جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱٤۰۲، دوره۵، شماره٤، صص٥٢٤-٥١٦

شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز سد ایلام با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای

سمیرا کنعانی

کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز samirak126@gmail.com

تاریخ دریافت:۱٤۰۱/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۰/۲۲

چکیده

زمین‌لغزش به حرکت توده‌ای مواد بر روی دامنه گفته می‌شود که هرساله با خسارات جانی و مالی زیادی همراه است. مناطق مختلف تحت تأثیر وضعیت هیدروژئومورفولوژی و هیدرواقلیمی، پتانسیل‌های متفاوتی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند. یکی از مناطقی که در معرض این مخاطره قرار دارد، حوضه آبریز سد ایلام است به همین دلیل در این پژوهش به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در آن پرداخته شده است. در این پژوهش از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و لایه‌های مختلف اطلاعاتی به‌عنوان داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای تحقیق ArcGIS و Super Decision بوده است. در این تحقیق با استفاده از ۸ پارامتر (ارتفاع، شیب، جهت‌شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و کاربری اراضی) و مدل تلفیقی تحلیل شبکه‌ای (ANP) و منطق‌فازی، مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز سد ایلام شناسایی شده است. بر اساس نتایج حاصله، بخش‌های مرکزی و غربی منطقه پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند. درواقع، این مناطق به دلیل نزدیکی به خطوط گسلی، رودخانه و جاده اصلی، نوع کاربری و شیب زیاد، مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند. همچنین بخش‌های شرقی منطقه به دلیل نوع کاربری، دور بودن از خطوط گسلی، دور بودن از جاده و رودخانه، پتانسیل کمی جهت وقوع زمین‌لغزش دارند.

کلمات کلیدی: زمین‌لغزش، ANP، حوضه آبریز سد ایلام

DOI: 10.22034/GAHR.2023.377424.1785

شاپا الکترونیکی:645-3851

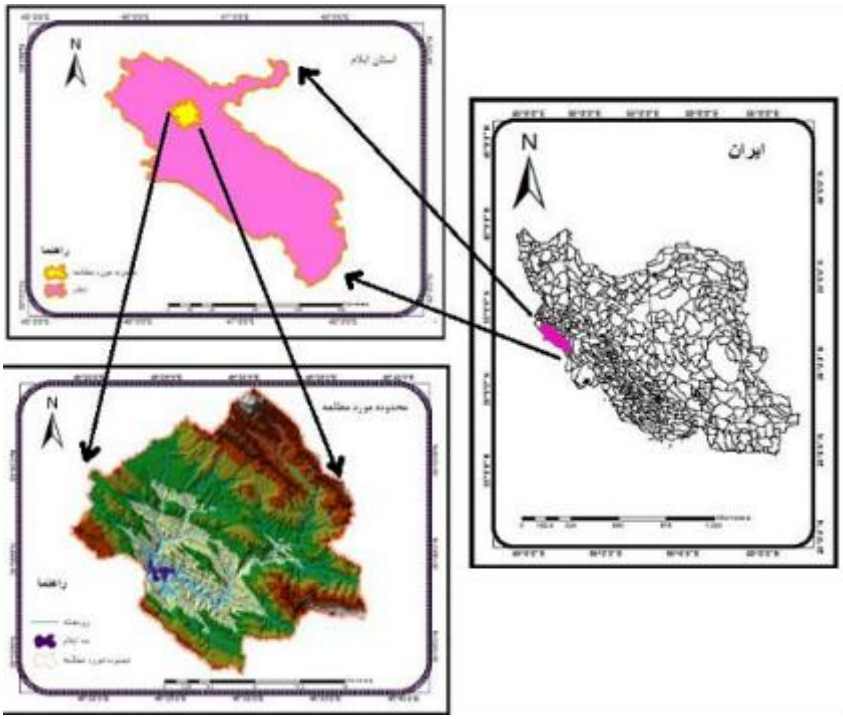
مقدمه

حرکات توده‌ای به حرکت حجم نسبتاً زیادی از مواد شامل سنگ و خاک روی یک زیربنای ثابت به دلایل مختلف گفته می‌شود که بر اساس شکل و عوامل ایجادکننده آن به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین نوع حرکات توده‌ای، زمین‌لغزش است (قویمی‌پناه و همکاران، ۱۳۹٦). لغزش‌ها در بسیاری از نقاط یک تهدید جدی برای جمعیت ایجاد می‌کنند (پتلی[1] ، ۲۰۱۲). بر روی لغزش پدیده‌های مختلفی تأثیرگذار هستند و در افزایش وقوع این پدیده نقش مستقیمی دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به بارش، ذوب برف، تغییرات دما، زلزله، فعالیت آتشفشانی، و فعالیت‌های انسانی اشاره کرد (کروزیر[2]، ۲۰۱۰). وقوع پدیده زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا و کشور ایران در شرایط مساعد رخ می‌دهد، موجب تخریب پوشش گیاهی، باغ‌ها، اراضی زراعی و حتی مرگ‌ومیرهای انسانی می‌شود (عابدینی، ۱۳۹۳). ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، از عمده شرایط طبیعی برای رخداد زمین‌لغزش‌ها برخوردار است (علیجانی و همکاران، ۱۳۸٦). یکی از مناطقی که در معرض وقوع این مخاطره قرار دارد، حوضه آبریز سد ایلام است. این حوضه به دلیل وضعیت هیدروژئومورفولوژی و شرایط هیدرواقلیمی که دارد، در معرض مخاطره زمین‌لغزش قرار دارد و به همین دلیل در این پژوهش به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در آن پرداخته شده است.

در مورد موضوع مورد مطالعه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به چاو[3] و همکاران (۲۰۰۲) اشاره کرد که به پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در هنگ‌کنگ با استفاده سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. ساها[4] و همکاران (۲۰۰۵) به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در مناطق کوهستانی هیمالیا پرداختند. یالکین[5] (۲۰۰۸) با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در منطقه اردسن ترکیه پرداخته است. وانگ[6] و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش وزن‌دهی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه ساحل جنوبی چین پرداختند. دلاسرنا و ماراویلاس[7] (۲۰۱٦) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی وتکنیک GIS در مناطق کوچک مقیاس معدن سوریگائوری شمالی، فیلیپین پرداختند. در ایران نیز ابراهیمی‌مقدم و عباس‌نژاد (۱۳۹۵) با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و GIS، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش استان کرمان پرداختند. عرب‌عامری و همکاران (۱۳۹٦) به پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین‌لغزش در حوضه سرخون کارون پرداختند. عابدینی و پیروزی (۱۳۹۸) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان خلخال با استفاده از تلفیق روش‌های Hot Spot، ANP و WIC پرداختند. نوفرستی و همکاران (۱۳۹۸) به تحلیل و بررسی زمین‌لغزش در محور قائن–افین خراسان جنوبی با استفاده از مدل‌سازی عددی پرداختند. حجازی و نجف‌وند (۱۳۹۹) به شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهرستان پاوه پرداختند. جعفری و خدایی (۱٤۰۱) به پهنه‌بندی سطوح ارضی حوضه شاهرود در مقابل وقوع زمین‌لغزش به کمک مدل شانون پرداختند.

1. Petlely
2. Crozier
3 . Chau
4. Saha
5. Yalcin
6. Wang
7. Dela Cerna & Maravillas

منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز سد ایلام با ٤۷۷ کیلومترمربع وسعت و حدود ۱۵۸ کیلومتر محیط، از نظر تقسیمات سیاسی در محدوده شهرستان ایلام قرار دارد (شکل ۱). این حوضه از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی جزء زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود و همین مسئله سبب شده است تا بخش زیادی از مساحت حوضه را واحد کوهستان دربرگیرد. مهم‌ترین رودخانه این حوضه، رودخانه کنجان چم است که از اتصال دورو خانه چاویز و گل گل تشکیل شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز سد ایلام از ۸ پارامتر ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، نوع لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و نوع کاربری اراضی استفاده شده که بنابر نظر کارشناسان (کارشناسان ژئومورفولوژی)

و با توجه به ویژگی‌های منطقه انتخاب شده است. روش کار به این صورت است که پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی در محیط ArcGIS، لایه‌های اطلاعاتی به روش منطق فازی استانداردسازی شده‌اند و بعد از طریق مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دهی شده‌اند. پس از وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، وزن بدست آمده بر روی لایه‌ها اعمال شده است و در نهایت با استفاده از عملگر گامای فازی، لایه‌ها با هم ترکیب شده و به این صورت نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز سد ایلام تهیه شده است. در ادامه به تشریح مدل ANP پرداخته شده است.

مدل ANP: روش‌های ارزیابی چند معیاره کاربرد وسیعی در علوم مختلف از جمله ژئومورفولوژی پیدا کرده‌اند. یکی از این روش‌ها فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) است. فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) شکل کامل شده تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. در تحلیل سلسله‌مراتبی ابتدا مسئله یا موضوع مورد نظر را به یک ساختار سلسله مراتبی تبدیل می‌کند که در آن عناصر تشکیل‌دهنده این ساختار که از اجزاء تصمیم نیز تلقی می‌شوند، مستقل از یکدیگر فرض می‌شوند؛ بنابراین یکی از محدودیت‌های جدی AHP این است که وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم، یعنی وابستگی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها را در نظر نمی‌گیرد و ارتباط بین عناصر تصمیم را سلسله مراتبی و یک‌طرفه فرض می‌کند. این فرض ممکن است در بعضی از موارد صادق نباشد و در چنین شرایطی نتیجه روش AHP ممکن است موجب برعکس شدن رتبه‌ها شود؛ یعنی با حذف گزینه‌ای ممکن است نتیجه رتبه‌بندی گزینه‌ها تغییر کند؛ بنابراین باید در استفاده از روش AHP اندکی محتاط بود زیرا کلیه مسائل و مشکلات لزوماً دارای ساختار سلسله مراتبی نیستند (زبردست، ۱۳۸۰).

بحث و نتایج

-پارامترهای مورد استفاده

در این پژوهش به‌منظور دستیابی به اهداف مورد نظر، از ۸ پارامتر ارتفاع، شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و کاربری اراضی استفاده شده که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

ارتفاع: ارتفاع از جمله عوامل مؤثر در میزان بارش، رطوبت، یخبندان و غیره است. به طورمعمول، مناطق مرتفع به دلیل یخبندان و شیب زیاد، در معرض وقوع حرکات دامنه‌ای از جمله زمین‌لغزش هستند. بررسی وضعیت ارتفاعی منطقه مورد مطالعه بیانگر این است که بخش زیادی از مناطق شمالی و جنوب شرقی آن در طبقات ارتفاعی بالای ۲۰۰۰ متر هستند، بنابراین از نظر وضعیت ارتفاعی، این مناطق در معرض زمین‌لغزش هستند.

شیب: مهم‌ترین پارامتر در وقوع حرکات دامنه‌ای، شیب دامنه است. مناطق پرشیب پایداری کمی دارند و مواد روی این دامنه‌ها به دلیل اصطکاک کم و تحت تأثیر نیروی جاذبه و وزن مواد به سمت پایین‌دست حرکت می‌کنند. مناطقی که دارای شیب زیادی هستند، در معرض وقوع حرکات دامنه‌ای هستند. بر اساس نقشه طبقات شیب منطقه مورد مطالعه، بخش‌هایی از منطقه از جمله مناطق شمال شرقی و جنوب شرقی آن را طبقات با شیب بیش از ۵۵ درجه در برگرفته است.

جهت‌شیب: با توجه به نقشی که جهات شیب در میزان رطوبت و یخبندان دارند، از این پارامتر نیز به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش استفاده می‌شود. جهات شیب شمالی به دلیل اینکه پشت به آفتاب هستند، رطوبت و یخبندان بیش‌تری دارند، بنابراین پتانسیل بیش‌تر جهت وقوع زمین‌لغزش دارند. همچنین جهات جنوبی به دلیل رطوبت و یخبندان کم‌تر، پتانسیل کم‌تری جهت وقوع زمین‌لغزش دارند (گنجائیان، ۱۳۹۹). بر اساس نقشه جهات شیب منطقه مورد مطالعه، بخش زیادی از منطقه در جهات شمال غربی و جنوب شرقی قرار دارند.

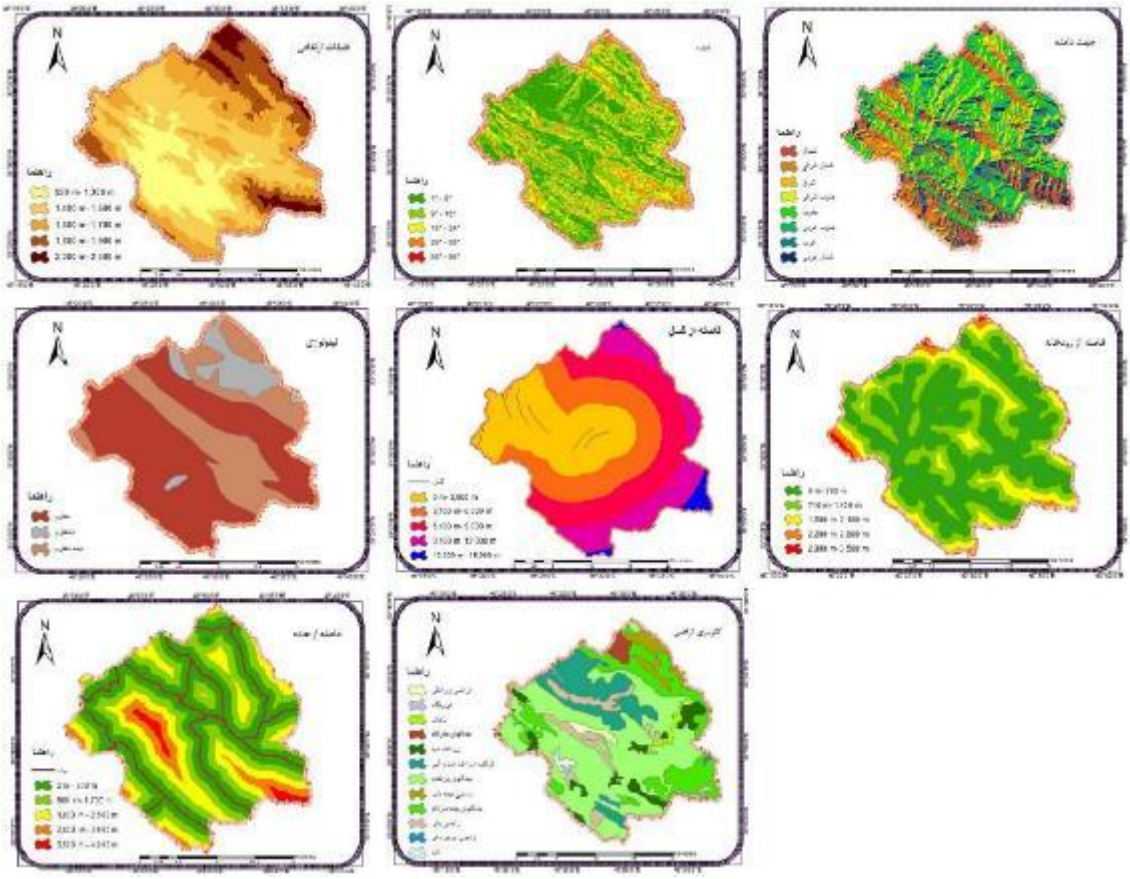
لیتولوژی: جنس زمین و نوع سنگ از عوامل مهم و تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش است. هرچقدر که سنگ‌ها سست‌تر و همچنین از کانی‌های مختلف‌تری تشکیل شده باشند و دارای درز و شکاف فراوان‌تری باشند، پتانسیل بالاتری جهت وقوع زمین‌لغزش دارند. دامنه‌هایی که از لحاظ لیتولوژی، از سازندهای سست همچون مارن، شیل و رس تشکیل شده باشند به دلیل مقاومت کم‌تری که در برابری نیروی خارجی دارند و همچنین به دلیل پتانسیل بالای حرکت و تغییر شکلی که دارند، مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند (همان، ۱۳۹۹). با توجه به موارد مذکور، منطقه مورد مطالعه از نظر لیتولوژی به سه بخش مقاوم، نیمه مقاوم و نامقاوم تقسیم شده است.

گسل: علاوه بر لیتولوژی، خطوط گسلی نیز به‌عنوان یکی دیگر از پارامترهای زمین‌شناسی مؤثر محسوب می‌شود که تأثیر زیادی در ناپایداری دامنه‌ها دارد. ازآنجایی‌که تراکم سیستم درزه‌ها، شکستگی‌ها و خردشدگی‌ها نقش بسیار مهمی در ناپایداری دارند و گسل‌ها می‌توانند خردشدگی را به وجود آورند، مناطق نزدیک به خطوط گسل پتانسیل بالایی جهت حرکات دامنه‌ای دارند. بر اساس نقشه گسل‌های منطقه، بخش‌های شمال غربی منطقه به دلیل نزدیکی به خطوط گسل، پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند.

فاصله از رودخانه: رودخانه‌ها و زهکشی جریان‌ها ممکن است به علّت شیب برشی و یا فرسایش جریان سبب شکست و خرابی کناره‌های رودخانه‌ها گردند. آب‌های جاری همیشه در دره‌ها و خط‌القعرها حرکت می‌کنند و عمل تخریب، فرسایش، انتقال و رسوب‌گذاری را انجام می‌دهند. با توجه به موارد مذکور، مناطق نزدیک به رودخانه، پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند.

فاصله از جاده: توسعه راه‌های ارتباطی و زیربری پای دامنه‌ها در مناطق کوهستانی و پرشیب، زمینه را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌کند. بر این اساس، مناطق نزدیکی به جاده، پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند.

کاربری اراضی: نوع کاربری اراضی نیز می‌تواند در تشدید و یا کاهش احتمال وقوع زمین‌لغزش مؤثر باشد. انواع کاربری‌های اراضی در رابطه با محافظت از شیب‌ها و پایداری و عدم پایداری آن‌ها عملکرد متفاوتی دارند. مناطقی که دارای پوشش‌گیاهی متراکم هستند، پتانسیل کم‌تری جهت وقوع زمین‌لغزش دارند. همچنین دامنه‌هایی که دارای پوشش‌گیاهی کم‌تری هستند، پتانسیل بیش‌تری جهت وقوع زمین‌لغزش دارند (گنجائیان، ۱۳۹۹). بر اساس نقشه کاربری اراضی منطقه، بخش‌هایی از منطقه که دارای پوشش‌گیاهی کم تراکم و اراضی بایر هستند، پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند. در شکل ۲ نقشه پارامترهای مورد استفاده نشان داده شده است.



شکل ۲: نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

-فازی‌سازی و وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی

در این پژوهش پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی فازی‌سازی شده‌اند. فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی به این صورت بوده است که به هر لایه، ارزشی بین صفر تا یک داده‌شده است. برای لایه ارتفاع به مناطق مرتفع ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق کم ارتفاع، ارزش نزدیک به صفر داده‌شده است. برای لایه شیب به مناطق پرشیب ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق کم شیب، ارزش نزدیک به صفر داده‌شده است. برای لایه جهات شیب به جهات شیب شمالی ارزش نزدیک به ۱ و به جهات شیب جنوبی، ارزش نزدیک به صفر داده‌شده است. برای لایه لیتولوژی به مناطق دارای لیتولوژی سست، ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق با لیتولوژی مقاوم، ارزش نزدیک به صفر داده‌شده است. برای لایه گسل به مناطق نزدیک به خط گسل ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دور از خط گسل، ارزش نزدیک به صفر داده‌شده است. برای لایه رودخانه به مناطق نزدیک به جاده رودخانه نزدیک به ۱ و به مناطق دور از رودخانه، ارزش نزدیک به صفر داده‌شده است. برای لایه جاده به مناطق نزدیک به جاده ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق دور از جاده، ارزش نزدیک به صفر داده‌شده است. همچنین برای لایه کاربری اراضی به مناطق دارای پوشش‌گیاهی کم تراکم ارزش نزدیک به ۱ و به مناطق با پوشش‌گیاهی متراکم، ارزش نزدیک به صفر داده‌شده است.

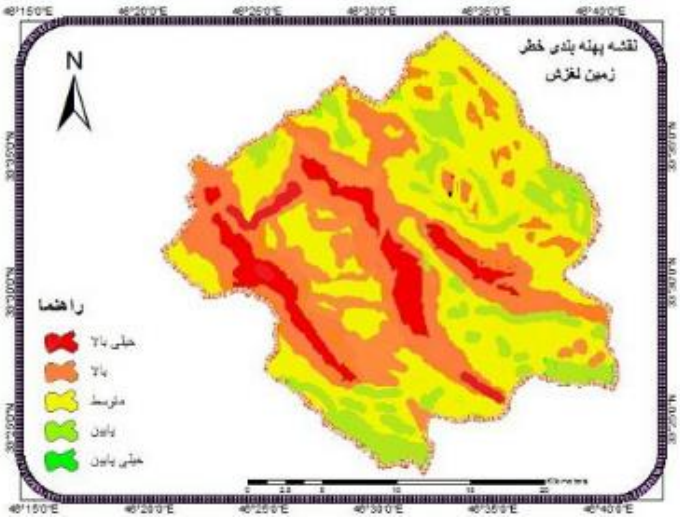
در این پژوهش پس از فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، به‌منظور وزن‌دهی به آن‌ها از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است. به‌منظور اجرای مدل ANP، پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای، با توجه به رابطه درونی و بیرونی معیارها، از ماتریس مقایسه‌ای شامل ۸ سطر و ۸ ستون برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. به‌منظور امتیازدهی به معیارها از طریق پرسش‌نامه و دیدگاه‌های کارشناسان امر (۵ متخصص ژئومورفولوژی) استفاده شده است. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شده و پس از بدست آوردن وزن‌های نهایی هر کدام از معیارها (جدول ۱)، در نرم‌افزار Arc GIS بر روی لایه‌های نقشه‌ای اعمال شده است.

جدول ۱: وزن بدست آمده معیارهای مورد استفاده بر اساس مدل ANP

معیار	ارتفاع	شیب	جهت شیب	فاصله از گسل	لیتولوژی	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	کاربری اراضی
وزن	۰/۰۳۱	۰/۲۲۱	۰/۰۲۸	۰/۰۵۷	۰/۱۵۵	۰/۱۶۹	۰/۲۶۵	۰/۰۷٤

- ترکیب لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه نهایی

پس از وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، وزن بدست آمده بر روی لایه‌ها اعمال شده است و در نهایت با استفاده از عملگر گامای فازی، لایه‌ها با هم ترکیب شده و به این صورت نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز سد ایلام تهیه شده است (شکل ۳). بر اساس نتایج حاصله، بخش‌های مرکزی و غربی منطقه پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند. درواقع، این مناطق به دلیل نزدیکی به خطوط گسلی، رودخانه و جاده اصلی، نوع کاربری و شیب زیاد، مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند. همچنین بخش‌های شرقی منطقه به دلیل نوع کاربری، دور بودن از خطوط گسلی، دور بودن از جاده و رودخانه، پتانسیل کمی جهت وقوع زمین‌لغزش دارند.



شکل ۳: نقشه نهایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

یکی از مخاطرات شایع در حوضه آبریز سد ایلام، حرکات دامنه‌ای از جمله زمین‌لغزش است. حوضه آبریز سد ایلام در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده است به دلیل وضعیت هیدروژئومورفولوژی و هیدرواقلیمی که دارد، در معرض مخاطره زمین‌لغزش قرار دارد. نتایج بررسی وضعیت ژئومورفولوژی این منطقه نشان داده است که بخش‌های زیادی از این حوضه دارای ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر و همچنین شیب بالای ۵۰ درجه هستند، بنابراین می‌توان گفت که حوضه آبریز سد ایلام از نظر ژئومورفولوژی مستعد وقوع زمین‌لغزش است. همچنین با توجه به اینکه بخش‌هایی از این حوضه را سنگ‌های نامقاوم و خطوط گسلی دربرگرفته، بنابراین از نظر زمین‌شناسی نیز مستعد وقوع زمین‌لغزش است. در مجموع، بررسی‌ها نشان داده است که حوضه آبریز سد ایلام از نظر ویژگی‌های طبیعی، مستعد وقوع زمین‌لغزش است و همین مسئله سبب شد تا در این پژوهش با استفاده از مدل تلفیقی منطق فازی و AHP، مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در این حوضه شناسایی شود. بر اساس نتایج حاصله، بخش‌های مرکزی و غربی منطقه پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش دارند. درواقع، این مناطق به دلیل نزدیکی به خطوط گسلی، رودخانه و جاده اصلی، نوع کاربری و شیب زیاد، مستعد وقوع زمین‌لغزش هستند. همچنین بخش‌های شرقی منطقه به دلیل نوع کاربری، دور بودن از خطوط گسلی، دور بودن از جاده و رودخانه، پتانسیل کمی جهت وقوع زمین‌لغزش دارند.

منابع

۱. ابراهیمی مقدم، فهیمه؛ عباس نژاد، احمد (۱۳۹۵)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش استان کرمان با مدل‌های فازی و AHP، فصلنامه زمین‌شناسی و محیط‌زیست، دوره ۱۰، شماره ۳۷، صص ٤٤-۲۵.

۲. حجازی، اسدالله؛ نجف‌وند، سمیرا (۱۳۹۹)، پتانسیل سنجی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در شهرستان پاوه با استفاده از روش منطق Fuzzy، مجله جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۲، شماره ٤، صص ۳۸۵-۳۷٦.

۳. جعفری، غلام‌حسن؛ خدایی، روح‌اله (۱٤۰۱)، پهنه‌بندی سطوح ارضی حوضه شاهرود در مقابل وقوع زمین‌لغزش به کمک مدل شانون، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱۱، شماره ۳.

۴. زبردست، اسفندیار (۱۳۸۰)، کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، مجله هنرهای زیبا، شماره ۱۰، صص ۲۱ – ۱۲.

۵. عابدینی، موسی؛ بهاره قاسمیان، شیرزادی، عطار (۱۳۹۳)، مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار)، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۱۲، شماره ۳۷، صص ۱۹۲-۸۵.

۶. عابدینی، موسی؛ پیروزی، الناز (۱۳۹۸)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تلفیق روش های Hot Spot، ANP و WIC (مطالعه موردی: شهرستان خلخال)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۸، شماره ٤، صص ۳٦-۱۹.

۷. عرب عامری، علیرضا؛ شیرانی، کوروش؛ رضایی، خلیل (۱۳۹٦)، پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین‌لغزش با روش‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی در حوضه سرخون کارون، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، دوره ۲٤، شماره ۳، صص ۵۷-٤۱.

۸. علیجانی، بهلول؛ قهرودی تالی، منیژه؛ امیراحمدی، ابوالقاسم (۱۳۸٦)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه اسطرخی شیروان)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۲، شماره ۱، صص ۱۳۲-۱۱۷.

۹. قویمی‌پناه، محمدحسین؛ خالدی درویشان، عبدالواحد؛ قویمی پناه، محمدرضا (۱۳۹٦)، صحت سنجی روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و رگرسیون چند متغیره در پهنه‌بندی زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ولی‌عصر استان اردبیل)، مجله اکو هیدرولوژی، دوره ٤، شماره ۳، صص ۷۸۹-۷۷۵.

۱۰. گنجائیان، حمید (۱۳۹۹)، مخاطرات ژئومورفولوژیک مناطق شهری، روش‌های مطالعه و راهکارهای کنترل آن، انتشارات انتخاب، ۱٤٤ صفحه.

۱۱. نوفرستی، حسین؛ ویسکرمی، علی؛ رحیم‌دل، محمدجواد (۱۳۹۸)، تحلیل و بررسی پتانسیل زمین‌لغزش به کمک مدل‌سازی عددی (مطالعه موردی: محور قائن-افین در استان خراسان جنوبی)، مجله پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی، دوره ۵، شماره ۱، صص ۸۸-۷۷.

12. Chau, K. T., Sze, Y. L., Fung, M. K., Wong, W. Y., Fong, L. C. P., 2002. Landslide hazard analysis for HongKongusing landslide inventory and GIS K.T. Computers & Geosciences, V 30. pp: 429–443.
13. Crozier, M. J., 2010. Deciphering the effect of climate change on landslide activity: a review Geomorphology, V 124. pp: 260-267.
14. Dela Cerna, M. A., Maravillas, E. A., 2016. An Application of Partitive Clustering Algorithm for Landslide Hazard Zonation. In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. V 1.
15. Petley. D., 2012. Global patterns of loss of life from landslides, Geology, V 40 (10). pp: 927-930.
16. Saha, A., Arora, K., Gupta, M. K., Virdi, R. P., Csaplovics, E., 2005. GIS-based route planning in landslide-prone areas. International Journal of Geographical Information Science. V 19 (10). pp: 1149–1175.
17. Wang W., Zhang W., Xia Q., 2012. Landslide Risk Zoning Based on Contribution Rate Weight Stack Method. International Conference on Future Energy. Environment, and Materials.
18. Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations" CATENA, V 72. pp: 1-12.