آندزیتی زیر آتشفشانی. با توجه به خروجی نقشه نهایی زمین لغزش‌های با کلاس بسیار پرخطر در واحدهای Murmg و Qf1 رخ داده است.



شکل (۷): نقشه معیارهای گسل و زمین شناسی حوضه آبریز اناارچای
 Figure (7): Map of fault and geological criteria of the Unarchay watershed

رتبه بندی نهایی گزینه ها

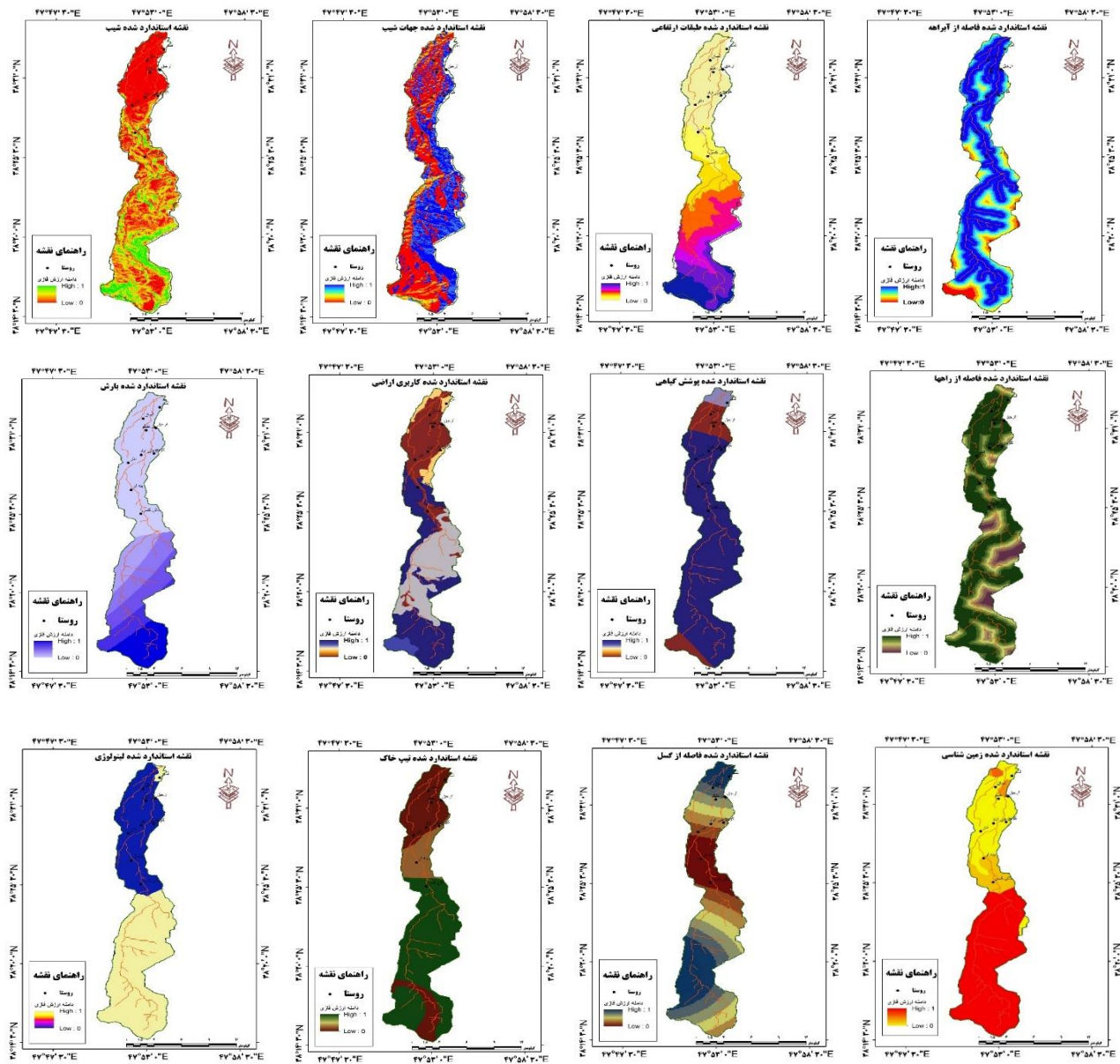
با توجه به اوزان هر یک از معیارهای بدست آمده از روش کریتیک (جدول ۲) و همچنین امتیازات حاصله از خروجی روش ماباک (جدول ۳) از بین عوامل مختلف تاثیرگذار در زمین لغزش حوضه آبریز اناارچای مشکین شهر، عوامل شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و زمین شناسی با کسب امتیاز بیشتری در رتبه های اول تا چهارم قرار گرفتند. علاوه بر این طبقات ارتفاعی، پوشش گیاهی، نوع خاک، بارش، فاصله از راهها، فاصله از رودخانه، جهت شیب و فاصله از گسل به ترتیب امتیاز، رتبه های بین ۵ تا ۱۲ را به خود اختصاص دادند.

جدول (۳): رتبه یی گزینه های نهایی به روش ماباک
 Table (3): Ranking of final options using the Mabac method

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

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

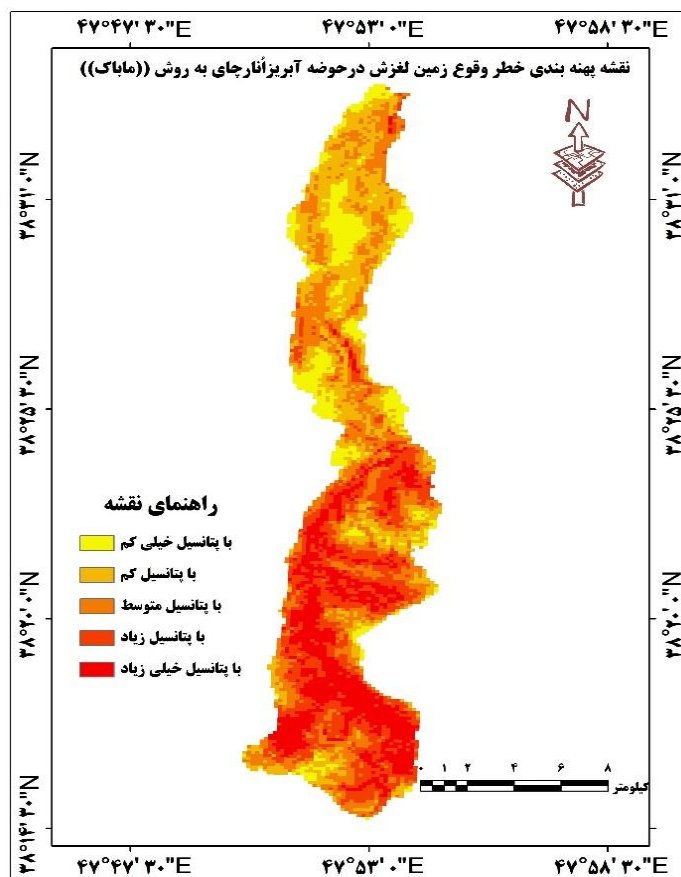
پس از تهیه نقشه‌های استاندارد شده (شکل ۸) در رابطه با هر یک از معیارهای مطرح در نقشه‌ی پهنه بندی زمین لغزش در حوضه آنارچای و اعمال کردن وزن‌های مربوطه جدول (۲) ، نقشه‌های حاصله وارد تکنیک‌های مورد بررسی شده و با اعمال مراحل مختلف بر روی نقشه‌های خروجی نهایی در ۵ طبقه‌ی بسیار پرخطر، پرخطر، با خطر متوسط، باخطر کم و خیلی کم خطر، بدست آمد (شکل ۹).



شکل (۸): نقشه‌های استاندارد شده معیارهای مطرح در پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه آنارچای
 Figure (8): Standardized map of criteria used in landslide zoning of the Onarchay basin

ترکیب لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه نهایی

پس از وزن دهی 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 زمین لغزش در حوضه آبریز آناچای مشکین شهر در پنج کلاس با پتانسیل های، خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در GIS تهیه گردید (شکل ۸).



شکل (9): نقشه پهنه بندی 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 و جنوب شرقی منطقه پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین لغزش دارند. مناطق با خطر کم 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 خیلی زیاد با (18/50) درصد مساحت بیشتری را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

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

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

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

نتیجه گیری

زمین لغزش بعنوان پدیده ژئومورفولوژیکی در سرتاسر جهان تلفات انسانی و ضرر و زیانهای اقتصادی کلانی وارد می کند. در راستای پیشگیری و یا کاهش از وقوع این مخاطره طبیعی، نیازمند و مستلزم برنامه ریزی در سطوح مختلف و مدیریت بهینه می باشد. در این راستا یکی از راههای موثر پهنه بندی مناطق مستعد به زمین لغزشها است. به همین منظور هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی ارتباط عوامل موثر در وقوع زمین لغزشهای حوضه آبریز آناچای مشکین شهر در استان اردبیل بوده است. با توجه به هدف مطالعه و بررسی شرایط طبیعی و انسانی منطقه؛ عوامل: « شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، میزان بارش، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، فاصله از جاده، پوشش گیاهی، لیتولوژی، تیپ خاک، فاصله از گسل و سازندهای زمین شناسی» به عنوان عوامل موثر در وقوع خطر زمین لغزش در منطقه شناسایی شدند. سپس با استفاده از روش وزن دهی کریتیک، وزن معیارهای ذکر شده در پژوهش تعیین شد. در نهایت با توجه به وزنهای استخراج شده از کاربرد این روش، مدل سازی نهایی با استفاده از مدل ریاضی MABAC انجام و نقشه نهایی پهنه بندی خطر زمین لغزش در این حوضه آبریز به دست آمد. نتایج پژوهش نشان داد: متغیرهای شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و زمین شناسی با احراز بیشترین ضریب وزنی به عنوان عوامل اصلی و مهم در وقوع زمین لغزشها در منطقه در رتبه های اول تا چهارم قرار گرفتند. معیارهای فاصله از گسل، جهت شیب و فاصله از رودخانه با کمترین ضریب وزنی رتبه های به ترتیب ۱۲، ۱۱ و ۱۰ را به خود اختصاص دادند. علاوه بر این و با توجه به ماهیت رتبه ای بودن مدل بکار رفته در این تحقیق، فاصله از راهها در رتبه های (۹)، بارش (۸)، خاک (۷)، پوشش گیاهی (۶) و طبقات ارتفاعی (۵) جای گرفتند. با توجه به خروجی حاصل از مطالعه، مناطق با خطر کم و بسیار کم، با کل مساحت ۳۲/۷۰ درصد، مساحت کمتری از سطح محدوده را پوشش می دهند و از سوی دیگر، پهنه های با خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد مساحت بیشتری را به خود اختصاص داده اند و به ترتیب: ۲۳/۸۰، ۲۵ و ۱۸/۵۰ درصد از محدوده، در طبقه های بسیار پرخطر، پرخطر و متوسط و به عبارتی ۶۷/۳۰ درصد از حوضه آبریز آناچای در این سه طبقه قرار دارد. لذا می توان گفت که نتایج حاصل از این مطالعه، بیانگر خطر بالای محدوده مورد مطالعه، از لحاظ وقوع زمین لغزش می باشد. با توجه به نقشه پهنه بندی زمین لغزش 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 میلی متر، و در دامنه های دارای جهات جنوبی، جنوب غربی و جنوب شرقی به دلیل ذخیره رطوبت بر روی سازندهای سست و ریز دانه دامنه ها از پتانسیل بالایی در حرکت دامنه منطقه دارد. سازندهای زمین شناسی هوازده بسیار نامقاوم و نیمه مقاوم، که به طور عمده، متشکل از سازندهای سست و نرم رس، پومیس، خاکستر اغلب متأثر از فعالیتهای آتشفشانی اواخر دوران سوم زمین شناسی و کنگلومراهای منفصل مخروط- افکنه ها و نیز پوشش گیاهی نامتراکم کوهستانی و خاک کم عمق و ریزدانه و حساس به لغزش منطقه، کاربری های اراضی کشاورزی و مرتعی، حساسیت بالایی نسبت به وقوع لغزش را دارا هستند. به علاوه نتایج مطالعه، نشان می دهد که اراضی پرخطر به طور نسبی، در فاصله های نزدیک از راه ارتباطی یعنی منتهی به جاده ها، رودخانه تا فاصله ۵۰ متر و گسل به طور عمده در فاصله صفر تا ۳۵۰ متری

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 قرار داشته و بالطبع برای گسترش کارهای زیر ساختی و عمرانی را در پی خواهد داشت، می‌طلبد تا مورد توجه مسئولان و سازمان‌های متولی امر قرار گیرد تا رهیافتی برای مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان باشد و در مناطق با پتانسیل خطر بالا و بسیار بالا 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 variable statistical comparison: *Bi-Quarterly Journal of Disaster Management*, 11(21), 97-127.
- Asghari Saraskanroud, S., Aghayari, L., P., Zeinali, B. (2024). Identification and zoning of landslide-prone areas in Germe County: *Journal of Hydrogeomorphology*, 11(39), 18-1.
- 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, & R. Kadovi'c, (2019). Identifying Areas Sensitive to Wind Erosion- A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia): *Appl Sci*, 19 (23), 1-12.
- Bhari, F.E., TheilenWillige, 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, T. (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. Shafique Khan, A. Mian, Safeer, U., & 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). A pplication and veification of fuzzy algebraic 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.
- 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.
- 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), 94-73.

- Mohammadnia, M., & Fallah Qalhari, G. (۲۰۱۸). 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, ۱۸(۴۸), ۱۳۰-۱۱۵.
- Najafi Igdar, 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.
- 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), ۱۶-30.
- Ramesht, M. (1993). Geography of Soils, Tehran University.
- 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, M., Shirani, K. & Shirani, M. (1400). Prioritization of factors affecting the occurrence 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.
- Sanders, M. H., & Clark, P. D. (2010). Geomorphology: Processes, Taxonomy and Applications: Nova Science Publishers, Inc. (۲۰۱۰), 216.
- Tavusi, T., & DelAra, Q. (2010), Climate zoning of Ardabil province: Scientific and Technical Journal of Niwar, 70& 71(6), 47-52.
- Yalcin, A. (۲۰۰۸). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): of results and confirmations. CATENA. ۱۶ (۷۲), 1-۱۲.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A., & Yomraliglu, T. (2011). A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics methods for land slide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. Geomorphology. 8 (85), 274-287.