



Balkh International Journal of Natural Science

ISSN – P 3136 -9502 E: 3136- 9499

Vol. 1 NO.2 2025

URL: <https://bjns.ba.edu.af/index.php/bjns>

تحليل و بررسی مناطق لغزشی احجار کربناتی ولسوالی مارمل ولایت بلخ با
استفاده از تکنالوژی RS GIS

Analysis and Investigation of Carbonate Rock Landslide Areas in Marmal District, Balkh Province Using RS GIS Technology

AUTHORS: Mustafa Ormal¹ Abdulkhalil khalil², Barakatullah Rasekh³

1.Senior Teaching Assistant, Department of Mining Engineering, Faculty of Mining and Environmental Engineering, Balkh University, Mazar-e-Sharif, Afghanistan.

2. Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Faculty of Mining and Environmental Engineering, Balkh University, Mazar-e-Sharif, Afghanistan.

3. Teaching Assistant, Department of Mining Engineering, Faculty of Mining and Environmental Engineering, Balkh University, Mazar-e-Sharif, Afghanistan.

Corresponding Author Name: Mustafa Ormal, Balkh University, Mazar-e-Sharif, Afghanistan.

Received: 21/1/2026 Accepted: 7/6/2026 Published: 19/7/2026

¹. Email: mustafaormal786@ba.edu.af

Orcid iD: [0009-0002-7698-2031](https://orcid.org/0009-0002-7698-2031)

². Email: Akhlil.mmm@gmail.com

Orcid iD: [0009-0006-7176-6638](https://orcid.org/0009-0006-7176-6638)

³. Email: Barakatullahrasekh786@gmail.com

Orcid iD: [0009-0005-4121-0631](https://orcid.org/0009-0005-4121-0631)

ABSTRACT

This research analyzes and investigates the landslide areas of carbonate rocks in Marmal district of Balkh province using remote sensing technology, in order to find a solution for identifying landslide areas in Marmal district. Due to the large problems of the study area, remote sensing is the best method of study. Remote sensing alone is not sufficient to detect landslide areas; field studies and previous research works must also be used. Over the past several years, a number of our compatriots have suffered severe financial and human losses due to landslides. Therefore, it is imperative that landslides in Marmal district be investigated using remote sensing technology methods. The results of this study indicated that all the lands of the district are divided into five categories of landslide potential risk. One of the important factors in landslides in this area is carbonate rock. Because this rock is soluble, it dissolves and creates voids, such that in the upper part of the eastern side of the Behrab village valley, limestone rocks have created fractures that, if water accumulates in this area, cause landslides. In addition, in the lower part of this area, due to the high inclination of the rocks, they have partially slipped and the limestone rocks have appeared white. From the assessment of Behrab village with Parvaz Payin village, which had experienced landslides in previous years, it is concluded that Behrab village is under very high landslide risk.

Keywords: Remote Sensing, Landslide, Marble, Model, Map.

چکیده

این تحقیق به تحلیل و بررسی ساحات لغزشی احجار کاربناتی در ولسوالی مارمل ولایت بلخ با استفاده از تکنالوژی ریموت سنسنگ می‌پردازد، تا راه حل برای شناسایی ساحات لغزش زمین ولسوالی مارمل دریافت گردد، بنابر مشکلات بزرگی ساحه مورد مطالعه بهترین شیوه مطالعه سنجش از راه دور می‌باشد. تنها روش سنجش از راه دور برای تشخیص مناطق لغزش زمین کافی نبوده بلکه مطالعات ساحوی و آثار تحقیقی قبلی هم باید استفاده شود. در جریان چندین سال گذشته تعداد از هم‌وطنان ما خسارات ناگوار مالی و جانی توسط پدیده لغزش زمین دیده‌اند، بنابر ضرورت مبرم می‌باشد تا لغزش‌های ولسوالی مارمل با استفاده از میتودهای تکنالوژی ریموت سنسنگ مورد بررسی قرار گیرد. نتایج بدست آمده از این تحقیق بیان داشت که تمام اراضی ولسوالی را به پنج کتگوری خطر پوتانسیل لغزش زمین تقسیم گردیده است، یکی از فکتورهای مهم در لغزش زمین این منطقه عبارت از سنگ کاربناتی می‌باشد. چون این سنگ با قابلیت انحلال که دارد، منحل شده و خالیگاه‌ها را به وجود می‌آورد طوری که در قسمت فوقانی جناح شرقی دره قریه بهراب احجار آهکی شکستگی را بوجود آورده که در صورت تجمع آب در این ناحیه باعث لغزش زمین می‌گردد، بر علاوه در قسمت پایین این ساحه به دلیل میل

زیاد احجار قسماً لغزش نموده و احجار چونه به صورت سفید رنگ نمایان گردیده است. از ارزیابی قریه بهراب با قریه پرواز پایین که در سال‌های قبل لغزش زمین صورت گرفته بود چنین نتیجه می‌شود که قریه بهراب تحت خطر زمین لغزش بسیار بلند قرار دارد.

کلمات کلیدی: سنجش از راه دور، لغزش، مارمل، مودل، نقشه.

۱. مقدمه

الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ وَالصَّلَاةُ وَالسَّلَامُ عَلَى سَيِّدِ الْمُرْسَلِينَ وَعَلَى آلِهِ وَصَحْبِهِ أَجْمَعِينَ. لغزش زمین عبارت از حرکت و بیجایی بخش از مواد دامنه کوه‌ها به طرف شیب در امتداد یک سطح پر میلان مشخص می‌باشد، لغزش زمین در نتیجه فعالیت آب‌های زیرزمینی و هم چنان آب‌های سطحی خصوصاً در مناطق که احجار کاربناتی باشد، بوجود می‌آید. حجر کاربناتی (آهک) یک مواد معدنی رسوبی و بسیار فراوان است. با توجه به میل ترکیبی آهک با فلزات، سنگ آهکی معمولاً با آهن و مگنیزیم و ... ترکیب شده است که سبب کاهش خلوص آن می‌شود.

ترکیبات اصلی آن کلسیت و آراگونیت می‌باشد. حدود ۱۰ درصد از احجار رسوبی سازنده قشر زمین آهکی است و اکثر احجار آهکی از فسیل موجودات زنده نظیر مرجان‌ها ساخته شده‌اند. ترکیبات آهک معمولاً حاوی سیلیکا و خاک رس هستند که توسط آب دریا‌ها حمل می‌شوند ولی برخی دیگر از مواد معدنی نظیر کلسیت و آراگونیت، مواد هایی مانند تراورتن را تشکیل شده‌اند که معمولاً در سفره‌های آب زیر زمینی وجود دارد.

آهک موجود در طبیعت به شکل کریستال، گرانول یا سنگ ایجاد شده و با توجه به شرایط پیدایش به صورت کلسیت، کوارتز، دولومیت، باریت و تراورتن خواهد بود. لغزش زمین به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی مهم همه ساله موجب خسارات فراوان مالی، جانی و تخریب منابع طبیعی می‌شود (سهاک، ۱۳۹۵). مکانیسم‌های اختصاصی لغزش در احجار کاربناتی به عنوان مبنای تئوریک جهت انتخاب و وزن‌دهی به فاکتورهای مدل‌سازی تعیین شده‌اند؛ به‌طوری‌که پدیده کارستی شدن ضرورت استفاده از فاکتور لیتولوجی با تأکید بر واحدهای آهکی و دولومیتی را ایجاد کرده و نقش شکستگی‌های تکتونیکی باعث گردیده تا فاکتور «فاصله از شکستی‌ها» به عنوان محرک اصلی نفوذ آب و جدایش بلاک‌های سنگی وزن بالایی دریافت کند. همچنین، وجود سطوح ضعیف بین طبقه‌ای و پتانسیل ایجاد لغزش‌های انتقالی، انتخاب فاکتورهای شیب و جهت شیب را مستقیماً با هندسه طبقات سنگی مرتبط ساخته است تا مدل نهایی بتواند ناپایداری‌های ناشی از فشار منفذی در لایه‌های لغزنده را به درستی پیش‌بینی نماید (Reichenbach & Reichenbach, 2023).

این تحقیق را یک امر مهم برای خود پنداشته و جهت تکمیل و شناسایی مناطق لغزش زمین که جان و مال مردم محل را در خطر می‌اندازد نهایت تلاش خویش را به خرج داده‌ام. از اینکه عوامل مختلف باعث لغزش زمین می‌شود بنأ هر کدام از واحدهای متغیر را بررسی و ارزیابی نموده تا نتیجه خوب از

تحقیق خویش بدست آوریم. میتودهای مختلف جهت ارزیابی لغزش زمین بوده اما بهترین روش میتود FR و AHP می باشد که تمام فکتورهای متغیر را مورد ارزیابی قرار داده تا نقشه ساحات احتمالی لغزش تهیه شود. هدف عمده این تحقیق شناسایی ساحات لغزشی؛ کاربرتاتی، دریافت عامل عمده لغزش زمین و همچنان با استفاده از نقشه ها آنرا تثبیت و به اساس پوتانسیل لغزش زمین بخش بندی می گردد. لغزش زمین نیز از جمله حوادث طبیعی بوده که باعث تلفات و زیان های مالی زیاد می گردد، و در زمان وقوع آن باعث تخریب تأسیسات، خانه ها، ساختمان ها، تخریب مسیر سرک، و غیره منابع طبیعی و عام المنفعه می گردد؛ بنا بر همین دلیل انجیران جیولوج در سراسر کره زمین از روش های متفاوت برای نقشه برداری ساحات تحت تأثیر خطر لغزش زمین استفاده نموده اند (سهاک، ۱۳۹۵) (اخلاقی، ۲۰۲۰).

در تحقیقات قبلی از میتودهای مختلف جهت آشکار ساختن استفاده به عمل آمده است، اما کار ساحوی بالای احجار صورت نگرفته است، از جمله میتود انجام شده مودل (FR) و (AHP) تحقیق ذبیح الله ذاکر بالای لغزش های سالنگ ولایت پروان بوده، موصوف توسط میتود (FR) لغزش ساحه سالنگ را با استفاده از لغزش های قبلی بررسی تحلیل و نقشه برداری نموده است. هم چنان با استفاده از میتود (AHP) لغزش زمین را به اساس تحلیل (جیولوجیکی، هایدرو جیولوجیکی، لیتولوجیکی، مورفولوجیکی) بخش بندی و نقشه برداری نموده که ساحه ولسوالی سالنگ از نگاه خطرات وقوع زمین لغزش به پنج کتگوری تقسیم نموده که عبارت اند از: مناطق بدون خطر با مساحت 132 Km^2 ، مناطق با خطر پائین 196 Km^2 ، مناطق با خطر متوسط 96 Km^2 ، مناطق با خطر بلند 49 Km^2 ، و مناطق با خطر بسیار بلند 47 Km^2 می باشد (ذاکر، ۲۰۲۰) (Fakhri, 2019). ابراهیمی مقدم و نژاد، (۲۰۲۰ م) تحقیق خویش را به اساس مودل (AHP) انجام داده که هفت عامل لغزش (میل، زلزله، لیتولوجی، مسیر آب، مورفولوجی، مقدار بارندگی و کاربرد اراضی منطقه) را مورد ارزیابی قرار داده و لغزش ها را منطقه بندی نموده است.

اما از لغزش های گذشته و ارتباط آن با لغزش فعلی که تنها توسط میتود (FR) انجام می شود تحریر نگردیده که نتیجه آن همه جانبه نمی باشد. شواهد تحقیق کافی در منطقه و کشورهای آسیایی وجود دارند که نمایانگر اهمیت لغزش می باشد از جمله میتود (FR) در پیشبینی های لغزشی منطقه منجیل ایران ناشی از زلزله ها بررسی نموده که اطلاعات مفیدی را از نقطه نظر مقایسه اهمیت پارامترهای مستمر کننده لغزش (مانند واحدهای جداگانه جیولوجیکی، میل، ارتفاع، فاصله از شکستگی) و پارامترهای زلزله به عنوان تحریک کننده لغزش نتیجه گیری شده است (رجبی و دیگران، ۱۳۹۱).

لغزش زمین در احجار کاربرتاتی (LSC - Landslides in Carbonate Rocks) به دلیل ویژگی های منحصر به فرد انحلال پذیری و ساختار بلوری این سنگ ها، از پیچیده ترین انواع ناپایداری های دامنه ای محسوب می شود. در ادامه این پدیده در چهار بخش کلیدی بر اساس مقالات معتبر علمی تشریح شده است.

الف. مکانیسم انحلال و تشکیل کارست (Karstification)

سنگ‌های کربناتی (آهک و دولومیت) به شدت در برابر آب‌های اسیدی (حاوی CO_2) واکنش دهنده هستند. این پروسه باعث ایجاد خلاهای انحلالی می‌شود. زمانی که سقف این حفره‌ها نازک شود، پایداری کتله احجار از بین رفته و منجر به فروپاشی ناگهانی یا لغزش‌های بزرگ مقیاس می‌شود. این پدیده با سایر احجار رسوبی متفاوت است زیرا ناپایداری از درون کتله احجار آغاز می‌گردد (Gutiérrez et al., 2014).

ب. سطوح لغزش ناشی از طبقات ضعیف

در طبقه بندی‌های کربناتی، لایه‌های ضعیفی مانند گل رس، شیل یا خاکستر آتشفشانی مابین طبقات سخت آهکی قرار دارند. این لایه‌ها به عنوان "سطوح صیقلی" عمل می‌کنند. نفوذ آب به این سطوح، فشار منفذی را افزایش داده و پیوند بین طبقات را سست می‌کند، که نتیجه آن لغزش‌های انتقالی (Translational Slides) در ابعاد بسیار بزرگ است (Hung et al., 2014).

ج. نقش درزها و شکستگی‌های تکتونیکی

سنگ‌های کربناتی به دلیل ماهیت شکنندگی (Brittle)، در اثر فعالیت‌های تکتونیکی دچار درزرداری شدید می‌شوند. وجود این درزه‌ها باعث می‌شود که توده سنگ به بلاک‌های مجزا تقسیم شود. نفوذ یخبندان در این شکاف‌ها (Frost Wedging) و یا فشار آب، باعث جدا شدن بلاک‌ها و ایجاد سقوط احجار (Rockfall) یا واژگونی (Toppling) می‌شود (Waltham, 2005).

د. لغزش‌های عظیم احجار (Rock Avalanches)

در مناطق کوهستانی، احجار کربناتی مستعد ایجاد "راک اولانش" هستند. در این حالت، حجم عظیمی از احجار آهک پس از گسیختگی، به دلیل خرد شدگی شدید و محبوس شدن هوا یا آب در زیر توده، با سرعت بسیار بالا حرکت کرده و مسافت‌های طولانی را طی می‌کند. این رفتار به ویژه در شیب‌های تند کربناتی دیده می‌شود (Wymer, 2000).

فروزانفر و دیگران (۱۳۹۲ هـ.ش) تحقیق خویش را در مورد تهیه نقشه لغزش زمین با استفاده از نسبت فرکونسی (فراوانی) FR و پروسه تحلیل سلسله مراتبی AHP در حوزه آبخیز تالار ایران، عامل عمده لغزش ساحه را ساخت و ساز ساختمان ارزیابی نموده که باعث افزایش وزن در دامنه ناپایدار گردیده و باید از لحاظ مورفولوژیکی و جیولوژیکی قبل از اعمار ساختمان منطقه بررسی گردد. هم‌چنان تحقیق تهیه نقشه حساسیت لغزش زمین با استفاده از مدل تلفیقی نسبت فریکونسی (FR) و پروسه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و کاربرد مشترک آن در زون بندی مناطق پرخطر لغزش زمین ارتفاعات جنوبی بنالود (حوضه دررود) ایران انجام شده که نتیجه آن در این راستا ده عامل مؤثر در بروز لغزش‌ها در حوضه مطالعاتی شناسایی و طبقات اطلاعاتی مربوط به این عوامل تهیه و وارد نرم افزار Arc GIS نموده و نتیجه آنرا به صورت مقاله ضمیمه با نقشه‌های لغزش در دانشگاه حکیم سبزواری ایران ارائه کردند (محمدنیا و دیگران، ۱۳۹۴). بیش از ۸۰ فیصد کتله‌های زمین در افغانستان در معرض خطر

لغزش قرار دارند و علت معمول آن کوهستانی بودن اراضی و آسیب پذیر بودن نوعیت خاک است. بیشترین مردم تحت خطر لغزش زمین در ولایات بدخشان، دایکندی، بامیان، بادغیس و غور زیست قرار دارند. شکست و لغزش دامنه‌های تپه در قریه آب باریک بدخشان در شمال شرق افغانستان در سال ۲۰۱۴ منجر به تلف شدن تعداد زیادی از باشندگان محل و تخریب کلی منازلشان گردیده است (Sayah, 2020) (andma, 2021).

تحقیق شبیه سازی فرسایش سنگ های کاربناتی از زمین لغزشها با استفاده از مدل GeoWEPP (مطالعه موردی: حوضه گرمچای میانه) که توسط جمشید یار احمدی محصل دکترا کشور ایران می باشد تحقیق گردیده اما در نتیجه گیری موصوف بیان نموده است که مقدار رسوبات واقعی نیست بناً به تحقیقات هر چی بهتر آینده پیشنهاد می گردد که رسوبات ساحه از نزدیک بررسی گردد (یار احمدی، ۱۳۹۲). بر علاوه تحقیقات در زمینه لغزش زمین در پاکستان شمالی با استفاده از مدل (FR) انجام شده که در نتیجه آن نقشه حساسیت لغزش زمین توسط عکس فضایی ماهواره Spot-5 ترتیب شده و توسط تحلیل مدل مذکور ۱۷,۳۱٪ ساحه مذکور را پوتانسیل لغزش خیز تثبیت نمودند (Khan et al., 2018). پتاک (2016) تحقیق خویش را به اساس نقشه برداری ساحات لغزشی همالیا انجام داد، ساحه همالیا را به اساس درجه احجار میتامورفیکی از درجه پایین به بالا تقسیم بندی نموده هم چنان احجار کاربناتی (کلسیت و دولومیت)، موصوف دریافت که بیشتر لغزش زمین در مناطق بریده شده توسط دریا و شاهراه ها می باشد. چون ساحه مذکور متشکل از چین خوردگی ها و شکستگی ها بوده بناً ساحه عریان را به وجود آورده و لغزش مناطق را فعال می سازد. اما از ساحات بدون مقطع بررسی نشده که تحقیق آن را نا تکمیل می سازد (Pathak, 2016). برتری این تحقیق نسبت به مطالعات پیشین در تمرکز تخصصی بر مکانیسم های انحلال (کارستی شدن) و رفتارهای لیتولوجیکی منحصربه فرد احجار کاربناتی منطقه مارمل نهفته است که فراتر از تحلیل های عمومی مورفولوجیکی عمل می کند. این تحقیق با تلفیق تکنولوژی های RS و GIS، خلأ موجود در پیش بینی ارتباط لغزش های گذشته و حال را پوشش داده و برای نخستین بار مدلی بومی سازی شده از نقش شکستگی های تکتونیک و لایه های ضعیف بین سنگی در ناپایداری دامنه های شمال افغانستان ارائه می دهد. در نهایت، دقت این تحقیق با عبور از بن بست های محاسباتی مدل های صرفاً تئوریک، بر پایه تحلیل های دقیق ساختاری و جیولوجیکی استوار می باشد.

۲. مواد و روش تحقیق

لغزش زمین در احجار کاربناتی را با استفاده از تکنالوژی جدید ریموت سنسنگ و هم چنان با استفاده از برنامه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به صورت حساس و دقت بالا با مطالعه فکتور های اصلی لغزش یعنی لیتولوجی، فاصله از شکستگی های تکتونیک، پوشش اراضی، ارتفاع، درجه میلان، جهت میلان طبقات، انحنا طبقات، مقدار بارندگی سالانه، فاصله از دریا و فاصله از شکستگی ها با زمین لغزش های موجود در ساحه تحلیل و انالیز می گردد، تحلیل نمودن تصاویر ماهواره ای لندست ۸ ساحه

مارمل با کیفیت مکانی (۳۰ متر) و تصاویر مودل ارتفاعی (DEM)، مناطق که تحت تأثیر خطر لغزش زمین قرار دارد را توسط مودل های AHP و FR تثبیت نموده و پوتانسیل خطر آن محاسبه می گردد.

۳. یافته های تحقیق

ولسوالی مارمل در منطقه راسبه افغانستان قرار گرفته و قیمت اعظم احجار آن کاربناتی (آهک و دولومیت) میباشد، احجار مذکور در اثر آب ها، میل طبقات و دیگر فکتور ها باعث لغزش میشود که در بخش زیر هر یک را بررسی نموده ام:

۳. ۱. نتایج میتود نسبت تناوب (Frequency)

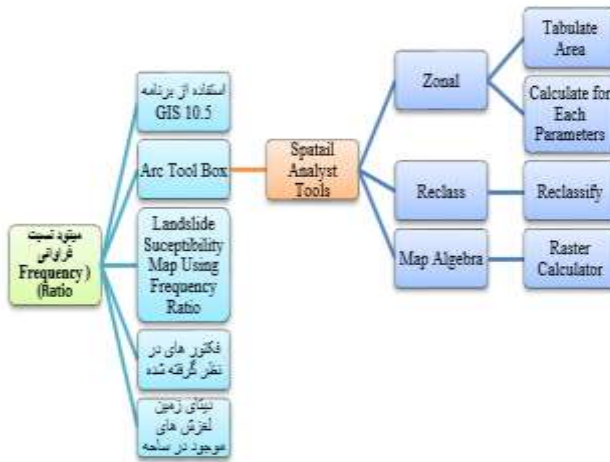
این میتود با استفاده از حاصل تقسیم تعداد از پیکسیل های که در آن زمین لغزش صورت گرفته بر تعداد مجموعی پیکسیل در هر کلاس می باشد. در قدم اول باید با استفاده از Google Earth ساحات که در آن زمین لغزش قبلاً صورت گرفته است سر حد بندی نموده و بعداً آنرا به فایل mkl ذخیره نموده تا از آن در برنامه GIS بکار گرفته شود. برای استفاده از میتود نسبت فریکونسی فکتور های مختلف را از جمله لیتولوجی، فاصله از شکستگی های تکتونیکی، پوشش اراضی، ارتفاع، درجه میلان، جهت میلان طبقات، انحناى طبقات، مقدار بارندگی سالانه، فاصله از دریا و فاصله از شکستگی ها با زمین لغزش های موجود در ساحه تحلیل و انالیز می گردد. و بعداً قیمت نسبت فریکونسی از هر کلاس بدست آورده می شود. و برای تثبیت و ارزیابی ساحات آسیب پذیر ساحه از قیمت های نسبت فریکونسی استفاده گردیده است. روش محاسبه میتود نسبت فریکونسی (این فورمول در پروگرام GIS به اساس پیکسیل های تصویر ارزیابی میگردد) عبارت اند از:

$$Fr_i = \frac{N_{Pix(SI)} / N_{Pix(NI)}}{\sum N_{Pix(SI)} / \sum N_{Pix(NI)}}$$

$N_{Pix(SI)}$: تعداد پیکسیل های هر کلاس که در آن زمین لغزش صورت گرفته است.

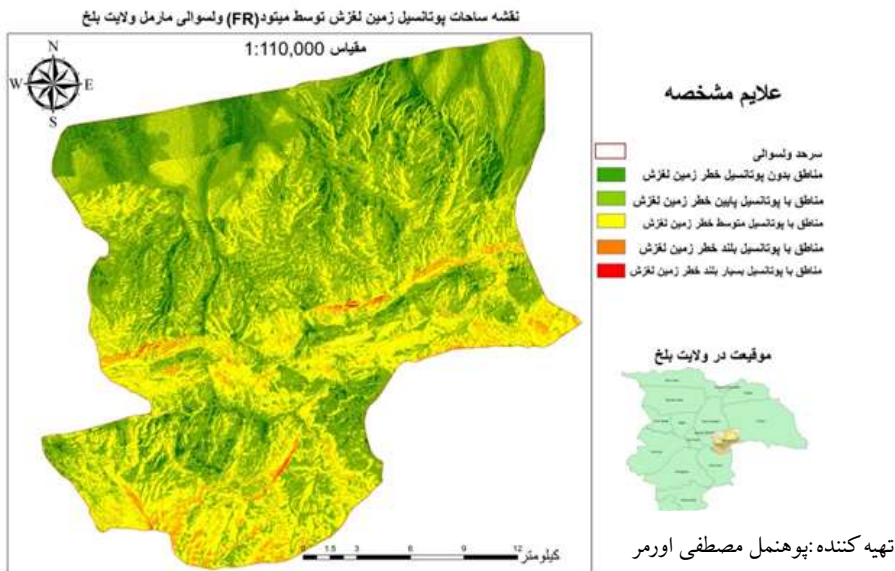
$N_{Pix(NI)}$: مجموعه تعداد پیکسیل های هر کلاس (ذاکر، ۲۰۲۰).

روش نسبت فریکونسی را قرار شیمای ذیل می باشد.



شکل (۱) شمای فوق مسیر کار شیوه میتود FR را نشان می دهد.

که در نتیجه تحلیل و تجزیه تمام معلومات استفاده شده در این میتود ساحات آسیب پذیر ساحه مارمل را توسط میتود نسبت فروانی به پنج بخش جدا نمودیم، که عبارت اند از: ساحات بدون خطر، ساحات با خطر پائین، ساحات با خطر متوسط، ساحات با خطر بلند و ساحات با خطر بسیار بلند می باشد. که قرار شکل (۴-۲۱) نشان داده شده است.



شکل (۲) نقشه ساحات پوتانسیتل زمین لغزش توسط میتود FR ولسوالی مارمل

۲.۳. روش تحلیل سلسله مراتب

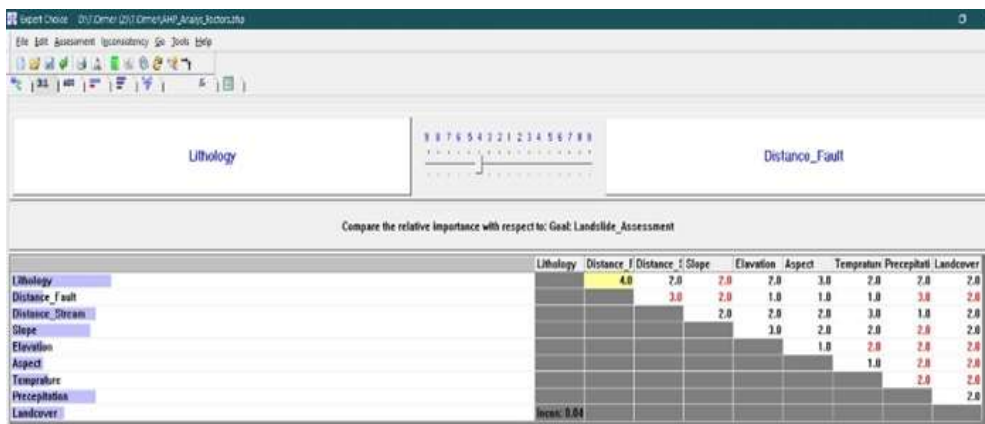
این میتود با استفاده از پروگرام Expert Choice و فکتورهای که از مورد ارزیابی را در آن ارقام داده، با مقایسه هر یک فکتور ها با دیگر فکتور ها و نمره بندی آنها از ۱ الی ۹ دریافت کرد. روش تحلیل سلسله مراتب (AHP)، توسط توماس ساتی در سال (۱۹۸۰ م)، معرفی شده، یک روش تصمیم گیری در امورات پیچیده است. و ممکن است که به تصمیم گیرنده کمک کند، تا اولویت ها را تعیین کند و بهترین تصمیم را بیگیرد. این روش به صورت دو به دو و یا هم به صورت تناسبی در تصمیم گیری کمک می کند. علاوه بر آن روش (AHP) شامل یک روش مفید برای بررسی سازگاری ارزیابی های تصمیم گیرنده است، بنا براین در روند تصمیم گیری اشتباهات را کاهش می دهد (Fakhri, 2019).

میتود AHP یا سیستم تحلیل مراتبی با استفاده از فکتور های که توسط برنامه ARC GIS انجام دادیم و نقشه های آن قبلاً تشریح شد، تحلیل می کند. طوریکه هر یک از فکتور ذکر شده بالای لغزش زمین اثر خود را دارد بنا از طریق برنامه Expert Choice با هم مقایسه نموده تا تحلیل سلسله مراتب صورت گیرد. نتیجه اعداد را که از برنامه Expert choice دریافت نمودیم در برنامه Exell نام گذاری نموده و اعداد را وارد آن می سازیم، بعداً با استفاده از فورمول متریکس ایکسیل آنرا به اعداد عمومی هر فکتور ضرب نموده تا قیمت AHP نمایان گردد. در اخیر تمام قیمت ها را با استفاده از برنامه ARC GIS برای هر یک فکتور داده و با استفاده از Lookup نتیجه نهایی برای ما آشکار می گردد. روش (AHP) را محاسبات را به صورت ماتریکسی انجام می دهد، و در سه مرحله محاسبه می نمائید، که عبارت اند از: محاسبه وزن فکتورها، محاسبه ماتریکس فکتورها، رتبه بندی گزینه ها می باشد.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix}$$

شکل (۳) شیمای فورمول متریکس

در تحقیق ذیل برای استفاده از روش تحلیل سلسله مراتب (AHP) از برنامه (Expert Choice) که در شکل (۴-۲۳) محیط کاری آن نشان داده شده، استفاده گردیده که در تصمیم گیری های چند شاخصه خیلی کمک می کند. در برنامه فوق تمام فکتورهای که جهت ارزیابی پوتانسیل ساحات آسیب پذیر مارمل در نظر گرفته شده بود، به صورت دو به دو و تناسبی محاسبه گردیده که در اخیر قیمت (AHP) را بدست آوردیم.



شکل (۴) تحلیل فکتور های AHP در برنامه Expert Choice

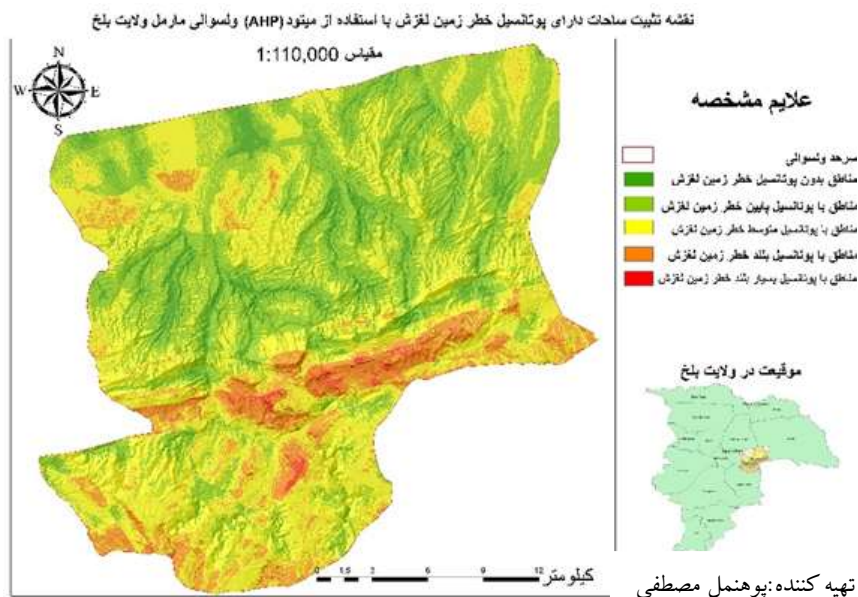
در قدم دوم از هر فکتور صنف‌های فرعی آن را نیز به مانند فکتورهای عمده به صورت دو به دو و یا نسبتی محاسبه نمودیم، که بعداً وزن نهایی آن را در برنامه (Ms.Excil) محاسبه نمودیم. که قرار جدول ارائه گردیده است.

بر اساس نتایج روش تحلیل سلسله مراتب (AHP) ساحه ولسوالی مارمل از نگاه خطر احتمالی زمین لغزش به پنج قسمت تقسیم گردیده، که عبارت‌اند از: ساحات بدون پوتانسیل خطر زمین لغزش، ساحات با خطر پائین، ساحات با خطر متوسط، ساحات با خطر بلند و ساحات با خطر بسیار و یا خطرناک پوتانسیل خطر زمین لغزش می‌باشد.

باید گفت که مراحل کاری تثبیت و ارزیابی ساحات آسیب پذیر خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتب (AHP) در برنامه (GIS) هم مانند روش نسبت فریکونسی (FR) بوده که قیمت بدست آمده از تحلیل سلسله مراتب را در جدول توصیفی هر بخش اضافه نموده و بعداً از طریق ذیل نتیجه نهایی را بدست می‌آوریم.

Arc Map\Arc Toolbox\Spatial Analyst Tools\Reclass\Lookup

صنف بندی ساحات از نگاه خطر زمین لغزش توسط روش تحلیل سلسله مراتب قرار شکل (۴-۲۴) نشان داده شده است. نتایج کار بالای میتود AHP در جدول (۴-۲) با مشخصات آن درج گردیده است. با استفاده از اطلاعات فوق نتایج آن در نقشه (۴-۲۴) ارزیابی شده است که هر یک ساحات با پوتانسیل خطر تقسیم بندی شده و بعداً توسط برنامه GIS به رنگ‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل (۵) نقشه ساحات پوتانسیل خطر لغزش زمین توسط میتود AHP

تحلیل نقشه‌های لغزش زمین در ولسوالی مارمل نشان می‌دهد که صرفاً وجود یک فاکتور باعث وقوع لغزش نیست، اما ترکیب شیب‌های بحرانی (۳۰ تا ۴۰ درجه) و واحد لیتولوژی (احجار کربناتی) بیشترین وزن تأثیرگذاری را در مدل‌سازی داشته‌اند. مشاهدات میدانی در زون‌های با خطر بلند و بسیار بلند (نواحی سرخ‌رنگ در نقشه AHP) تأیید می‌کند که سنگ‌های آهکی شکننده در دامنه‌های تند، به دلیل مکانیسم‌های انحلال و وجود شکستگی‌های تکتونیکی، پایداری خود را از دست داده‌اند. طبقات ضعیف احجار و فشار منفذی را عامل اصلی لغزش‌های انتقالی در کارست‌ها می‌دانند، همخوانی کامل دارد. در واقع، تجمع نقاط داغ خطر در امتداد ساختارهای جیولوجیکی منطقه، نشان‌دهنده اولویت بالای فاکتور لیتولوژی نسبت به سایر عوامل در این حوضه است.

۳.۳. مقایسه دو میتود

بعد از انجام دو میتود آنرا به صورت مقایسه وی بررسی می‌کنیم، قسمیکه در نقشه‌ها دیده می‌شود ساحات پوتانسیل لغزش زمین در هردو با مناطق مشابه اشاره نموده اما مقدار آن متفاوت می‌باشد. در جدول (۱) میتود AHP به اساس کیلومتر ساحات مذکور را مشخص نموده است.

جدول (۱) محاسبه مساحت ساحات تحت خطر زمین لغزش توسط میتود AHP

تقسیم بندی مناطق از نگاه پوتانسیل خطر زمین لغزش توسط میتود AHP	مساحت به کیلومتر مربع
مناطق بدون خطر پوتانسیل زمین لغزش	35.44
مناطق با خطر پایین پوتانسیل زمین لغزش	214.1
مناطق با خطر متوسط پوتانسیل زمین لغزش	243.82
مناطق با خطر بلند پوتانسیل زمین لغزش	63.14
مناطق با خطر بسیار بلند پوتانسیل زمین لغزش	3.38
مساحت مجموعی ولسوالی مارمل به کیلومتر مربع	559.88

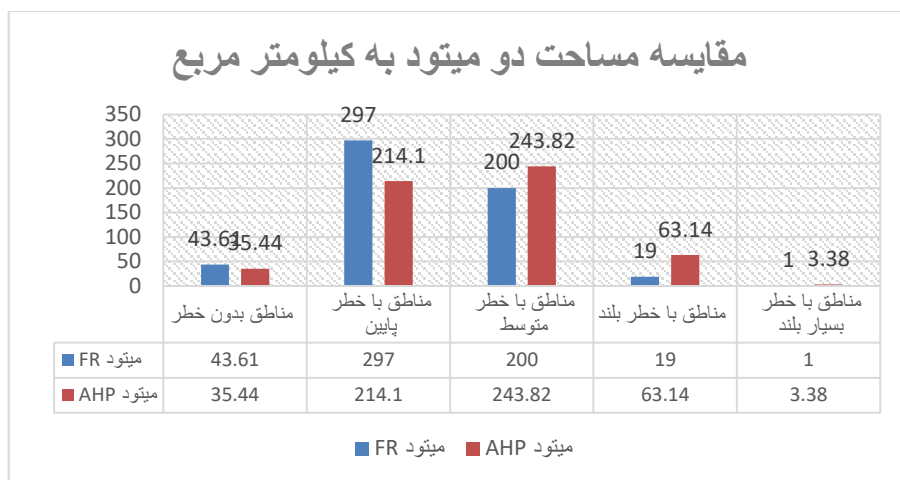
در جدول (۱) مناطق به اساس میتود FR به کیلومتر نشان داده شده است.

جدول (۲) محاسبه مساحت ساحات تحت خطر زمین لغزش توسط میتود FR

تقسیم بندی مناطق از نگاه پوتانسیل خطر زمین لغزش توسط میتود FR	مساحت به کیلومتر مربع
مناطق بدون خطر پوتانسیل زمین لغزش	43.61
مناطق با خطر پایین پوتانسیل زمین لغزش	297
مناطق با خطر متوسط پوتانسیل زمین لغزش	200
مناطق با خطر بلند پوتانسیل زمین لغزش	19
مناطق با خطر بسیار بلند پوتانسیل زمین لغزش	1
مساحت مجموعی ولسوالی مارمل به کیلومتر مربع	560.61

علت اصلی بالاتر بودن مساحت زون‌های پرخطر در مدل AHP نسبت به FR، به ماهیت اطلاعات محور (Data-driven) بودن مدل FR بازمی‌گردد؛ این مدل تنها بر پایه لغزش‌های ثبت شده قبلی پیش‌بینی انجام می‌دهد. اما در مقابل، مدل AHP یک مدل دانش‌محور (Knowledge-driven) است که فراتر از سوابق تاریخی، پتانسیل‌های ذاتی و پنهان زمین (مانند ساختار کارستی و ضعف‌های لیتولوجیکی) را معیار قرار می‌دهد.

تحلیل نتایج دو میتود توسط چارت (۶) به صورت ذیل می‌باشد.



شکل (۶) چارت مقایسه مساحت پوتانسیل لغزش زمین به اساس کیلومتر مربع

۴.۳. معتبر سازی تحقیق توسط کار ساحوی

مطالعات ساحوی با میتود های کار شده صدق نموده و نماینگر درست بودن میتود کار و روش می باشد، کار ساحوی تحقیق و تثبیت ساحات احتمالی لغزش زمین ولسوالی مارمل با استفاده از میتود FR و AHP ریموت سنسنگ (RS GIS)، از اینکه این ولسوالی ولایت بلخ قسمت اعظم آن متشکل از احجار راسبه (سنگ چونه، دولومیت، آهک، سنگ ریگی، گل ها...) می باشد، به دلیل میل زیاد، موجودیت سنگ چونه، آب، گل نرم و غیره عوامل جیولوجیکی این ساحه تحت تأثیر لغزش زمین قرار گرفته است و حادثات دل خراش را بالای این ولسوالی در گذشته اعمال نموده است (مثال: لغزش قریه پرواز پایین و تخریب چندین خانه و زمین زراعتی). پس ضرورت مبرم بود تا ساحات پوتانسیل لغزش زمین شناسایی گردد. یکی از این ساحات قریه بهراب می باشد که به طرف شرق این ساحه به دلیل لغزش کناره های پایین این دره و شکست بالای آن دارای پوتانسیل احتمالی لغزش زمین می باشد، که باید توجه مردم و دولت در آن باشد.

عکس های از قریه پرواز پایین نشان دهنده آن است که منطقه مذکور دارای احجار آهکی بوده که منشأ عبور آب های جوی از قسمت زیرین خود می باشد خصوصاً در قسمت زیرین آن احجار رس مانند شکل (۷) وجود داشته باشد که نتیجه لغزش زمین گذشته شده است.



شکل (۷) سنگ کاربناتی قریه پرواز پایین که عامل لغزش این قریه می باشد.

در اثر مطالعات ساحوی که انجام دادم قریه بهراب که در قسمت شرقی قریه پرواز پایین موقعیت دارد، در یک ساختمان دره مانند قرار داشته و احجار دو جناح آن متشکل از آهک بوده که به قسم ابتدایی دو جناح لغزش خاک های صورت گرفته و احجار چونه به صورت واضح دیده می شود و هم چنان قسمت غرب این ساحه احجار مقدار کمی حرکت نموده که در نتیجه آن خانه های این قسمت درز پیدا نموده و یا تخریب شده است.

۴. مناقشه

لغزش زمین یک پروسه طبیعی و خطرناک می باشد که سالانه مقدار زیادی ضرر مالی و جانی سراسر جهان برای بشریت وارد می کند. و این به فکتور های ارتباط نزدیک با لغزش زمین در اجار کاربناتی دارد، مهم ترین فکتور آن لغزش مناطق توسط ترکیبات احجار، زلزله، ارتفاع، آب داریت طبقات می باشد. لغزش زمین در مناطق احجار غیر مستحکم مانند احجار راسبه و یا در احجار که قابلیت منحل شدن در آب را دارا باشد زیاد می باشد. از اینکه علم جیولوجی یک علم وسیع است و عامه افراد از درک آن عاجز بوده و این باعث اعمار منازل در مناطق احتمالی پوتانسیل زمین می گردد. که در نتیجه آن خسارات جانی و مالی بر آنان وارد می شود. پس برای ما ضرور است تا به حیث محقق این چنین ساحات را بررسی و برای عامه مردم توضیح و تشریح نمایم. در جهان میتود های مختلف وجود دارد که می توان توسط آن زمین لغزش را بررسی و ساحات پوتانسیل آنرا تثبیت نمود. از جمله میتود ها بهترین میتود برای تثبیت ساحات میتود FR و AHP می باشد. به دلیل اینکه اگر در ساحه تمام قسمت های آنرا تشخیص کنیم، زمان و مصرف زیادی ضرورت است تا یک چند صد کیلومتر مربع را مورد ارزیابی قرار دهیم. توسط میتود FR فکتور های مختلف در ساحه بررسی نموده و تعداد پیکسیل های آنرا در GIS محاسبه و آنرا مورد بررسی قرار می دهیم. اما میتود AHP با استفاده مقایسه و کار کرد فکتور ها توسط پروگرام Expert Choice مورد تحلیل و ارزیابی قرار می دهیم. اما بسیار تحقیق های که در مورد صورت گرفته است (در بخش پیشینه تحقیق ذکر شده است) از میتود ساحوی برای معتبر سازی آن

استفاده نموده است که در این همزمان از میتود های FR و AHP و میتود ساحوی برای معتبر نمودن این دو میتود استفاده صورت گرفته است تا به صورت دقیق تثبیت گردد.

۵. نتیجه گیری

از تحلیل دو نقشه معلوم می گردد که ساحات مرتفع و مناطق که در آن احجار کار بناتی وجود داشته باشد باعث ایجاد لغزش زمین می شود. هر یک از ساحات مذکور با رنگ متفاوت در نقشه ها نشان داده شده است. از مطالعات ساحوی معلوم گردید که یکی از فکتور ها در لغزش زمین این منطقه عبارت از سنگ آهک می باشد. چون این سنگ با قابلیت انحلال که دارد، منحل شده و خالیگاه ها را به وجود می آورد طوریکه در قسمت فوقانی جناح شرقی دره قریه بهراب احجار آهکی شکستگی را وجود آورده که در صورت تجمع آب در این ناحیه باعث لغزش زمین می گردد، بر علاوه در قسمت پایین این ساحه به دلیل میل زیاد احجار قسماً لغزش نموده و احجار چونه به صورت سفید رنگ نمایان گردیده است. از ارزیابی قریه بهراب با قریه پرواز پایین که در سال های قبل لغزش زمین صورت گرفته بود چنین نتیجه می شود که قریه بهراب تحت خطر زمین لغزش بسیار بلند قرار دارد. به اساس پرسش های که از مردم محل راجع به لغزش زمین صورت گرفته است نتیجه بر این شد که تا هنوز مردم محل راجع این خطر بزرگ جانی و مالی آگاهی نداشته و تحکیمات نیز صورت نگرفته است. از اینکه لغزش زمین در احجار کاربناتی یکی از خطرات جدی برای ساحه مارمل می باشد بنأ تحقیق آن یک امر ضروری است و می باشد. میتود AHP یا سیستم تحلیل مراتبی با استفاده از فکتور های که توسط برنامه ARC GIS انجام دادیم و نقشه های آن قبلاً تشریح شد، تحلیل می کند. طوریکه هر یک از فکتور ذکر شده بالای لغزش زمین اثر خود را دارد بنأ آنرا از طریق برنامه Expert Choice با هم مقایسه نموده تا تحلیل سلسله مراتب صورت گیرد. نتیجه اعداد را که از برنامه Expert choice دریافت نمودیم در برنامه Exell نام گذاری نموده و اعداد را وارد آن می سازیم، بعداً با استفاده از فورمول متریکس ایکسیل آنرا به اعداد عمومی هر فکتور ضرب نموده تا قیمت AHP نمایان گردد. در اخیر تمام قیمت ها را با استفاده از برنامه ARC GIS برای هر یک فکتور داده و با استفاده از Lookup نتیجه نهایی برای ما آشکار می گردد. میتود FR با تفاوت بر این اینکه در این میتود از لغزش های گذشته استفاده شده و هر یکی از فکتور به تعداد پیکسیل های که در آن لغزش قبلی صورت گرفته و حاصل تقسیم این پیکسیل ها نشان دهنده لغزش در همان فکتور می باشد طوریکه در هر فکتور این تعداد پیکسیل ها را دریافت نموده و توسط برنامه GIS آنرا توحید نموده تا تمام فکتور های که لغزش قبلی در آن صورت گرفته است را در یک نقشه نشان دهد.

پیشنهادهات

- پیشنهاد می گردد در تحقیقات آینده، به منظور افزایش دقت پیش بینی ها و کاهش خطای محاسباتی، از مدل های ترکیبی هوش مصنوعی و الگوریتم های بهینه سازی تکاملی (مانند الگوریتم جنتیک یا بهینه سازی کتله ذرات) برای تحلیل اطلاعات تجربی استفاده به عمل آید.

- با توجه به محدودیت‌های ذاتی مطالعات لابراتواری و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری، ارزیابی عملکرد و پایداری روش پیش‌نهاد شده در مقیاس نیمه‌صنعتی (Pilot-scale) و در شرایط عملیاتی واقعی معادن، به عنوان یک گام حتمی برای تحقیقات آینده برای محققان پیشنهاد می‌شود.
- بررسی تأثیر فکتورهای محیطی و هیدرولوجیکی بلندمدت (از جمله نوسانات آب‌های زیرزمینی و تغییرات اقلیمی منطقه) بر روی گراف استهلاک و رفتار جیومکانیکی سیستم مورد مطالعه، می‌تواند دیدگاه جامع‌تری را برای توسعه این تکنالوجی فراهم سازد.
- پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات بعدی، حساسیت سیستم نسبت به تغییرات هم‌زمان چندین پارامتر ورودی (Multi-parameter sensitivity analysis) ارزیابی شود تا بحرانی‌ترین فکتورهای تأثیرگذار شناسایی شوند.

۶. مآخذ

- ابراهیمی مقدم، ف.، و نژاد، ا.ع. (۱۳۹۳). *ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش استان کرمان با مدل‌های فازی و AHP* [پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان]. کتابخانه مرکزی دانشگاه باهنر.
- اداره ملی آمادگی مبارزه با حوادث. (ANDMA) (۲۰۲۱) *زمین‌لغزش در افغانستان*. بازیابی شده در ۱۰ دسامبر ۲۰۲۵، از <http://andma.gov.af/dr/>
- اخلاقی، ز. (۲۰۲۰، ۱۳ اپریل). *ولایت بلخ. سیستم جامع معلومات گردشگری افغانستان*. بازیابی شده در ۱۰ دسامبر ۲۰۲۵، از <https://atis.af/balkh-province/>
- ذاکر، ذ.ا. (۱۳۹۹). *تشیت و ارزیابی ساحات لغزشی و لسلوالی سالنگ ولایت پروان با استفاده از مودل‌های FR و AHP* [پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پوهنتون پولیتخنیک کابل]. آرشیف دیپارتمنت جیولوجی.
- رجبی، ع.م.، مهدوی‌فر، م.ر.، و خامه چیان، م. (۱۳۹۱). *کاربرد مدل نسبت فراوانی در پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله منجیل*. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۶(۲۱)، ۴۸-۳۵.
- سهاک، ن.ا. (۱۳۹۵). *جیولوجی عمومی*. انتشارات مستقبل.
- فروزانفر، م.، وهاب‌زاده، ق.، و پورقاسمی، ح.ر. (۱۳۹۲). *تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل تلفیقی نسبت فراوانی (FR) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)*. فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۳(۱)، ۷۸-۶۵.
- محمدنیا، م.، امیراحمدی، ا.، و سلگی، ل. (۱۳۹۳). *تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل تلفیقی نسبت فراوانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در حوضه دررود*. فصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران، ۲(۳)، ۵۶-۴۱.

یار احمدی، ج. (۱۳۹۲). شبیه سازی فرسایش و رسوب ناشی از زمین لغزش ها با استفاده از مدل GeoWEPP (مطالعه موردی: حوضه گرمچای میانه). مجله جغرافی و برنامه ریزی (دانشگاه تبریز)، ۱۷ (۴۴)، ۲۷۰-۲۵۳.

Fakhri, H. (2019). *Landslide hazard assessment using GIS and remote sensing technology for Jurm district of Badakhshan province* [Master's thesis, Kabul Polytechnic University].

Gutiérrez, F., Parise, M., De Waele, J., & Jourde, H. (2014). A review on newly introduced geo-hazards in karst areas. *Geomorphology*, 225, 28-52. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.004>

Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). *The Varnes classification of landslide types, an update*. *Landslides*, 11(2), 167-194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>

Khan, H., Bacha, A. S., Shafique, M., & Shah, S. S. (2018). *Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan*. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.03.004>

Pathak, D. (2016). *Knowledge based landslide susceptibility mapping in the Himalayas*. *Geoenvironmental Disasters*, 3(1), Article 14. <https://doi.org/10.1186/s40677-016-0048-2>

Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2023). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 422, 108520. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108520>

Sayah. (2020). *Salang Tunnel Pass and Natural Hazards*. Retrieved March 9, 2026, from <http://sayah.org/>

Waltham, T. (2005). *Foundations of engineering geology* (2nd ed.). Taylor & Francis.

Wymer, J. J. (2000). *Landslides in carbonate rocks*. *Geological Society of America Special Papers*, 349, 105-12