پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در محدودهٔ مخزن سد پلرود گیلان با روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

محمد کشاورزبخشایش*؛ دانشگاه پیام نور،
محمود فلاح؛ شرکت ملی نفت ایران، فلات قاره

تاریخ: دریافت ۹۳/۱۰/۷ **پذیرش** ۹٤/۵/۳۱

چکیده

مقاله حاضر نتیجهٔ ارزیابی و پهنه‌بندی خطرناپایدارهای دامنه‌ای در محدودهٔ بدنه و دریاچه سد پلرود را ارائه می‌کند. سد مخزنی پلرود یکی از سدهایی است که در منطقهٔ گیلان و در فاصلهٔ ۲۹ کیلومتری جنوب رودسر بر رودخانهٔ پلرود در حال بررسی و ساخت است. شرایط ریخت‌شناسی طبیعی از یک‌سو و وجود نهشته‌های تحکیم نیافته و سازندهای سنگی خرد شده ناشی از گسل‌های موجود در ساختگاه سد از سوی دیگر، محل احداث بدنه سد و دریاچه آن را مستعد ناپایداری‌های دامنه‌ای ساخته است. بررسی سابقه تاریخی منطقه نیز بیان‌گر پتانسیل زیاد دامنه‌های منطقه برای ناپایداری‌های دامنه‌ای است. از جمله این ناپایداری‌ها می‌توان به زمین‌لغزش بزگ رخ داده در سال ۱۳۷٤ اشاره کرد که سبب خسارت‌های فراوانی در منطقه شده است. از این‌رو، تعیین مناطق پرخطر محدوده مخزن و ساختگاه پیش از آب‌گیری آن ضرورت زیادی دارد. در این پژوهش با استفاده از عمده عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، شامل درصد شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، ارتفاع، پوشش گیاهی و میزان بارندگی، نقشهٔ پهنه‌بندی خطرزمین لغزش تهیه شده است. برای وزن‌دهی به این عوامل، روش تحلیل مراتبی(AHP) در سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS)، استفاده شده‌است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که حدود ۲٦ درصد از شیب‌های مشرف به دریاچهٔ سد در منطقه با خطر زیاد قرار می‌گیرند. هم‌چنین مشخص شد که از بین عوامل ۹گانه که به‌نحوی در وقوع زمین‌لغزش منطقه نقش ایفا می‌کنند، تأثیر جهت شیب و لیتولوژی نسبت به دیگر عوامل بیش‌تر است.

واژه‌های کلیدی: سد پلرود، زمین‌لغزش، پهنه‌بندی مدل AHP، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

* **نویسنده مسئول** keshavarzm@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

مقدمه

توجه به خطر زمین‌لغزش در سازه‌های آبی و سدها به‌دلیل تأثیر مستقیم وغیرمستقیم حضور آب در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای اهمیت زیادی دارد. این امر به‌ویژه به‌این دلیل برای این گونه سازه‌ها اهمیت پیدا می‌کند که مراحل مختلف احداث سد و آب‌گیری آن توأم با ایجاد تغییرات قابل توجه تنش‌های طبیعی در محدودهٔ ساختگاه است. از این‌رو، بررسی شرایط پایداری دامنه‌های مشرف به ساختگاه و دریاچه سد در زمیان احداث و پس از آب‌گیری حائز اهمیت فراوانی است. توجه نداشتن به این موضوع می‌تواند علاوه بر تحمیل هزینه‌های سنگین بعدی برای نگه‌داری سد، خطرهای جانبی زیادی را متوجه مناطق پایین‌دست سد کند. نمونهٔ بارز این مورد سد وایونت در ایتالیا است که در سال ۱۹٦۰ در مرحلهٔ بهره‌برداری قرار داشت اما در سال ۱۹٦۳ به موجب لغزش‌هایی که در قسمت‌هایی از مخزن سد اتفاق افتاد باعث توقف و بهره‌برداری از سد شد و موجب کشته شدن ۲٦۰۰ نفر شد [۱]. درکشور ما نیز ریزش‌های سنگی در محدودهٔ سد لتیان و زمین‌لغزش در محدودهٔ دریاچه سد قلعه‌چای عجب‌شیر، نمونه‌هایی از توجه نداشتن به خطر زمین‌لغزش در زمین احداث سازه است که هزینه‌های زیادی را برای ترمیم و اصلاح شیب‌ها در زمان بهره‌برداری به کشور تحمیل می‌کند.

بررسی شرایط ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی محدودهٔ سد پلرود بیان‌گرحساسیت قابل توجه شیب‌های این منطقه به ناپایداری‌های دامنه‌ای است. سابقه وقوع زمین لغزش‌های زیاد در محدودهٔ طرح، توجه به ارزیابی میزان خطر ناپایداری‌های دامنه‌ای را پیش از احداث وآب‌گیری سد مذکور ضروری ساخته است. ازاین‌رو، در تحقیق حاضر سعی شده است تا با استفاده از حداکثر اطلاعات موجود از زمین‌شناسی و توپوگرافیکی مؤثر در وقوع زمین لغزش، شیب‌های محدودهٔ بررسی شده از نظر وقوع این پدیده پهنه‌بندی شود. در این تحقیق از روش سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی به عوامل مؤثر استفاده شده است که دارای مزیت‌هایی نسبت به سایر روش‌های متداول است. این روش یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، به‌طوری‌که در این روش افزون بر امکان فرموله

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

کردن مسئله به‌صورت سلسله مراتبی، امکان در نظر گرفتن معیارهای کمی وکیفی درباره موضوع مورد نظر نیز وجود دارد [۲].

در دهه‌های اخیر، استفاده از این روش برای بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ایران متداول شده است. در پژوهش‌های پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای در حوزهٔ آبخیز گرمی‌چای استان اردبیل، احمدی و همکاران به‌تلفیق روش AHP و تکنیک GIS پرداخته‌اند [۳]. فیض‌نیا و همکاران انواع روش آماری دو متغیره شامل ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح، روش شاخص هم‌پوشانی و روش تحلیل سلسله مراتبی را برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در حوزهٔ آبخیز شیرین‌رود آزمایش کردند و با ارزیابی مدل‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها با استفاده از روش‌های نسبت تراکمی و شاخص جمع کیفی به این نتیجه رسیده‌اند که روش AHP مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه است[٤].شادفر و همکاران [۵] در بررسی زمین‌لغزش‌های رخداده در حوزهٔ آبخیز چال‌کرود نشان دادند که استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند نقش مثبتی در نتیجه قضاوت مهندسی عوامل مؤثر در وقوع لغزش داشته باشد. بررسی عظیم‌پور و همکاران [٦] درحوزهٔ آبخیز اهرچای آذربایجان‌شرقی نشان داده است که استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی شیوهٔ مناسبی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در محدودهٔ بررسی شده است. هم‌چنین بهنیافر و همکاران [۷]، به‌منظور پهنه‌بندی خطرات زمین‌لغزش در حوضهٔ آبریز فریزی، ترکیبی از مدل AHP و منطق فازی را پیشنهاد کرده‌اند که بیان‌گر قابلیت مناسب این روش‌ها در شناسایی مناطق پرخطر است.

موقعیت جغرافیایی ساختگاه

ساختگاه سد پل‌رود در منتهی الیه جنوب‌خاوری استان گیلان با مختصات "٤۸ '۵۸ °۳٦ عرض شمالی و "٦ '۱۷ °۵۰ طول خاوری در فاصلهٔ ۲۹ کیلومتری جنوب شهر رودسر بر رودخانهٔ پل‌رود واقع شده است. گسترهٔ طرح در بخشی از حاشیهٔ ارتفاعات شمالی رشته کوه البرز که به کوهستان اشکور مشهور است، قرار دارد. از نظر تقسیمات کشوری، این منطقه در دهستان رحیم‌آباد از شهرستان رودسر واقع شده است. نزدیک‌ترین آبادی به ساختگاه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

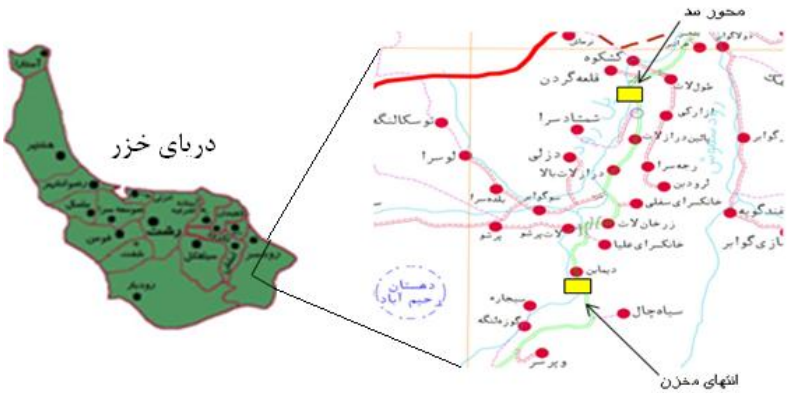
روستاهای طول لات و شمشادسرا در پایین‌دست و روستای درازلات در بالادست آن است. نزدیک‌ترین شهر به ساختگاه رحیم‌آباد در ۷ کیلومتری شمال‌خاوری ساختگاه قرار دارد (شکل ۱).

بررسی خطر ناپایداری دامنه ای

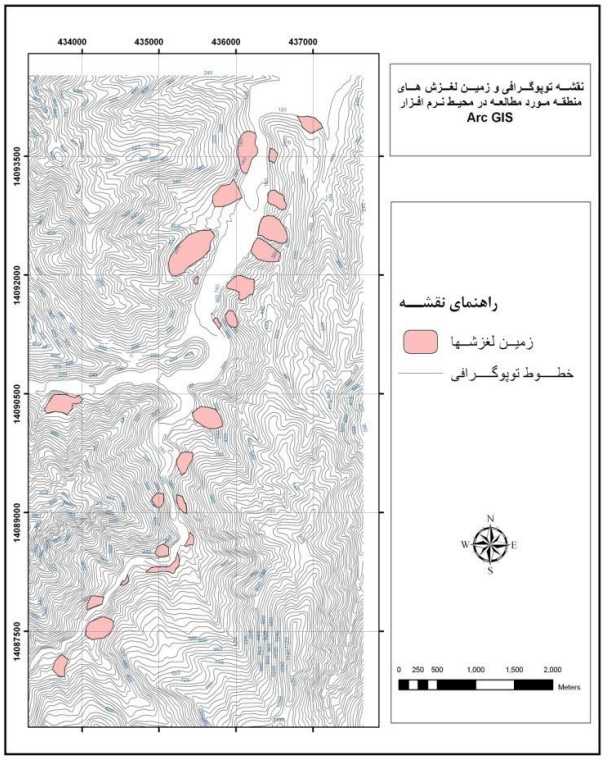
زمین‌لغزش یکی از پدیده‌های شناخته شده در خطرات مرتبط با زمین است که عوامل زیادی در وقوع آن در یک منطقه می‌توانند نقش ایفا کنند. تعیین میزان نقش این عوامل در وقوع زمین‌لغزش از مهم‌ترین بخش‌های بررسی زمین‌لغزش‌ها به‌ویژه در مقیاس منطقه‌ای است [۸]. هدف اصلی این تحقیق مشخص کردن عوامل تأثیرگذار بر حرکات توده‌ای و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش محدودهٔ ساختگاه سد پل‌رود است. تعیین زمین لغزش‌های قدیمی و جدید به‌وقوع پیوسته در محدوهٔ بررسی شده، مهم‌ترین مرحله پهنه‌بندی خطر به‌حساب می‌آید. بدین‌منظور در پژوهش حاضر ابتدا نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه تهیه شده است (شکل ۲). این نقشه با استفاده از بررسی و تفسیر عکس‌های هوایی بامقیاس ٤۰۰۰۰ :۱ سازمان نقشه‌برداری که در سال ۱۳٤٦ تهیه شده و بررسی تصاویر ماهواره‌ای +ETM سال ۲۰۰۲ و نقشهٔ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ NW 30361 تهیه شده است. در مرحلهٔ بعدی و به‌منظور تدقیق موقعیت زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در پژوهش‌های دفتری، بازدیدهای صحرایی متعددی در منطقه طرح به‌انجام رسیده و در مجموع ۲٤ مورد زمین‌لغزش در منطقه شناسایی و ثبت شده است. موقعیت این زمین‌لغزش‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۳ نمونه‌هایی از زمین‌لغزش‌های رخداده در محدودهٔ بررسی شده را نشان می‌دهد.

تعیین عوامل مؤثر در وقوع این زمین‌لغزش‌ها، مرحلهٔ بعدی این پژوهش را شامل می‌شود که در بررسی‌های صورت گرفته ۹ عامل به‌عنوان عوامل اصلی در وقوع ناپایداری دامنه‌ای در منطقه شناسایی شده است. نقشهٔ پراکنش این عوامل در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، نقشهٔ پهنه‌بندی منطقه تهیه شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ بررسی شده در نقشهٔ استان گیلان



شکل ۲. نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در محدودهٔ سد پل‌رود

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

شکل۳. نمایی از زمین‌لغزش‌های رخداده در محدودهٔ دریاچه سد در دست احداث پل‌رود

عوامل مؤثر در زمین‌لغزش منطقه پل‌رود

براساس پژوهش‌های دفتری و بررسی‌های صحرایی، ۹ عامل به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر وقوع ناپایداری دامنه‌ای در محدودهٔ دریاچه و بدنهٔ سد پل‌رود شناسایی شده است. مهم‌ترین دلیل انتخاب این عوامل، بررسی شرایط و عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در محدودهٔ بررسی شده بوده است. این عوامل بدین‌شرح هستند:

۱. **شیب دامنه:** میزان شیب، یکی از پارامترهای مؤثر در تحلیل ناپایداری دامنهٔ شیب منطقه است که به‌طور مستقیم بر لغزش تأثیرگذار است [۹]. با افزایش شیب تنش برشی افزایش می‌یابد و افزایش تنش برشی سبب ناپایداری دامنه‌ها می‌گردد. به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ شیب، از نقشهٔ مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده شده است. این مدل از درون‌یابی خطوط توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در محیط Arc GIS تهیه شده است. نقشهٔ شیب برای منطقه در ۵ رده ۵-۰، ۱۵-۵، ۲۵-۱۵، ٤۵-۲۵ و بیش‌تر از ٤۵ درصد با توجه به شکستگی‌های منحنی هیستوگرام (نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در مقابل ارزش هر پیکسل) تهیه شد (شکل ٤ الف).

۲. **جهت شیب**: یکی از عوامل مهم در تهیهٔ نقشه حساسیت به خطر زمین‌لغزش است. زیرا جهت شیب نشان‌دهندهٔ تأثیر متفاوت نور آفتاب، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف است. در نیم‌کرهٔ شمالی دامنه‌هایی که جنوبی هستند به نسبت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

دامنه‌های شمالی بیش‌تر در معرض نور آفتاب قرار می‌گیرند و پایدارترند، و دامنه‌های شمالی و شمال غربی به‌دلیل این‌که کم‌تر در معرض نور آفتاب هستند دارای دمای خاک اندک و رطوبت خاک زیادند و ناپایدارترند[۱۰]. علاوه بر این اگر جهت شیب دامنه هم‌جهت با شیب لایه‌بندی و شیب لایه‌بندی کم‌تر از شیب دامنه باشد، احتمال وقوع لغزش افزایش خواهد یافت [۱۱].

نقشه جهت شیب در این تحقیق دارای ۸ رده به‌ترتیب شمال، شمال‌شرقی، شرق، جنوب‌شرقی، جنوب، جنوب‌غربی، غرب و شمال‌غربی تعیین شده‌است. شکل ٤ ب نقشه مذکور را نشان می‌دهد.

۳. **ارتفاع**: همانند زاویهٔ شیب، میزان ارتفاع از عوامل کنترل‌کننده ناپایداری یک دامنه است. در دو دامنه مشابه با مقدار شیب ثابت، دامنه‌ای که مرتفع‌تر است پتانسیل ناپایداری بیش‌تری دارد و هر چه‌قدر پستی و بلندی منطقه بیش‌تر باشد، حساسیت به خطر زمین‌لغزش در آن منطقه بیش‌تر است. پست‌ترین و مرتفع‌ترین نقاط ارتفاعی منطقه به‌ترتیب ۱۲۰ و۱۱٤۰ متر است. نقشهٔ طبقات ارتفاعی منطقه در ٦ رده ۲۰۰-۰، ٤۰۰-۲۰۰، ٦۰۰-٤۰۰، ۸۰۰-٦۰۰، ۱۰۰۰-۸۰۰ و بیش‌تر از ۱۰۰۰ متر تهیه شده است (شکل ٤ ج).

٤. **زمین‌شناسی**: یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای، جنس مصالح درگیر زمین‌لغزش است. از این‌رو، شناسایی وتفکیک واحدهای سنگ‌شناسی از ملزومات اساسی پهنه‌بندی زمین‌لغزش است. برای تهیهٔ نقشهٔ زمین‌شناسی این منطقه، از نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش جواهرده استفاده شده است [۱۲]. براین اساس واحدهایی در منطقه شناسایی و طبقه‌بندی شده‌اند که عبارتند از (شکل ٤ د):

d = دایک‌های آپلیتی تا تراکیتی آندزیتی،

Jkl = آهک خاکستری با میان لایه‌های شیلی،

Jks = تناوب شیل و ماسه سنگ و بعضاً با تناوب سیلتستون و توده‌های آذرین بازیک،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

K2Pv = سنگ‌های آتشفشانی تیره‌رنگ ،گدازه‌های بازیک، آگلومرا ، توف و برش آتشفشانی،

Qal = نهشته‌های درشت‌دانه آبرفتی رودخانه‌ای شامل تخته سنگ، قلوه‌سنگ و شن،

Qt1 = پادگانه آبرفتی شامل مصالح ریزدانه تا متوسط دانه،

Sy = تودهای نفوذی سینیتی و گدازهای تراکیتی.

۵. **فاصله از گسل:** فعالیت گسل‌ها می‌تواند به‌عنوان عامل محرک در وقوع زمین‌لغزش‌ها روی ناپایداری سطوح و دامنه‌ها خیلی تأثیر داشته باشد. گسل‌ها از دو نظر می‌توانند بر ایجاد زمین‌لغزش‌ها مؤثر باشند: اول این‌که منشأ زلزله محسوب شده و در صورت وقوع زلزله دامنه‌های نزدیک به آن‌ها بیش از دامنه‌های دورتر انرژی زلزله را دریافت کرده و در نتیجه شانس بیش‌تری برای گسیختگی دارند، ثانیاً گسل یکی از عوامل اصلی خردشدگی سنگ‌ها محسوب می‌شوند. به‌عبارت دیگر مسیری که گسل از آن می‌گذرد دارای سنگ‌های ضعیف‌تری نسبت به سایر مناطق است. وجود این ناپیوستگی موجب کاهش مقاومت برشی دامنه و آمادگی بیش‌تر دامنه برای ناپایداری می‌شود.

نقشهٔ فاصله از گسل منطقهٔ بررسی شده در ۵ رده و به‌صورت ۱۵۰-۰، ۳۰۰-۱۵۰، ٤۵۰-۳۰۰، ٦۰۰-٤۵۰ متر و بیش‌تر از ٦۰۰ متر تهیه شده است. موقعیت گسل‌های منطقه در شکل ٤ ه نشان داده شده است.

٦. **فاصله از جاده:** احداث جاده‌ها مانند دیگر سازه‌های خطی اجرا شده در زمین، باعث تغییر تنش در شیب‌ها و تضعیف نیروی مقاومتی دامنه‌های طبیعی می‌شود. همین امر باعث کاهش ضریب‌اطمینان شیب‌ها شده و می‌تواند سبب ناپایداری آن‌ها شود. هرچه فاصلهٔ دامنه با جاده کم‌تر باشد، اثر منفی آن بر دامنه بیش‌تر است. برای تهیهٔ نقشهٔ فاصله از جاده از نقشه‌های توپوگرافی ورقه‌های شمارهٔ 30361 NW با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و هم‌چنین ورقه زمین‌شناسی جواهرده با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در محیط نرم‌افزار Arc GIS استفاده شده است. این نقشه دارای ۵ رده با فواصل ۱۰۰-۰، ۲۰۰-۱۰۰، ۳۰۰-۲۰۰، ٤۰۰-۳۰۰ و بیش‌تر از ٤۰۰ متر است (شکل٤ و).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

۷. **شاخص پوشش گیاهی(NDVI)**: در این بررسی شاخص پوشش گیاهی به‌صورت پارامتری محیطی استفاده شده است. NDVI یک مقدار از قابلیت انعکاس سطحی است و می‌تواند تخمین کمی از رشد گیاهان و تودهٔ زنده را به‌دست دهد [۱۳].

برای تهیهٔ شاخص NDVI از داده‌های سنجیده III-LIS ماهواره P6Resource-IRS مربوط به سال 2006 استفاده شده است. این داده‌ها در محیط نرم‌افزار Idrisi تجزیه و تحلیل شده‌اند. شاخص NDVI با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه شده است [۱۳].

$$NDVI = (NIR - R) * (NIR + R) \qquad (۱)$$

R: باند قرمز با توان جداسازی طیفی (۰/٦۲ – ۰/٦۸ میکرومتر)،

NIR: باند مادون قرمز نزدیک (۰/۷۷ – ۰/۸٦ میکرومتر).

در شاخص NDVI مقادیر کم‌تر و مساوی ۰/۱ منطبق با نواحی بایر، ماسه‌ای و یا برفی است. مقدارهای متوسط (۰/۲- ۰/۳) علفزارها و بوته‌زارها را نشان می‌دهد و مقادیر زیاد (۰/٦- ۰/۸) پوشش جنگلی را نشان می‌دهد [۱۵]. با استفاده از این شاخص، نقشه پوشش گیاهی در ۵ ردهٔ ۰/۲۲۰– ۰، ۰/۲۸۷ – ۰/۲۲۰، ۰/۳۵۵ – ۰/۲۸۷، ۰/٤۲۲ – ۰/۳۵۵، ۰/٤۸۰ – ۰/٤۲۲ میکرومتر تهیه شده است (شکل ٤ ز).

۸. **فاصلهٔ از آبراهه‌ها:** در بررسی زمین‌لغزش‌ها، آب‌های جاری به‌عنوان عامل تغذیه‌کننده و یا زهکشی کنندهٔ توده‌های خاک وهم‌چنین جزو عوامل القاکننده زمین‌لغزش قلمداد می‌شوند. آب‌های جاری علاوه بر شستن مصالح پای شیب‌ها در کناره رودخانه‌ها، سبب افزایش زاویهٔ شیب دامنه‌ها شده و در نتیجه باعث ناپایداری شیب می‌شوند. ازاین‌رو، این عامل نیز برای تهیهٔ نقشه پهنه‌بندی استفاده شده است. نقشهٔ فاصله از آبراهه در ۵ رده و به‌صورت ٦۰–۰ ، ۱۲۰–٦۰ ، ۱۸۰–۱۲۰، ۲٤۰–۱۸۰متر و بیش‌تر از ۲٤۰ متر تقسیم‌بندی شده است (شکل ٤ ح).

۹. **بارش:** در ایران بارش مهم‌ترین پارامتر اقلیمی در وقوع زمین‌لغزش به‌حساب می‌آید[۸]. بارش سبب بالا رفتن سطح تراز آب زیرزمینی و در پی آن افزایش فشار استاتیکی و فشار آب منفذی در مصالح دامنه‌ها شده ونقش مهمی در ایجاد زمین‌لغزش ایفا می‌کند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

در انجام این تحقیق، از اطلاعات بارشی ۱۳ ایستگاه هواشناسی به نام‌های طول لات، موسی‌کلایه، شاه‌شهیدان، پیرکوه، شلمان، لاهیجان، کیاکلایه، بیجار، شیرود، کاکرود، بی‌بالان، دیلمان، دیارجان و هرات‌بر برای تهیهٔ نقشهٔ توزیع بارش منطقه استفاده شده است [١٤]. برای این منظور مقدار متوسط بارندگی سالانه و ارتفاع از سطح دریا در هر ایستگاه طی یک دورهٔ آماری مشترک انتخاب شد و در محیط نرم‌افزار Arc GIS، نقشه پراکندگی میزان بارش منطقه تهیه شد (شکل ٤ ط) که شامل ۳ رده با میزان بارش کم‌تر از ۱۱۵۰، ۱٤۳۰–۱۱۵۰، و بیش از ۱٤۳۰ میلی‌متر در سال است.

۱. تلفیق اطلاعات

روش به‌کار رفته برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدودهٔ دریاچه و بدنهٔ سد پل‌رود، تحلیل سلسله مراتبی است. این روش یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، به‌طوری‌که در این روش افزون بر امکان فرموله کردن مسئله به‌صورت سلسله مراتبی، امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در بارهٔ موضوع مورد نظر نیز وجود دارد [۲].

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با توجه به عوامل ایجادکننده لغزش در منطقه، ابتدا یک ماتریس ۹ × ۹ تشکیل داده (به تعداد عوامل مؤثردر لغزش) و سپس عناصر هر سطح نسبت به عناصر مربوط به‌خود در سطح بالاتر به‌صورت دوگانه با هم مقایسه شده است. به‌گونه‌ای‌که هر عامل نسبت به تأثیر شدت در رخداد زمین‌لغزش یکی از حالت‌ها در جدول ۱ را به‌خود اختصاص می‌دهد. در این ماتریس ستون ۱ ردیف ۱ نشان‌گر اولویت معیار جهت شیب بر جهت شیب است که دارای الویت و اهمیت یک‌سانی نسبت به‌هم هستند. هر عامل نسبت به خودش برابر عدد ۱ است که در جدول یک ماتریس قطری را به‌وجود می‌آورد. پس از اختصاص عددها، عناصر با هم دوتایی مقایسه می‌شوند و مقادیر مربوط به هر یک از آن‌ها مشخص می‌شود. مثلاً ارزش زمین‌شناسی نسبت به‌خودش برابر ۱ است و به عامل قبل از خودش یعنی جهت شیب برابر با ۱/۳ است. به‌همین ترتیب عوامل دیگر هم نسبت به‌هم مقایسه می‌شوند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

جدول ۱. تعیین ارزش معیارها نسبت به یک‌دیگر با استفاده از قضاوت مهندسی [۲]

ردیف	ارزش نظری برای مقایسهٔ بین دومعیار	ارزش عددی معادل ارزش نظری
۱	دارای ارزش یک‌سان و برابر	۱
۲	ارزش یکی نسبت به دیگری کمی بیش‌تر است	۳
۳	ارزش یکی نسبت به دیگری بیش‌تر است	۵
٤	ارزش یکی نسبت به دیگری مسلماً بیش‌تر است	۷
۵	ارزش یکی نسبت به دیگری مطلقاً بیش‌تر است	۹
٦	ارزش‌های بینابینی	۸-٦-٤-۲

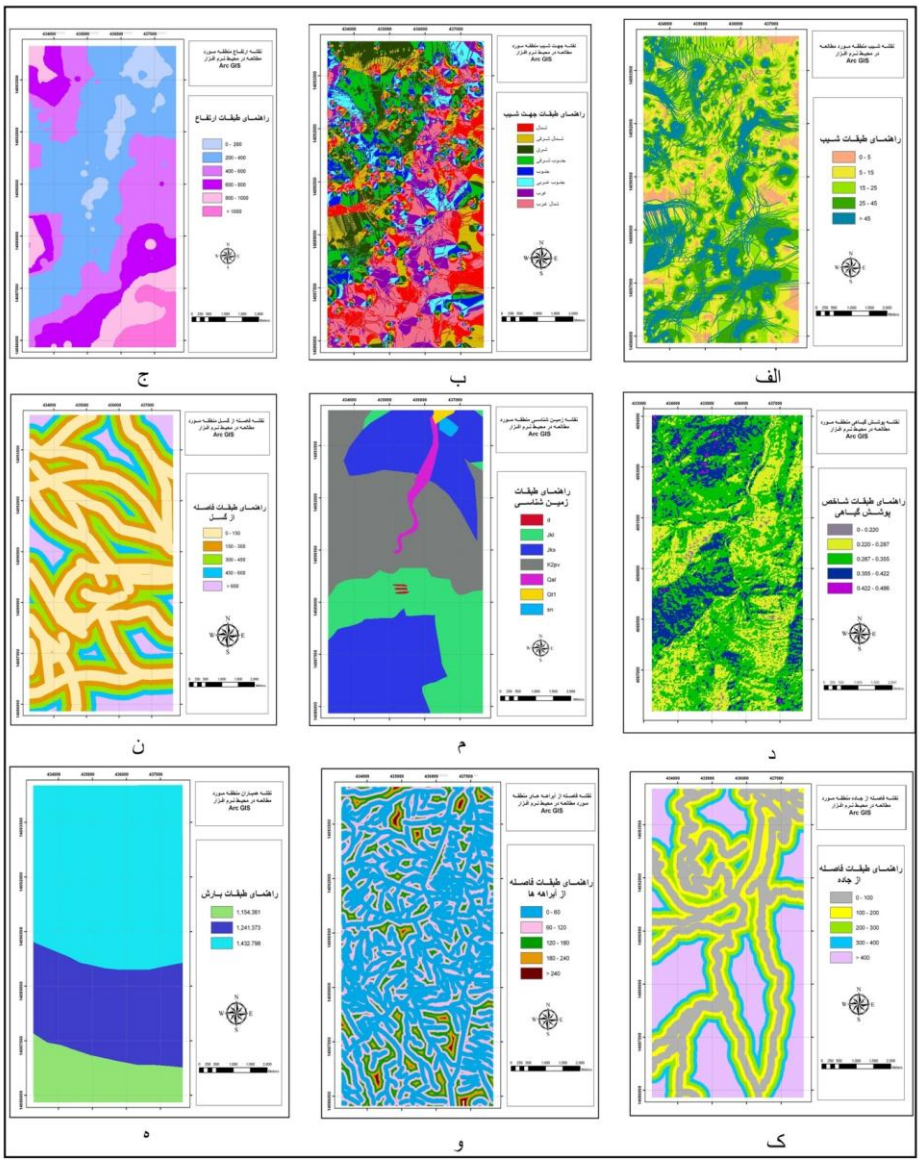
۲. وزن دهی و نرمال سازی عوامل

پس از امتیازدهی به‌عوامل ۹گانه در جدول ماتریس و مقایسهٔ زوجی عوامل با هم‌دیگر، وزن نسبی هر یک از آن‌ها محاسبه و نرمال‌سازی شده‌است. برای این منظور در مرحلهٔ اول ابتدا مقادیر هریک از ستون‌ها را با هم جمع کرده و در مرحلهٔ دوم ماتریس مورد نظر نرمالیزه شده است (جدول ۲). سپس وزن نسبی که از میانگین ماتریس نرمالیزه به‌دست آمده محاسبه می‌شود (جدول ۳). اولویت هرکدام از عوامل براساس مقادیر وزن دریافتی در میزان خطر زمین لغزش در منطقهٔ بررسی شده به‌صورت ستون وزن نسبی به‌ترتیب از بالا به پایین است.

جدول ۲. ماتریس و مقدارعددی مربوط به هریک از عوامل ۹ گانه مؤثر در زمین‌لغزش در منطقهٔ بررسی شده

	جهت	زمین	گسل	رده	شیب	جاده	پوشش	آبراهه	باران
جهت	۱	۳	٤	٤	۵	۵	۷	۸	۹
زمین	۱	۱	۳	۳	٤	٤	۵	٦	۷
گسل	۱	۱	۱	۱	۲	۲	٤	۵	٦
طبقات	۱	۱	۱	۱	۲	۲	٤	۵	٦
شیب	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	٤	۵
جاده	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳	٤	۵
پوشش	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۳
آبراهه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲
باران	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
جمع	۲/٦۱٦	۵/٦۷٦	۱۰/٦۱٦	۱۰/٦۱٦	۱۵/۷۸۳	۱۵/۷۸۳	۲۷/۸۳۳	۵/۳۵	٤٤

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]



شکل٤. نقشه‌های پایه استفاده شده الف) رده‌بندی شیب، ب) جهت شیب، ج) ارتفاع، د) میزان پوشش گیاهی، م) زمین‌شناسی، ن) فاصله از گسل‌ها، ک) فاصله از جاده‌ها، و) فاصله از آبراهه‌ها ه) میزان بارش

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

جدول۳. مقادیر میانگین محاسبه شده و ضریب وزن هر یک از عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش در منطقه

	جهت شیب	زمین-شناسی	گسل	طبقات ارتفاعی	شیب	جاده	پوشش گیاهی	آبراهه	باران	وزن نسبی
جهت شیب	۰/۳۸۲	۰/۵۸۲	۰/۳۷٦	۰/۳۷٦	۰/۳۱٦	۰/۳۱٦	۰/۲۵۱	۰/۲۲۵	۰/۲۰٤	۰/۳۳۰
زمین شناسی	۰/۱۲۷	۰/۱۷٦	۰/۲۸۲	۰/۲۸۲	۰/۲۵۳	۰/۲۵۳	۰/۱۷۹	۰/۱٦۹	۰/۱۵۹	۰/۲۰۸
گسل	۰/۰۹۵	۰/۰۵۸	۰/۰۹٤	۰/۰۹٤	۰/۱۲٦	۰/۱۲٦	۰/۱٤۳	۰/۱٤۰	۰/۱۳٦	۰/۱۱۲
طبقات ارتفاعی	۰/۰۹۵	۰/۰۵۸	۰/۰۹٤	۰/۰۹٤	۰/۱۲٦	۰/۱۲٦	۰/۱٤۳	۰/۱٤۰	۰/۱۳٦	۰/۱۱۲
شیب	۰/۰۷٦	۰/۰٤٤	۰/۰٤۷	۰/۰٤۷	۰/۰٦۳	۰/۰٦۳	۰/۱۰۷	۰/۱۱۲	۰/۱۱۳	۰/۰۷٤
جاده	۰/۰۷٦	۰/۰٤٤	۰/۰٤۷	۰/۰٤۷	۰/۰٦۳	۰/۰٦۳	۰/۱۰۷	۰/۱۱۲	۰/۱۱۳	۰/۰۷٤
پوشش گیاهی	۰/۰۵٤	۰/۰۳۵	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۳۵	۰/۰۵٦	۰/۰٦۸	۰/۰۳۷
آبراهه	۰/۰٤۷	۰/۰۲۹	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷	۰/۰۲۸	۰/۰٤۵	۰/۰۲۵
باران	۰/۰٤۲	۰/۰۲۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱٤	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸

بعد از نرمالیزه کردن و محاسبه وزن نسبی عوامل مؤثر، میزان ارزش اطلاعاتی هر یک از رده‌های عوامل محاسبه شده است. از رابطهٔ ۲ برای محاسبهٔ میزان ارزش اطلاعاتی استفاده شده است.

$$W = \left[\frac{A}{B} \Big/ \frac{C}{D} \right] \qquad (۲)$$

W وزن عوامل مؤثر مربوط به هر رده

A مساحت زمین لغزش‌های رخ داده در هر رده (هکتار)

B مساحت هر رده (هکتار)

C مساحت کل زمین لغزش‌های منطقهٔ بررسی شده (هکتار)

D مساحت کل منطقهٔ بررسی شده (هکتار)

پس از محاسبهٔ میزان ارزش اطلاعاتی(جدول ٤)، فاکتور کلی حساسیت (M) را می‌توان از رابطهٔ ۳ محاسبه کرد:

$$M = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8 + a_9x_9 \qquad (۳)$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]

[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

در این رابطه M عامل حساسیت خوانده می‌شود که مقدار آن بین ۰ تا ۱۰۰ متغییر است، در صورتی که M=0 باشد نشان‌گر وجود نداشتن خطر زمین‌لغزش است و M=100 نشان‌گر حداکثر میزان خطر است.

فاکتورهای x1 تا x9 به‌ترتیب مربوط به‌عوامل جهت شبب، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، ارتفاع، شیب، فاصله از جاده، پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه و میزان بارش است. فاکتورهای α1 تا α9 هم مربوط به وزن نسبی هریک از عوامل ۹گانه هستند. با استفاده از رابطهٔ ۳ مقدار M برای هر رده محاسبه شده است (جدول ۵).

جدول ٤. وزن مربوط به هریک از رده‌های عوامل ۹گانه مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه

بارش		آبراهه		پوشش گیاهی		فاصله از جاده		شیب		ارتفاع		فاصله		زمین شناسی		جهت شیب	
وزن	رده	وزن	رده	وزن	رده	وزن	رده	وزن	رده	وزن	رده	وزن	رده	وزن	رده	وزن	رده
١٤/٧	R_1	١٠٠	W_1	٢٧/٣	N_1	٩٠	D_1	٤٣/٣	S_1	١٠٠	H_1	٦٤/٢	F_1	٦٦/٣	L_1	٥٧/٩	A_1
٤٢/٧	R_2	٥٩/٩	W_2	١٠٠	N_2	١٠٠	D_2	١٠٠	S_2	٧٥/١	H_2	٥٥	F_2	٠	L_2	٤٤/٣	A_2
١٠٠	R_3	٣٤/٤	W_3	٧٥/٨	N_3	٣٧/٤	D_3	٩٨/٣	S_3	٠/٢	H_3	١٠٠	F_3	٧٥/٦	L_3	٥١/١	A_3
		٢٧/٣	W_4	٢٩/٨	N_4	٩/٧	D_4	٩٦/٢	S_4	٠	H_4	٩٨/١	F_4	١٠٠	L_4	٤٢/١	A_4
		٠	W_5	٠	N_5	٠	D_5	٨٢/٤	S_5	٠	H_5	٥	F_5	١٦/٣	L_5	٢٦/٧	A_5
										٠	H_6			٦٥/٣	L_6	٦٢/٩	A_6
														٤٦/٧	L_7	١٠٠	A_7
																٦٧/٤	A_6

جدول ٥. تعیین میزان حساسیت رده‌های مختلف ۹گانه بر منطقهٔ بررسی شده

رده ٨	رده ٧	رده ٦	رده ٥	رده ٤	رده ٣	رده ٢	رده ١	وزن	رده
٢٢/٢٤٣	٣٣	٢٠/٧٥٧	٨/٨١١	١٣/٨٩٣	١٦/٨٦٣	١٤/٦١٩	١٩/١٠٧	٠/٣٣٠	**جهت شیب**
	٩/٧١٣	١٣/٦٤٤	٣/٣٩٠	٢٠/٨	١٥/٧٢٤	٠	١٣/٧٩٠	٠/٢٠٨	**زمین‌شناسی**
			٠/٥٦	١٠/٩٨٧	١١/٢	٦/١٦	٧/١٩٠	٠/١١٢	**فاصله از گسل**
			٠	٠	٠/٠٢٢	٨/٤١١	١١/٢	٠/١١٢	**ارتفاع**
			٦/٠٩٧	٧/١١٨	٧/٢٧٤	٧/٤	٣/٢٠٤	٠/٠٧٤	**شیب**
			٠	٠/٧١٧	٢/٧٦٧	٧/٤	٦/٦٦	٠/٠٧٤	**فاصله از جاده**
			٠	١/١٠٢	٢/٨٠٤	٣/٧	١/٠١٠	٠/٠٣٧	**پوشش گیاهی**
			٠	٠/٦٨٢	٠/٨٦	١/٤٩٧	٢/٥	٠/٠٢٥	**فاصله از**
					١/٨	٠/٧٦٨	٠/٢٦٦	٠/٠١٨	**بارش**

بررسی جدول تعیین وزن عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و امتیازدهی به این عوامل نشان می‌دهد که عامل جهت شیب و زمین‌شناسی بیش‌ترین نقش را در وقوع زمین‌لغزش داشته و عامل بارندگی کم‌ترین نقش را در وقوع این پدیده بر عهده دارند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

۳. تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر

از ترکیب و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ۹گانه و با توجه به رده‌بندی استاندارد زون‌های لغزشی، نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه پل‌رود در پنج پهنه تهیه شده است. شکل ۵ نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدودهٔ بررسی شده را نشان می‌دهد. هم‌چنین مساحت هریک از نواحی براساس هکتار و درصد سطحی آن‌ها نسبت به مساحت کل منطقهٔ بررسی شده در جدول ٦ ارائه شده است.

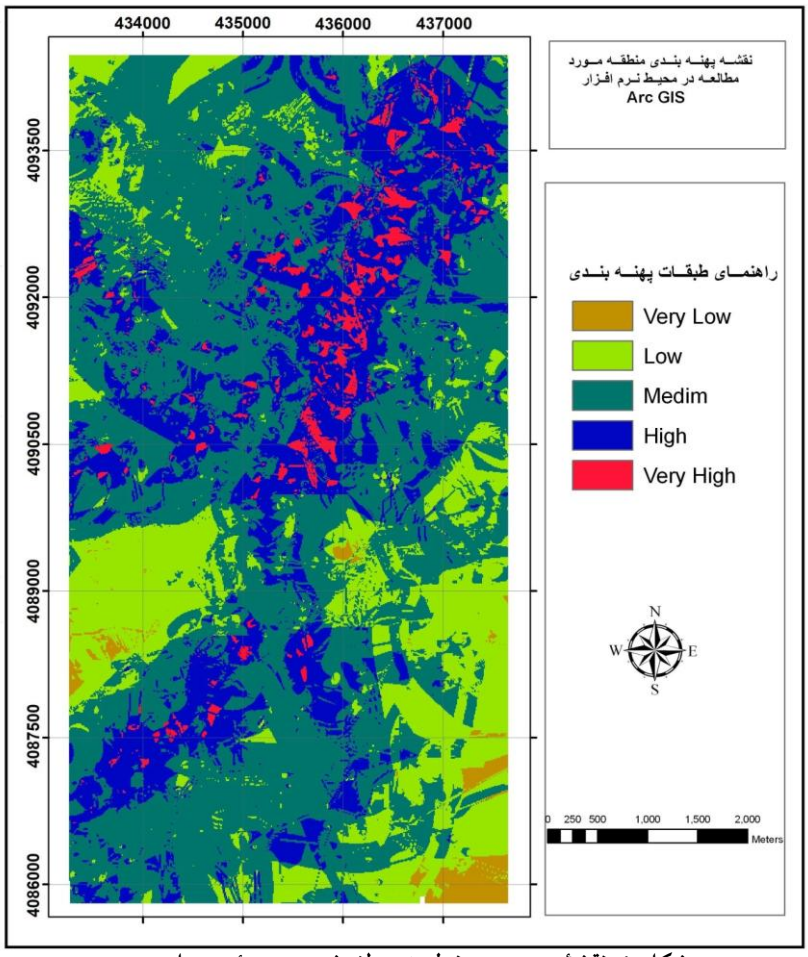
جدول٦. مساحت و درصد رده‌های مختلف خطر زمین‌لغزش

ردیف	توصیف خطر	مساحت (هکتار)	درصد
۱	خطر خیلی کم (Very Low)	۵۷/۹	۱
۲	خطر کم (Low)	۷۲۱/۸	۱۹
۳	خطر متوسط(Medium)	۲۰٤٤/۸	٥٤
٤	خطر بالا (High)	۸۸٦/٦	۲۳
٥	خطر خیلی بالا (Very High)	۹۳/۳	۳

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر خطر زمین‌لغزش در محدودهٔ ساختگاه و دریاچه سد پل‌رود واقع در استان گیلان بررسی شده ونقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای این منطقه ارائه شده است. برای تهیهٔ این نقشه از عمده عوامل مؤثر در ایجاد ناپایداری‌های دامنه‌ای در ناحیه استفاده شده است. این عوامل شامل نقشه‌های شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، ارتفاع، میزان پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه و میزان بارش بوده است. برای وزن‌دهی به عوامل و محاسبهٔ میزان خطر در بخش‌های مختلف ناحیهٔ بررسی شده، روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. این روش به‌دلیل چند معیاره بودن و مقایسه هم‌زمان عوامل مؤثر در لغزش، دقت نسبی زیادی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدودهٔ دریاچه و بدنهٔ سد پل‌رود دارد. برای وزن‌دهی به عوامل نه‌گانه شناسایی شده در محدوده، ابتدا نقشهٔ لغزش‌های قدیم و جدید بوقوع پیوسته در منطقه، با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]



شکل ۵. نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش محدودهٔ سد پل‌رود

هم‌چنین بررسی‌های صحرایی شناسایی شده واز آن در تعیین درجه اهمیت هریک از عوامل در وقوع ناپایداری دامنه‌ای منطقه استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بیش از ۲٦ درصد مساحت ناحیهٔ بررسی شده در زون با خطر زیاد تا بسیار زیاد قرار می‌گیرد. براین اساس، بخش‌های وسیعی از دریاچه سد و ساختگاه سد در نواحی پرخطر قرار گرفته است.

برخلاف تصور غالب که افزایش شیب همواره با افزایش خطر ناپایداری دامنه‌ای همراه است، شیب‌های ۵ تا ۱۵ درصد بیش‌ترین درصد زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه را به‌خود اختصاص داده‌اند. این امر به‌دلیل شرایط اقلیمی منطقه است که شیب‌های تند از سنگ‌های بسیار

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

محکم تشکیل شده‌اند، از این‌رو، در برابر ناپایداری دامنه‌ای مقاوم‌تر هستند. اکثر زمین لغزش‌های منطقه، در دامنه‌هایی با جهت غرب و شمال‌غربی رخ داده‌اند. این موضوع با روند ساختارهای اصلی منطقه شامل گسل‌های بزرگ و تاقدیس و ناودیس‌های البرز مرکزی مطابقت دارند.

توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه مشخص می‌سازد که تعداد ۱۲ مورد از زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه در واحد زمین‌شناسی Tks که از تناوب شیل و ماسه سنگ مربوط به دورهٔ زمانی ژوراسیک-کرتاسه، رخ داده است. همین امر مؤید ناپایداری نسبی این سازندها در برابر فرسایش و درنتیجه تشکیل شیب‌های متوسط در منطقه است.

هرچند که در اکثر تحقیقات صورت گرفته، نقش بارندگی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی در ایجاد ناپایداری‌های دامنه‌ای قلمداد شده است، با این‌حال پژوهش حاضر نشان می‌دهد که میزان بارندگی عامل ثانوی است. این عامل زمانی می‌تواند باعث ناپایداری شود که با عوامل دیگری مانند زمین‌شناسی توأم شود.

منابع

1. Müller L., "The Vaiont catastrophe-a personal review", Engineering Geology, Vol. 24 (1/4) (1987).
2. Saaty T.L., Vargas G.L., "Models, Methods, Concepts, and Applications of the Analytic Hierarchy Process", Kluwer Academic Publisher, Boston (2001).

۳. احمدی ح.، اسمعلی ا.، فیض‌نیا س.، شریعت‌جعفری م.، *پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغییره(MR) و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها(AHP) مطالعه موردی حوضه آبخیز گرمی چای*، مجله منابع طبیعی ایران، نشریه شماره ٤ (۱۳۸۲).

٤. فیض‌نیا س.، کلارستاقی ع.ا.، احمدی ح.، صفایی م.، *بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مطالعه موردی: حوزهٔ آبخیز شیرین رود سد تجن*، مجله منابع طبیعی، جلد ۵۷. شمارهٔ ۱ (۱۳۸۳).

۵. شادفر ص.، مجتبی ی.، جمال ق.، جعفر غ.، *پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی-مطالعه موردی حوزه آبخیزچالک‌رود*، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵ (۱۳۷٦).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]

٦. عظیم‌پور ع.، حسن ص.، علی د.، محمدرضا ث.، *ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین لغزه – مطالعهٔ موردی حوضهٔ آبریز اهر چای*، فضای جغرافیایی، جلد ۹، شمارهٔ ۲٦ (۱۳۸۸).

۷. بهنیافر ا.، پروین ک.، *کاربرد مدل AHP و منطق فازی در منطقه‌بندی خطرات زمین‌لغزش حوضهٔ آبریز فریزی در دامنه شمالی کوه‌های بینالود*، مجله جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۹ (۱۳۸۹).

۸. میرصانعی ر.، محمدرضا م.، *راهنمای تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ایران*، کارگروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین، پژوشکده سوانح طبیعی (۱۳۸٤).

9. Chacon J., Irigaray C., Fernandez T.,"Large to middle scale landslides inventory analysis and mapping with modeling and assessment of derived susceptibility", Hazards and risks in a GIS, 7th International IIAEG congress (1994) 4669-4678.

10. Lee S., Min K.,"Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea", Environmental Geology, 40 (2001) 1095-1113.

11. Lee S., Pradhan B.,"Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression model", Landslides, 4 (1) (2007) 33-41.

۱۲. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، *نقشهٔ زمین‌شناسی چارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده (۱۳۸۰)*.

13. Crippen R.E., "Calculating the vegetation index faster,' Remote Sensing of Environment", Vol. 34 (1990) 71-73.

۱٤. سازمان هواشناسی کشور، گزارش ایستگاه‌های هواشناسی استان گیلان دردوره ٤٥ ساله (۱۳۸۵).

15. Weier J., Herring D., "Measuring Vegetation (NDVI EVI)", http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.html (2008).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.5.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3483]