پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال چهارم، شماره ٤، بهار ۱۳۹۵
صص. ۱۳۳-۱۱۹

# ارزیابی و پهنه‌بندی احتمال خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز یایجیلو با مدل AHP

ابوالفضل مختاری اصل – کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان‌شرقی
مریم رنجبریان شادباد* – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۰۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۲/۱۹

## چکیده

**بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، تهیه نقشه آسیب‌پذیری و دوری جستن از مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌تواند کمک مؤثری در کاهش خسارت‌های احتمالی و مدیریت خطر حاصل از این پدیده داشته باشد. برای بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این حوضه ابتدا نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی عوامل اصلی مؤثر در رخداد این پدیده از قبیل شیب، جهت شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طبقات ارتفاعی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردید و سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عملیات میدانی زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه شناسایی شد. در مرحله بعد با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عوامل موردبررسی در مرحله پیشین به‌صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک از عوامل که مبین میزان تأثیر آن‌ها است محاسبه‌شده است. وزن‌های به‌دست‌آمده در محیط نرم‌افزار Arc Map به لایه و کلاس مربوطه اعمال گردید و سپس اقدام به تلفیق لایه‌های مؤثر شناسایی‌شده در زمین‌لغزش گردید. و درنهایت نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه یایجیلو به دست آمد. نتایج حاصل از این بررسی نشانگر این است که روش تحلیل سلسله مراتبی به دلیل استوار بودن بر مبنای مقایسه زوجی موجب سهولت و دقت در انجام محاسبات لازم و ارائه نتایج به دلیل دخالت دادن تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. نتایج پژوهش نشان‌دهنده این است که در حدود ۲/۳٦ در صد از مساحت حوضه یایجیلو، احتمال وقوع زمین‌لغزش خیلی زیاد بوده، همچنین در ۲۱/۹۳ درصد احتمال وقوع زیاد، ٤٥/۳۸ درصد احتمال وقوع متوسط، ۲۸/۱٤ درصد احتمال وقوع کم و در ۳/۲۱ درصد احتمال وقوع خیلی کم می‌باشد.**

***واژگان کلیدی: پهنه‌بندی زمین‌لغزش، تحلیل سلسله مراتبی،سامانه اطلاعات جغرافیایی، حوضه یایجیلو، اهرچای***

* نویسنده مسئول: E-mail: Maryamranjbarin@yahoo.com

## مقدمه

زمین‌لغزش‌ها فرایندهای طبیعی زمین‌شناسی هستند که ناهمواری‌های سطح زمین را متحول کرده، دوباره شکل می‌دهند (گورسیسکی و همکاران[۱] ،۲۰۰۶: ۱۷۹). پدیده زمین‌لغزش یکی از پدیده‌های مهم و قابل‌توجه در مسائل زیست‌محیطی، آبخیزداری و منابع طبیعی می‌باشد. اهمیت زمین‌لغزش‌ها را می‌توان از دیدگاه‌های گوناگونی موردبحث و بررسی قرارداد. مهم‌ترین دلیل بااهمیت بودن این پدیده، خسارت‌های جانی و مالی ناشی از به وقوع پیوستن آن‌ها می‌باشد (رجب‌زاده،۱۳۹۲: ۲). ایران با داشتن مناطق کوهستانی وسیع، که نیمی از وسعت کشور را تشکیل می‌دهد، دارا بودن مورفولوژی برخاسته از تکتونیک فعال، شکستگی‌ها و خردشدگی‌های فراوان، وجود لیتولوژی حساس و دیگر دلایل ازجمله کشورهای آسیب‌پذیر ازنظر وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌باشد.

امروزه انسان با تغییر کاربری اراضی و گسترش شبکه‌های ارتباطی، حساسیت وقوع زمین‌لغزش‌ها را در سطح کره زمین، به‌ویژه در نواحی کوهستانی تشدید کرده است (گورسیسکی و همکاران،۲۰۰۶: ۱۷۹). در قرن بیستم، قاره آسیا بیشترین حادثه وقوع زمین‌لغزش (۲۲۰ مورد گزارش‌شده) را به خود اختصاص داده است. قاره آمریکا بیشترین تعداد کشته و مجروحان را داشته (بیش از ۲۵۰۰ نفر) و اروپا بالاترین میزان خسارات را تجربه کرده است (کرمی،۱۳۹۱: ۲۲). در ایران در مورد خسارات ناشی از زمین‌لغزش مطالعاتی صورت گرفته است. چنانچه خسارات ناشی از ۴۹۰۰ زمین‌لغزش ثبت‌شده (از سال ۱۳۷۲ تا شهریور ۱۳۸۶) در کشور ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال برآورد گردیده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰). مسلماً هزینه بررسی و مطالعه‌این‌گونه پدیده‌ها و شناسایی و ممیزی مناطق مستعد وقوع آن‌ها، قبل از برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در زمینه بهره‌برداری از این نواحی، بسیار کم‌تر از زیان‌های ناشی از وقوع آن‌ها خواهد بود. در این راستا، پهنه‌بندی زمین‌لغزش، احتمال نسبی رویداد این پدیده را در یک منطقه، بر اساس ویژگی‌های محیطی خاص از آن ناحیه معین می‌کند (گزوتی و همکاران،۱۹۹۹: ۱۸۴). از این طریق، سطح زمین به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل یا بالقوه خطر (بسیار کم – بسیار زیاد) تقسیم می‌شود (کرم و محمودی،۱۳۸۴: ۲).

محدوده موردمطالعه در این پژوهش حوضه آبریز یایجیلو می‌باشد که این حوضه در استان آذربایجان شرقی و در بخش جنوب غربی شهرستان اهر واقع‌شده و یکی از زیر حوضه‌های اهرچای به شمار می‌آید. با توجه به این‌که یکی از اصولی‌ترین روش‌های کاهش اثرات زمین‌لغزش در حوضه موردمطالعه، شناسایی مناطق مستعد در برابر وقوع این حادثه طبیعی و پهنه‌بندی این مناطق بر مبنای حساسیت آن‌ها نسبت به زمین‌لغزش است. اقدام به پهنه‌بندی زمین‌لغزش با بهره‌گیری از توانایی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS ) و با مدل (AHP ) گردیده است.

## پیشینه تحقیق

در زمینه‌ی موضوع موردمطالعه تحقیقات زیادی در سطح بین‌المللی و ایران انجام‌شده است برای مثال کولار و همکاران[۱] (۲۰۰۰) ، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شمال هند را تهیه و بیان کردند که نقشه تهیه‌شده با زمین‌لغزش‌های موجود مطابقت دارد.کماک[۲] (۲۰۰۶) ، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش آماری چند متغیره در اسلونی تهیه نمود. در تحقیق کماک مناطقی که ازنظر حساسیت زمین‌لغزش بالا هستند ارتباط نزدیکی با توزیع جاده‌ها دارند.فان یولیو[۳] (۲۰۰۷) ، نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش را با استفاده از روشLNRF و ارزش اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای منطقه لانگنن در استان گانسو چین تهیه‌کرده است. نتایج نشان می‌دهد که روش ارزش اطلاعاتی بیشتر برای مکان‌هایی که دارای زمین‌لغزش فعال بودند ، کارایی بهتری دارد. یلسین[۴] (۲۰۰۸) ، نقشه حساسیت زمین‌لغزش در حوضه آردیس ترکیه را با سه روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ، فاکتور وزنی (wf) و شاخص آماری (wi) تهیه نمود و نتیجه گرفت که روش AHP مناطق دارای زمین‌لغزش را نسبت به دو روش دیگر در حوضه موردمطالعه بهتر نشان می‌دهد. وان[۵]

(۲۰۰۹ ) ، با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فضایی به استخراج عوامل اصلی زمین‌لغزش برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در تایوان پرداخت. بندریک و همکاران[۶] (۲۰۱۰) ، با استفاده از توزیع دومتغیره آماری به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه کارل اونری در اسلوکی پرداختند. و برای محاسبه وزن لایه‌های موردبررسی از شاخص آنتروپی استفاده کردند. ژانگ و همکاران[۷] (۲۰۱۲) ، در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس مدل توزیع چند وزنی در مناطق ساحلی جنوب شرق چین پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش این مدل روش مناسبی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌باشد.

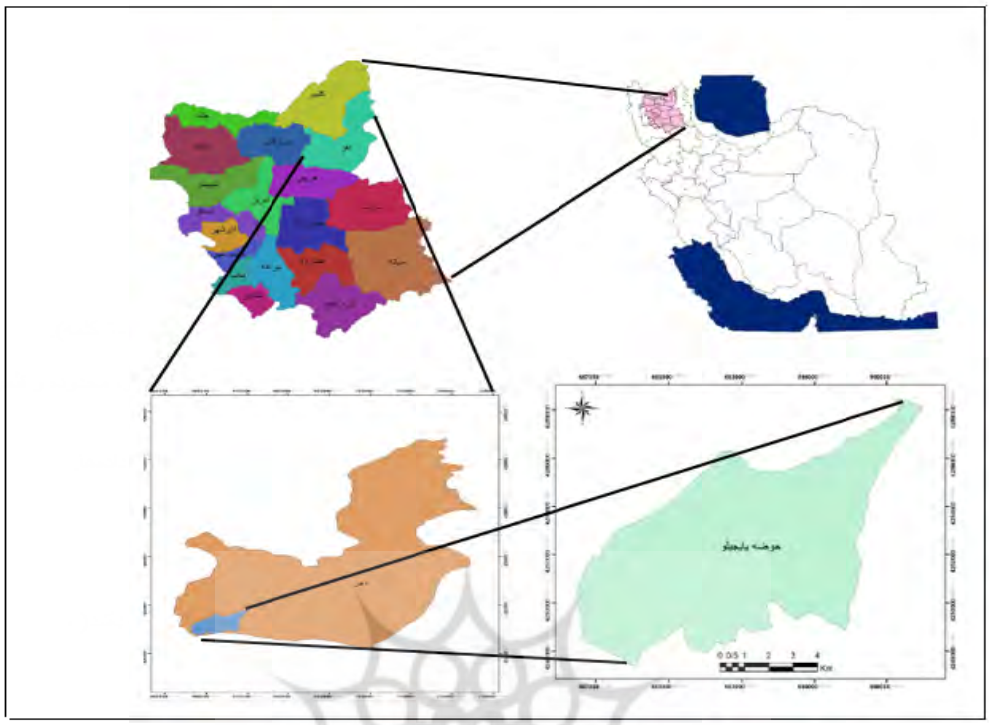
در ایران نیز مطالعات باارزشی در زمینه خطر زمین‌لغزش انجام‌شده است برای مثال، بهیانفر و همکاران (۱۳۸۹)، به کاربرد مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی در منطقه بندی خطرات زمین‌لغزش در حوضه آبریز فریزی، دامنه شمالی کوه‌های بینالود پرداختند. نتیجه این پژوهش نشان داد که اولاً حدود ۶۸ درصد از حوضه در معرض خطر بحرانی و متوسط زمین‌لغزش قرار دارد، ثانیاً مشخص شد که متغیر سازند فیلیتی با برخورداری از معناداری بالا نسبت به سازندهای دیگر موجود در حوضه همبستگی قوی‌تری را با متغیر وابسته خطر زمین‌لغزش دارد. فتحی(۱۳۹۰)، در بررسی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز گرم‌چای میانه از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کرده، نتیجه حاصله نشان داده که در بین ۹ عامل مؤثر در ایجاد

زمین‌لغزش عوامل شیب و لیتولوژی به ترتیب بیشترین نقش را در وقوع و ایجاد زمین‌لغزش‌های حوضه بر عهده داشته‌اند. رنجبر(۱۳۹۱)، طی مطالعه‌ای عوامل مؤثر در حرکات توده‌ای حوضه‌کرگانرود را با استفاده از مدل AHP بررسی و پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و با توجه به وزن نهایی هر عامل به ابن نتیجه رسید که عامل سنگ‌شناسی، شیب و جهت شیب در حوضه به ترتیب مهم‌ترین عامل مؤثر در زمین‌لغزش منطقه موردنظر می‌باشد. قهرمانی و همکاران (۱۳۹۱) ، در مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی روش‌های تحلیل سلسله مراتبی AHP ، FAHP ، LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی : حوضه آبخیز النگ دره )» به این نتیجه رسیدند که روش LNRF کاملاً مستقل ازنظر کارشناسی عمل می‌کند ، به واقعیت نزدیک‌تر است ، امکان بروز خطا در آن به حداقل رسیده و از روش‌های دیگر نیز مطمئن‌تر است. کرمی(۱۳۹۱)، در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه‌خشک، با استفاده از روش‌های آماری و مدل وزنی شاهد به این نتیجه رسیدند که حدود ۹۲درصد زمین‌لغزش‌ها در محدوده‌های با حساسیت متوسط تا خیلی زیاد اتفاق افتاده‌اند.

در این راستا هدف پژوهش حاضر شناسایی و بررسی نقش عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های حوضه یایجیلو در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. همچنین بررسی و طبقه‌بندی عوامل تأثیرگذار و اولویت‌بندی آن‌ها و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه و شناسایی نقاط با پتانسیل بالای خطر از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد.

**معرفی منطقه موردمطالعه**

حوضه یایجیلو ازنظر تقسیمات کشوری در استان آذربایجان شرقی و شهرستان اهر واقع‌شده است. و یکی از زیر حوضه‌های اهرچای به شمار می‌آید. حوضه موردمطالعه در بخش جنوب غربی شهرستان اهر و در بین مختصات جغرافیایی ´ ۴۸ °۴۶ الی ´ ۵۷ °۴۶ طول‌های شرقی و ״۳۰ ´ ۲۱ °۳۸ الی ״۳۰ ´ ۲۷ °۳۸ عرض‌های شمالی قرارگرفته است(شکل ۱). مساحت حوضه موردمطالعه ۷۴/۰۴ کیلومترمربع است. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۴۸۴ متر و حداقل ارتفاع حوضه ۱۳۷۸ متر است. از روستاهای موجود در این حوضه می‌توان به روستاهای گمیش‌آباد، کوره درق، یایجیلو، زنجیربلاغ اشاره کرد.



**شکل۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز یایجیلو**

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی زمین‌لغزش در حوضه آبریز یایجیلو از مواد و روش‌های زیر استفاده‌شده است:

- نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰
- نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰
- تصاویر ماهواره‌ای spot 2008
- نرم‌افزار Arc GIS

روش مورداستفاده در این تحقیق روش (AHP) که روش نیمه‌کمی است می‌باشد، در این روش همانند سایر روش‌ها تأثیر عوامل اثرگذار در وقوع لغزش مانند (شیب، جهت شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طبقات ارتفاعی) شناسایی‌شده و پس از تهیه تمامی لایه‌های اطلاعاتی فوق‌الذکر، همه‌ی این لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزارArc GIS همپوشانی شده و در انتها، منطقه‌ی موردمطالعه به نواحی با میزان پتانسیل خطر لغزشی متفاوتی تقسیم می‌شود. (فتحی، ۱۳۹۰).

روش AHP یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده 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 درباره موضوع یا مسئله موردنظر وجود دارد (شادفر۱۲۱:۱۳۸۶). در فرایند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عناصر مربوط به خود در سطح بالاتر به‌صورت زوجی مقایسه شده، وزن آن‌ها محاسبه می‌گردد. این وزن‌ها را وزن نسبی می‌گویند. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد که آن را وزن مطلق می‌نامیم. کلیه مقایسه‌ها به‌صورت زوجی انجام می‌گیرد. در این مقایسه تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده می‌کنند به‌گونه‌ای که اگر زمین‌شناسی با شیب مقایسه شود تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت عامل زمین‌شناسی بر شیب یکی از حالات به شرح جدول (۱) می‌باشد.

**جدول ۱: ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم(قدسی پور،۱۳۸٤)**

| ترجیحات(قضاوت کارشناسی) | مقدار عددی |
|---|---|
| کاملاً مرجح یا مطلوب‌ترین | ۹ |
| ارجحیت خیلی قوی | ۷ |
| ارجحیت قوی | ۵ |
| کمی مرجح | ۳ |
| ارجحیت یکسان | ۱ |
| ترجیحات بین فواصل فوق | ۸و۶و۴و۲ |

درهرحال، به‌منظور مشخص کردن ویژگی‌های مربوط به عوامل تأثیرگذار بر رخداد زمین‌لغزش و تعیین پتانسیل نقاط مختلف پهنه‌ی تحقیق به وقوع این پدیده در قالب پهنه‌بندی خطر آن با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی، اقدام به تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مشتمل بر نقشه‌های شیب، جهت شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طبقات ارتفاعی در محیط GIS شده است. پس از تهیه تمامی لایه‌های اطلاعاتی فوق‌الذکر و وزن دهی به آن‌ها ، همه‌ی این لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزارArc GIS همپوشانی شده و در انتها، منطقه‌ی موردمطالعه به نواحی با میزان پتانسیل خطر لغزشی متفاوتی تقسیم می‌شود.

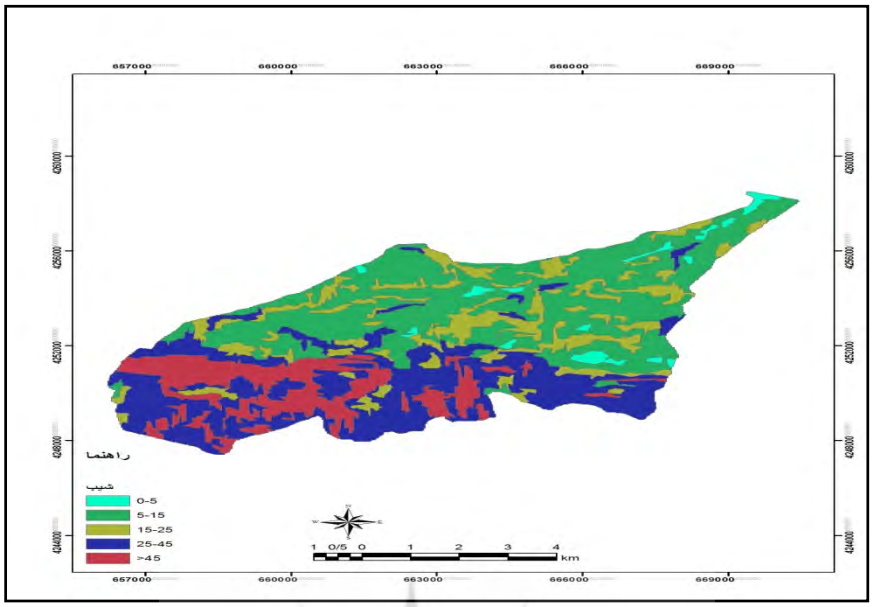
## بحث و یافته‌ها

به‌منظور تهیه نقشه‌های موضوعی در محیط نرم‌افزار GIS و تهیه نقشه آسیب‌پذیری، تعداد ۸ فاکتور کنترل‌کننده بر اساس ارتباط نزدیک آن‌ها در وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز موردمطالعه انتخاب شد که این فاکتورها شامل شیب، جهت شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طبقات ارتفاعی می‌باشند و همچنین بعد از انتخاب فاکتورها، هر فاکتور به چندین کلاس طبقه‌بندی شد. برای تهیه لایه‌های مربوط به فاکتورهای مختلف و تهیه نقشه‌های موضوعی در محیط GIS از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های بارش، استفاده شد. نقشه‌های موضوعی شیب، جهت شیب و ارتفاع به‌طور مستقیم با فرمت رستری از DEM منطقه به دست آمد ولی دیگر نقشه‌های موضوعی از قبیل نقشه گسل، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه با فرمت وکتوری تهیه و سپس به‌منظور تلفیق لایه‌ها به فرمت رستری تبدیل گردید. در مرحله بعدی مقادیر وزن‌ها به ترتیب به لایه‌های رستری و کلاس‌های هر یک از لایه‌ها اختصاص داده شد که برای این منظور از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. سپس بر اساس همپوشانی نقشه‌های موضوعی، نقشه آسیب‌پذیری منطقه موردمطالعه با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده تهیه گردید. به‌منظور ارزیابی قدرت انطباق، دقت و صحت سنجی مدل تهیه‌شده، نتایج حاصله با نقشه زمین‌لغزش‌های فعال در منطقه مقایسه گردید.

## لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در زمین‌لغزش

### شیب

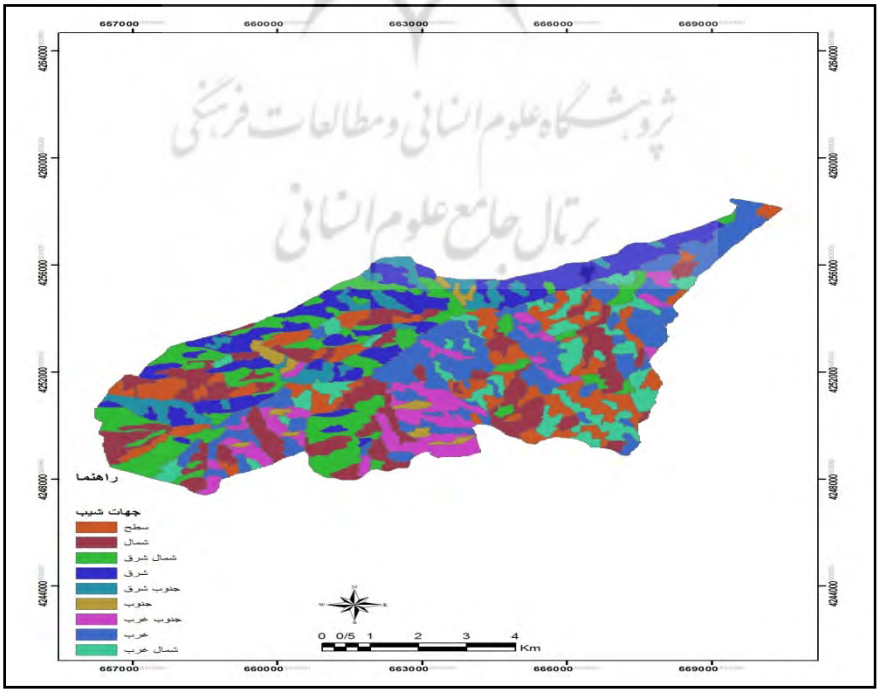
شیب دامنه تأثیر بسیار زیادی در وقوع زمین‌لغزش دارد (ساکار و همکاران [1]، ۱۹۹۵: ۳۰۱) و در صورت ثابت بودن دیگر عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش، هرقدر دامنه‌ای پرشیب‌تر باشد، بیشتر مستعد ناپایداری است (مقیمی و محمودی، ۱۳۸۳: ۲۸۴). جهت بررسی عامل شیب در حوضه آبریز یایجیلو ، پس از رقومی کردن نقشه‌های توپوگرافی و ایجاد DEM از نقشه توپوگرافی ، نقشه شیب به درصد در محیط ARC GIS تهیه و در قالب ۵کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۲).




**شکل۲: نقشه شیب حوضه یایجیلو**

## جهت شیب

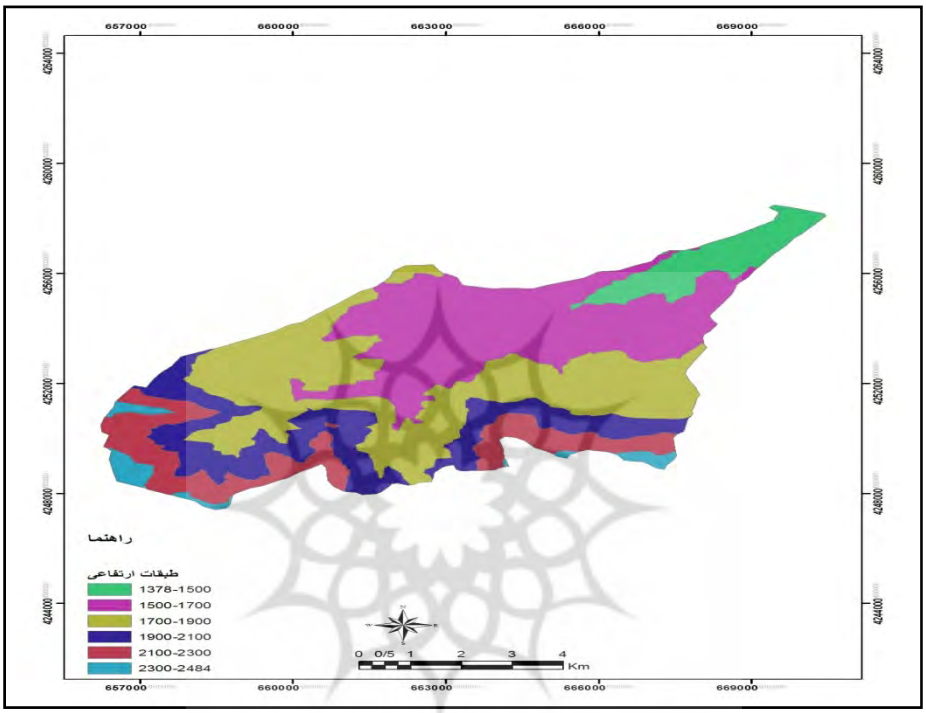
جهت شیب به علت اینکه در ارتباط با پارامترهایی نظیر درصد جذب نور خورشید، بادهای خشک‌کننده و باران می‌باشد به‌عنوان یک فاکتور مهم در تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین‌لغزش در نظر گرفته می‌شود (کماک،۲۰۰۶: ۱۰۹؛ یلسین، ۲۰۰۸: ۱). نقشه جهت شیب حوضه یایجیلو از روی نقشه DEM تهیه شد. و بر مبنای ۹ جهت طبقه‌بندی‌شده است (شکل۳).




**شکل ۳: نقشه جهت شیب حوضه یایجیلو**

### طبقات ارتفاعی

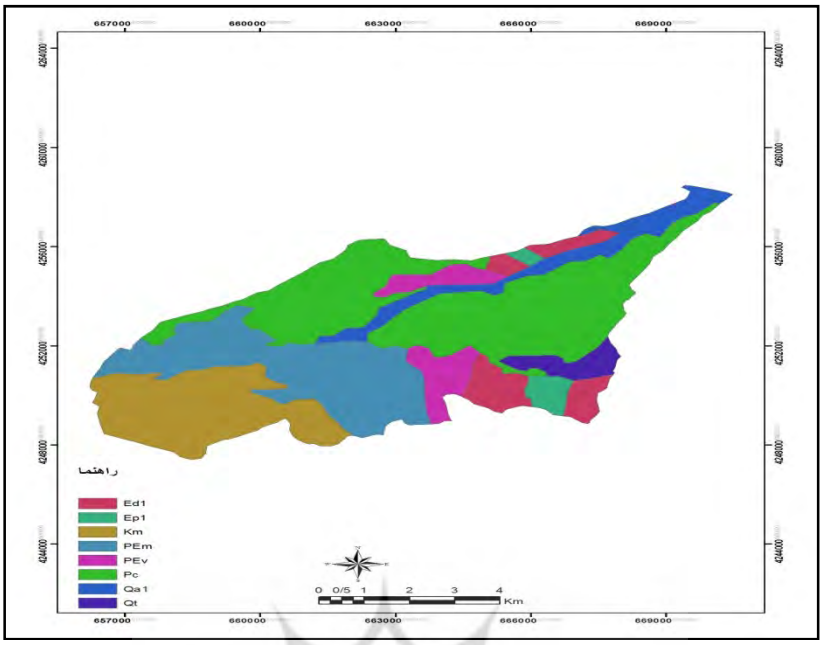
ارتفاع از عوامل مهم کنترل‌کننده ناپایداری یک دامنه می‌باشد. در دو دامنه مشابه و با مقدار شیب ثابت دامنه‌ای که مرتفع‌تر است از پتانسیل ناپایداری بیشتری برخوردار است (جعفری،۱۳۷۵). سطوح ارتفاعی منطقه از ۱۳۷۸متر در خروجی حوضه تا ۲۴۸۴ متر در ارتفاعات حوضه متغیر است. نقشه ارتفاع اراضی حوضه از DEM منطقه استخراج‌شده و در ۷ طبقه با توجه به تأثیر آن بر زمین‌لغزش طبقه‌بندی گردید (شکل ۴).




**شکل٤: نقشه طبقات ارتفاعی حوضه یایجیلو**

### سنگ‌شناسی

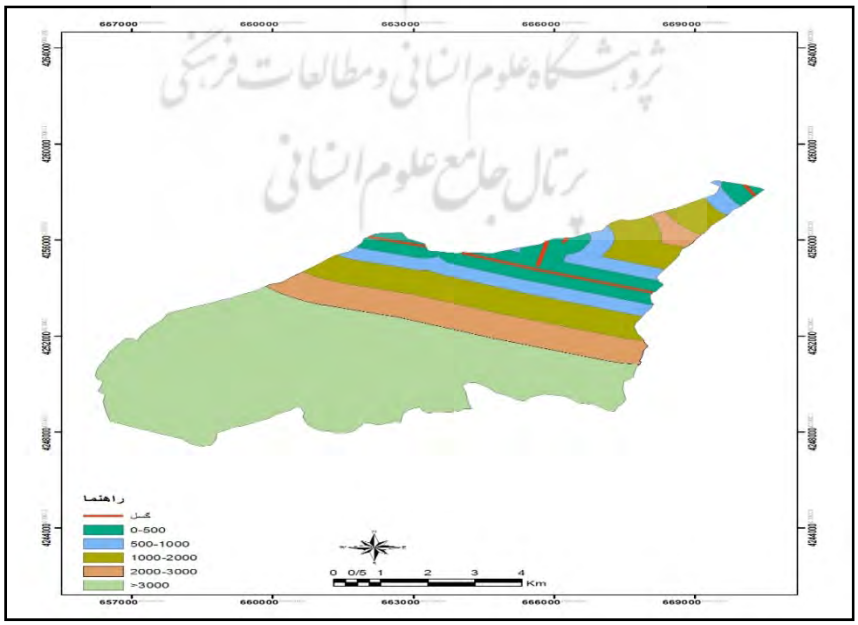
جنس زمین و نوع سنگ‌ها از عوامل مهم و تأثیرگذار در پدیده زمین‌لغزش است. سنگ‌ها به‌واسطه‌ی تفاوت در جنس رسوبات تشکیل‌دهنده و شرایط و دوران شکل‌گیری، مقاومت‌های مختلفی را در مقابل نیروهای خارجی از خود نشان می‌دهند (رنجبر و معمار افتخاری، ۱۳۹۱: ۱۱۹). در این مطالعه اطلاعات‌پایه مورداستفاده برای تهیه نقشه زمین‌شناسی اصلی با فرمت وکتور از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰: ۱ سازمان زمین‌شناسی به‌دست‌آمده است (شکل ۵).




**شکل ٥: نقشه سنگ‌شناسی حوضه یایجیلو**

### فاصله از گسل

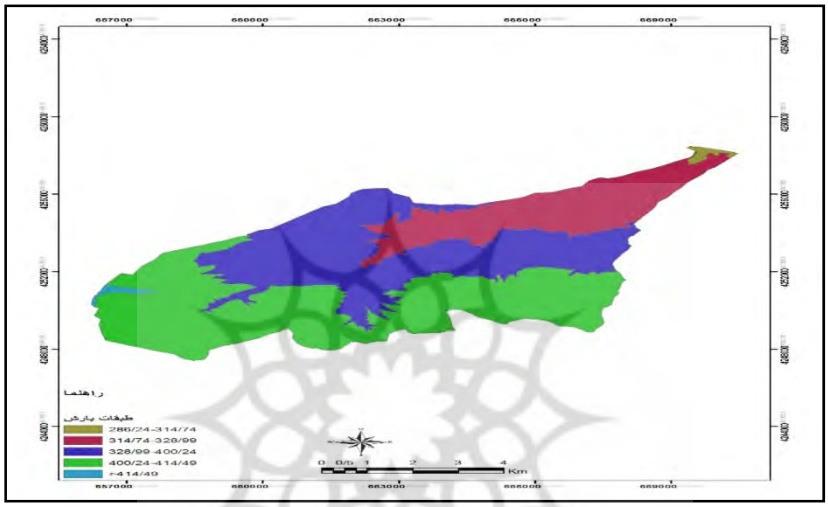
مناطق گسلی به‌وسیله ایجاد شیب‌های تند، مناطق برشی ضعیف شده و سنگ‌های دارای شکستگی، پتانسیل وقوع زمین‌لغزش را افزایش می‌دهند (رجب‌زاده،۱۳۹۲: ۱۰۷). خطوط گسل حوضه یایجیلو از روی نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه در مقیاس ۱۰۰۰۰۰: ۱ استخراج، رقومی و در محیط GIS برای آن پایگاه اطلاعاتی تشکیل شد و با توجه به ارتباط مستقیم و غیرمستقیم خطوط گسل در ایجاد فرایندهای دامنه‌ای ، با استفاده از زیر نرم‌افزار Spatial Analyses تحتGIS حریم گسل برای حوضه استخراج و طبقه‌بندی گردید(شکل ۶).




**شکل٦: نقشه طبقات گسل حوضه یایجیلو**

### بارش

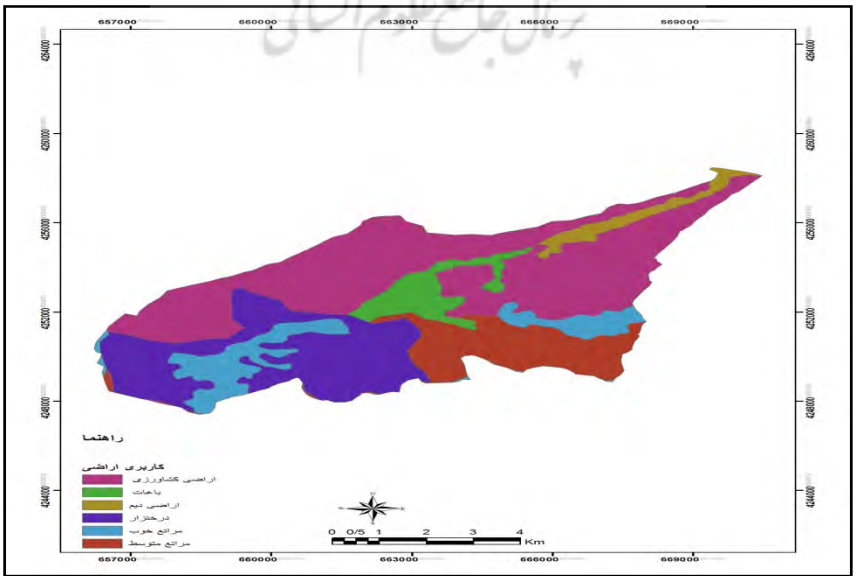
الگوی مکانی بارش وابستگی بسیار نزدیکی با زمین‌لغزش دارد (استارکل[1] ، ۱۹۷۶). به‌وسیله‌ی تأثیر فشار آب بر دامنه‌های ناپایدار که از طریق نفوذ بارش ایجاد می‌گردد (تی ساکاماتو و اوهتا[2] ، ۱۹۸۸). با توجه به اهمیت نقش بارش در اشباع خاک و بروز ناپایداری دامنه‌ای، این عامل موردبررسی قرارگرفته است. نقشه بارش منطقه با توجه به داده‌های اقلیمی و گرادیان بارش در رابطه با ارتفاع منطقه در فرمت رستری با استفاده از تکنیک‌های اطلاعات مکانی استخراج گردید. به دلیل کمبود ایستگاه‌های درون حوضه‌ای در منطقه موردمطالعه از داده‌های ایستگاه‌های مجاور (سد اهر ستارخان، اهر، ورزقان، وردین،تازه کند) جهت تجزیه و تحلیل استفاده‌شده است (شکل۷).




**شکل۷: نقشه طبقات بارش حوضه یایجیلو**

### کاربری اراضی

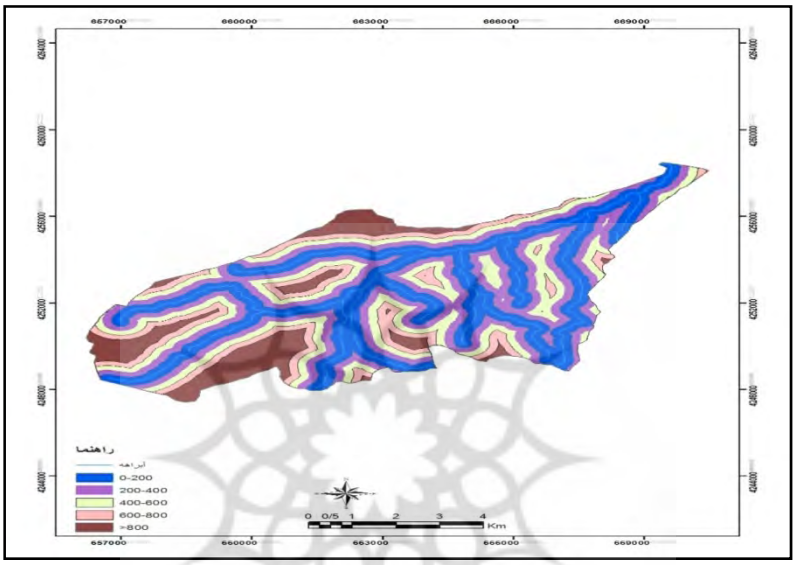
کاربری زمین یکی از شاخص‌های اصلی در مطالعه زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر آن‌ها در یک ناحیه می‌باشد. نقشه کاربری اراضی حوضه یایجیلو، از نقشه کاربری اراضی استان آذربایجان شرقی و در قالب ۶ کلاس استخراج‌شده است (شکل ۸). بر اساس نتایج جدول(۳) در حوضه یایجیلو اراضی کشاورزی، بیش‌ترین میزان خطر وقوع زمین‌لغزش‌ها را دارا هستند.




**شکل۸: نقشه کاربری اراضی حوضه یایجیلو**

### فاصله از آبراهه

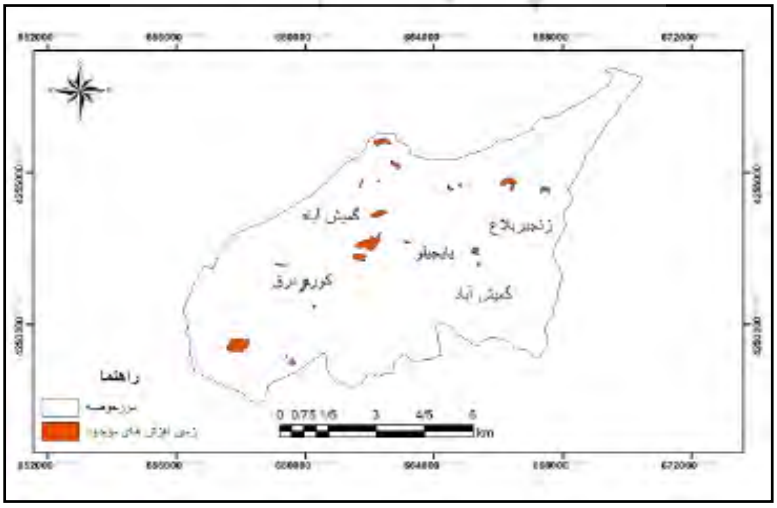
نزدیکی شیب‌ها به شبکه‌های زهکشی به‌طور مستقیم بر روی درجه اشباع مواد و پایداری شیب تأثیر می‌گذارد. شبکه زهکشی می‌تواند از طریق فرسایش شیب‌ها یا به‌وسیله‌ی اشباع مواد بخش‌های پایینی دامنه که خود باعث بالا آمدن سطح ایستابی می‌شود تأثیرات منفی بر پایداری شیب داشته باشد (دای [۱]، ۱۹۷۴: ۳۸۱؛ ساها [۲] ، ۲۰۰۲: ۳۵۷). برای بررسی تأثیر فاصله از آبراهه ،شبکه زهکشی حوضه یایجیلو از روی DEM تحت GIS و با استفاده از زیر نرم‌افزار هیدرولوژی از Spatial Analyes استخراج و نسبت به پتانسیل زمین‌لغزش‌ها طبقه‌بندی گردید (شکل ۹).




**شکل۹: طبقات آبراهه حوضه یایجیلو**

### زمین‌لغزش‌های رخداده

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در احتمال وقوع زمین‌لغزش اقدام به تهیه نقشه زمین‌لغزش‌های رخداده در محدوده موردمطالعه گردید. این نقشه با بررسی تصاویر ماهواره‌ای منطقه تهیه گردیده است (شکل ۱۰) همچنین جهت کنترل صحت نقشه تهیه‌شده اقدام به بازدید صحرایی از منطقه گردید.




**شکل۱۰: نقشه زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در حوضه یایجیلو**

با توجه به روش تحقیق شرح داده‌شده نتایج حاصل از تحقیق به شرح زیر می‌باشد: نتیجه حاصل از مقایسه دوبه‌دو یا زوجی عوامل ۸ گانه مؤثر در منطقه تحقیق با در نظر گرفتن لایه‌های اطلاعاتی تهیه‌شده در محیط GIS شامل نقشه‌های شیب، جهت شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طبقات ارتفاعی در جدول (۲) ارائه‌شده است. به‌عنوان‌مثال عنصر ۱ و ۱ ماتریس موردنظر (ستون ۱، ردیف ۱) نشانگر اولویت معیار سنگ‌شناسی به سنگ‌شناسی است که دارای اولویت یا اهمیت یکسانی نسبت به هم می‌باشند و عددی که برای این اولویت در جدول (۱) ذکرشده است برابر ۱ است. و یا خانه ۱ و ۲ ماتریس که اولویت و اهمیت سنگ‌شناسی به شیب را نشان می‌دهد که اکثر کارشناسان با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده در منطقه اهمیت عامل شیب نسبت به سنگ‌شناسی کمی مهم‌تر دانسته‌اند که می‌توان برای آن بر اساس جدول ۱ عدد ۲ را در نظر گرفت. به همین ترتیب سایر عناصر ماتریس تکمیل گردید. درنهایت با تشکیل ماتریس‌های مربوطه وزن کلاس‌ها و لایه‌ها را محاسبه می‌کنیم. وزن‌های محاسبه‌شده در جدول (۳) آورده شده است.

**جدول۲: ماتریس و مقدار عددی مربوط به هر یک از عوامل ۸ گانه مؤثر در زمین‌لغزش‌های حادث‌شده در حوضه**

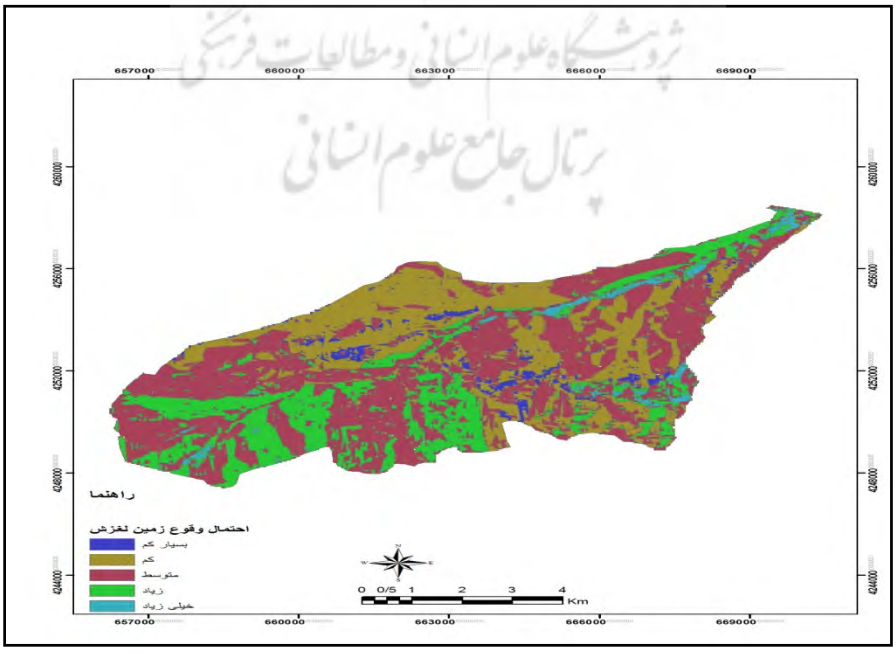
| | سنگ‌شناسی | شیب | جهت شیب | فاصله از گسل | کاربری اراضی | بارش | فاصله از آبراهه | ارتفاع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سنگ‌شناسی | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
| شیب | ۰/۵ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ |
| جهت شیب | ۰/۳۳۳ | ۰/۵ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
| فاصله از گسل | ۰/۲۵ | ۰/۳۳۳ | ۰/۵ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
| کاربری اراضی | ۰/۲ | ۰/۲۵ | ۰/۳۳۳ | ۰/۵ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
| بارش | ۰/۱۶۶۷ | ۰/۲ | ۰/۲۵ | ۰/۳۳۳ | ۰/۵ | ۱ | ۲ | ۳ |
| فاصله از آبراهه | ۰/۱۴۲۹ | ۰/۱۶۶۷ | ۰/۲ | ۰/۲۵ | ۰/۳۳۳ | ۰/۵ | ۱ | ۲ |
| ارتفاع | ۰/۱۲۵ | ۰/۱۴۲۹ | ۰/۱۶۶۷ | ۰/۲ | ۰/۲۵ | ۰/۳۳۳ | ۰/۵ | ۱ |

**جدول۳: توزیع زمین‌لغزش برای لایه‌های اطلاعاتی مختلف و مقدار وزن اعمال شده برای هر لایه**

| لایه‌های اطلاعاتی | وزن لایه | کلاس | مساحت سطح لغزش یافته (کیلومترمربع) |
|---|---|---|---|
| **شیب** | ۰/۲۳۰۷ | ۰ – ۵ | ۰ |
| | | ۵ –۱۵ | ۰/۲۸ |
| | | ۱۵ –۲۵ | ۰/۱۵ |
| | | ۲۵ –۴۵ | ۰/۴۳ |
| | | >۴۵ | ۰/۰۸ |
| **جهت شیب** | ۰/۱۵۷۲ | سطح | ۰ |
| | | شمال | ۳/۰۳ |
| | | شمال شرق | ۰/۲۹ |
| | | شرق | ۰/۳۵ |
| | | جنوب شرق | ۰/۱ |
| | | جنوب | ۰/۰۴ |
| | | جنوب غرب | ۰/۰۴ |
| | | غرب | ۰/۰۲ |
| | | شمال غرب | ۰/۰۶ |
| **بارش** | ۰/۰۴۴۷ | ۲۸۶/۲۴ – ۳۱۴/۷۴ | ۰ |
| | | ۷۴/۳۱۴ – ۳۲۸/۹۹ | ۰/۱۵ |
| | | ۹۹/۳۲۸ – ۴۰۰/۲۴ | ۰/۵۳ |
| | | ۲۴/۴۰۰ – ۴۱۴/۴۹ | ۰/۲۶ |
| | | >۴۹/۴۱۴ | ۰ |
| **سنگ‌شناسی** | ۰/۳۳۱۳ | Ed1 | ۰ |
| | | Ep1 | ۰ |
| | | Km | ۰/۲۷ |
| | | Pc | ۰/۴۸ |
| | | PEm | ۰/۰۳ |
| | | PEv | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | Qa1 | ۰/۰۱ |
| | | Qt | ۰/۱۵ |
| کاربری اراضی | ۰/۰۷۰۹ | اراضی کشاورزی | ۰/۵۹ |
| | | باغات | ۰/۰۳ |
| | | اراضی دیم | ۰/۰۱ |
| | | درختزار | ۰/۱۹ |
| | | مراتع خوب | ۰ |
| | | مراتع متوسط | ۰/۱ |
| فاصله از آبراهه | ۰/۰۲۳۷ | ۰ -۲۰۰ | ۰/۲۴ |
| | | ۲۰۰ – ۴۰۰ | ۰/۳۱ |
| | | ۴۰۰ – ۶۰۰ | ۰/۱۹ |
| | | ۶۰۰ – ۸۰۰ | ۰/۰۶ |
| | | >۸۰۰ | ۰/۱۳ |
| فاصله از گسل | ۰/۱۰۵۹ | ۰ – ۵۰۰ | ۰/۲ |
| | | ۵۰۰ – ۱۰۰۰ | ۰/۰۵ |
| | | ۱۰۰۰ – ۲۰۰۰ | ۰/۰۱ |
| | | ۲۰۰۰ – ۳۰۰۰ | ۰/۱۲ |
| | | >۳۰۰۰ | ۰/۵۵ |
| طبقات ارتفاعی | ۰/۰۲۳۶ | ۱۳۷۸ – ۱۵۰۰ | ۰ |
| | | ۱۵۰۰ – ۱۷۰۰ | ۰/۵ |
| | | ۱۷۰۰ – ۱۹۰۰ | ۰/۱۸ |
| | | ۱۹۰۰ – ۲۱۰۰ | ۰/۱۹ |
| | | ۲۱۰۰ – ۲۳۰۰ | ۰/۰۷ |
| | | ۲۳۰۰ – ۲۵۰۰ | ۰ |

وزن‌های به‌دست‌آمده در محیط نرم‌افزار Arc Map به لایه و کلاس مربوطه اعمال گردید و سپس اقدام به تلفیق لایه‌های مؤثر شناسایی‌شده در زمین‌لغزش گردید. و درنهایت نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه یایجیلو به دست آمد (شکل ۱۱). بعدازاین که نقشه نهایی پهنه‌بندی به دست آمد مساحت هر پهنه محاسبه شد (جدول ۴). بر اساس جدول (۴) در حدود ۲/۳۶ در صد از مساحت حوضه یایجیلو، احتمال وقوع زمین‌لغزش خیلی زیاد بوده، همچنین در ۲۱/۹۳ درصد احتمال وقوع زیاد، ۴۵/۳۸ درصد احتمال وقوع متوسط، ۲۸/۱۴ درصد احتمال وقوع کم و در ۳/۲۱ درصد احتمال وقوع خیلی کم می‌باشد.

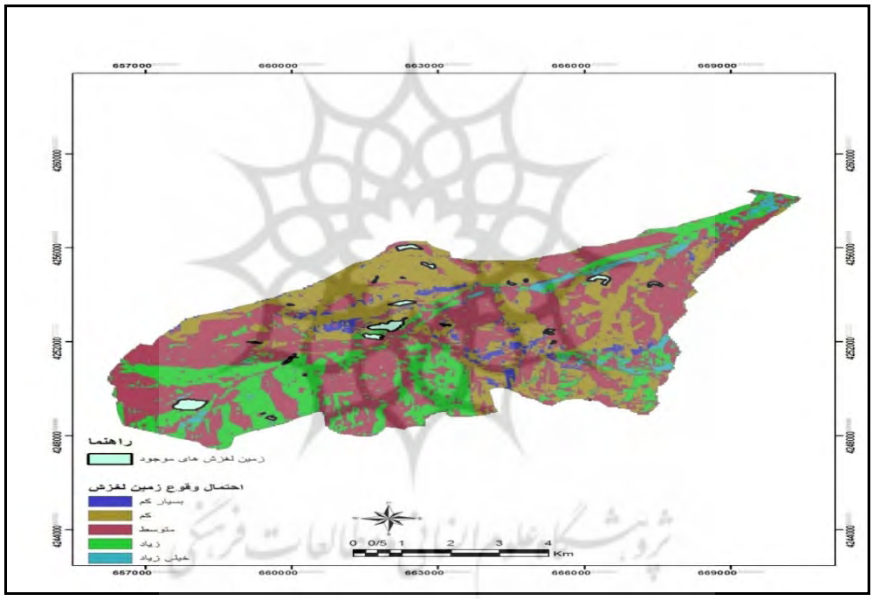



**شکل ۱۱: نقشه پهنه‌بندی خطر احتمال وقوع زمین‌لغزش در حوضه یایجیلو**

**جدول٤: مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌ها**

| ردیف | شدت خطر | مساحت به کیلومترمربع | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| ۱ | بسیار کم‌خطر | ۲/۳۸ | ۳/۲۱ |
| ۲ | خطر کم | ۲۰/۸۴ | ۲۸/۱۴ |
| ۳ | خطر متوسط | ۳۳/۶ | ۴۵/۳۸ |
| ۴ | خطر زیاد | ۱۶/۲۴ | ۲۱/۹۳ |
| ۵ | خطر خیلی زیاد | ۱/۷۵ | ۲/۳۶ |

نتایج فوق نشان از هم‌خوانی نقشه پهنه‌بندی تهیه‌شده و لغزش‌های موجود بوده که از این موضوع می‌توان به صحت نقشه حاصل پی برد و همچنین مشخص گردید که روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مورداستفاده در این تحقیق روش کاملاً مناسبی جهت پهنه‌بندی خطر احتمال وقوع زمین‌لغزش در حوضه موردمطالعه می‌باشد.




**شکل۱۲: نقشه صحت سنجی پهنه‌بندی خطر احتمال وقوع زمین‌لغزش در حوضه یایجیلو**

## نتیجه‌گیری

حوضه یایجیلو در استان آذربایجان شرقی و در جنوب غرب شهرستان اهر واقع‌شده و یکی از زیر حوضه‌های اهرچای به شمار می‌آید. این حوضه به علت ویژگی‌های توپوگرافی، اقلیمی و زمین‌شناسی مستعد وقوع انواع زمین‌لغزش‌هاست. این مطالعه با استفاده از مدل AHP و همچنین بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی، به شناسایی عوامل مؤثر و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این حوضه پرداخته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که فاکتورهای شیب، جهت شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طبقات ارتفاعی عوامل مؤثر در بروز زمین‌لغزش‌های منطقه به شمار می‌آیند که ازاین‌بین فاکتورهای سنگ‌شناسی، شیب و جهت شیب با بالاترین وزن از اهمیت بیشتری برخوردارند.

بر اساس این پژوهش در حدود ۲/۳۶ در صد از مساحت حوضه یایجیلو، احتمال وقوع زمین‌لغزش خیلی زیاد بوده، همچنین در ۲۱/۹۳ درصد احتمال وقوع زیاد، ۴۵/۳۸ درصد احتمال وقوع متوسط، ۲۸/۱۴ درصد احتمال وقوع کم و در ۳/۲۱ درصد احتمال وقوع خیلی کم می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که بیش‌ترین درصد از مساحت حوضه مربوط به مناطق دارای احتمال وقوع متوسط بوده، ازآنجاکه میزان احتمال وقوع متوسط به بالا حدود ۴۵/۳۸ درصد می‌باشد لذا توصیه

می‌گردد که فاکتور زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه در انجام برنامه‌ریزی‌های آینده، مدنظر قرارگرفته و اقدامات لازم قبل از افزایش این احتمال انجام گیرد.

**منابع**


- بهنیافر، ابوالفضل، دانشور، محمدرضا، کهربائیان، پروین (۱۳۸۹)، کاربرد مدل *AHP* و منطق فازی در منطقه بندی خطرات زمین‌لغزش(نمونه موردی حوضه آبریز فریزی، دامنه شمالی کوه‌های بینالود)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۹، صص ۸۹- ۱۰۰.
- رجب‌زاده، حمیدرضا (۱۳۹۲)، ارزیابی و پهنه‌بندی احتمال خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز گدارچای نقده، با استفاده از *GIS*، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، صص ۱- ۱۱۶.
- رنجبر ، محسن ، معمارافتخاری ، محمد ، ۱۳۹۱ ، پهنه‌بندی پدیده‌ی لغزش با استفاده از روش *LNRF* در جاده هراز (از امامزاده هاشم تا لاریجان ) ، فصلنامه انجمن جغرافیایی ایران ، شماره ۳۳ ، صص ۱۰۷- ۱۲۸
- شادفر ، صمد ، یمانی ، مجتبی ، ۱۳۸۶ ، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل *LNRF* ، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ، شماره ۶۲ ، صص ۱۱- ۲۳.
- فتحی ، مهدی ، (۱۳۹۰)، بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی : حوضه آبخیز گرم چای میانه ) ؛ پایان نامه کارشناسی ارشد ؛ دانشگاه تبریز
- قدسی‌پور، حسن (۱۳۸۴)، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (*AHP*) انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- قهرمانی ، نرجس ، خاشعی سیوکی ، عباس ، دخیلی ، رسول ،( ۱۳۹۱ )، بررسی روش‌های *AHP* ، *FAHP* ، *LNRF* در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش(حوضه آبخیز النگ دره)، مجله سنجش‌ازدور و *GIS* ایران، سال چهارم ، شماره اول، صص۶۵- ۸۰.
- کرم، عبدالامیر، محمودی، فرج اله (۱۳۸۴)، مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها در زاگرس چین‌خورده ( حوضه آبریز سرخون چهارمحال بختیاری)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۱، صص ۱- ۱۴.
- کرمی، فریبا (۱۳۹۱)، ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه‌خشک، با استفاده از روش‌های آماری و مدل وزنی شاهد(مطالعه موردی: حوضه زهکشی سعیدآبادچای – شمال غرب ایران)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره سوم،صص ۲۱- ۴۴.
- مرادی ، حمیدرضا ، محمدی ، مجید ، پورقاسمی ، حمیدرضا ،( ۱۳۹۱ )، حرکات دامنه‌ای (حرکات توده‌ای) با تأکید بر روش‌های کمی تحلیل وقوع زمین‌لغزش ، انتشارات سمت ، ص ۲ .
- مقیمی، ابراهیم، محمودی، فرج اله (۱۳۸۳)، روش تحقیق در جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، تهران، انتشارات قومس.
- *12 - Bednarik , M . Magulova , B . Matys , M . Marschalko , M (2010) , Landslide susceptibility Assessment of the kral ovany – Liptovsky Mikulas Railways case study , physics and chemistry of the Earth , pp .162 – 171.*
- *13 - Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. Environmental Geology 43 (3), 381–391*
- *14 - Fanyu liu , Z ( 2007) , Study on Landslide sussptibility Mapping Based GIS and with Bivariate statistics a case study in Longnan Area Highway 212 .science online.*
- *15 - Gorsevski,P.V., Gessler, P.E., Boll,J., Elliot,W.J., Foltz,R.B. (2006), Spatially and temporally distributed of landslide susceptibility, Geomorphology 80, 178- 198.*
- *16 - Guzzetti,F., Carrara,A., Cardinali,M., and Reichenbach,P(1999): Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multiscale study,Central Italy.Geomorphology,Vol.31:181- 216.*

- *17 - Khullar , V . K , sharam , R . P . paramanik , K ( 2000 ) , A GIS approach in the landslide zone lawngthlia in southern mizoran.*
- *Landslide : proceeding of the 8th international symposium on landslides , vol .3 .pp. 1461-1472.*
- *18. Komac , M ( 2006) , A landslide suscepility model using the Analytical Hierarchy process method and multivariate statistic in per alpine Slovenia , Geomorphology , vol . 24. pp. 17 – 28.*
- *19 - Saha, A.K., Gupta, R.P., Arora, M.K., 2002. GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valley, Himalayas. International Journal of Remote Sensing 23 (2), 357–369*
- *20 - Sakar, S., D. Pkanungo and G.S. Mehrotar. 1995. landslide zonation, a case study in garwal himalaya, India. Mountain Research and Development,15(4):301- 309.*
- *21- Starkel, L(1976); The role of extreme (catastrophic) meteorological events.*
- *22 - Tsukamoto, Y., and Ohta, T(1988); Runoff processes on a steep forested slope. Journal of Hydrology, vol.102.pp. 165-178.*
- *23. Wan , S ( 2009) , A spatial Decision support system for Extracting the core Factors and Thesholds for Landslide susceptibility Map , Engineering Geology , vol . 108 . pp . 237 – 251.*
- *24 . Yalcin , A ( 2008 ) , GIS – based landslide sussptibility mapping using analytical hierchay process and bivariate statistics in Ardesen (turkey) : comparisons of results and confirmations. CATENA , vol. 72. pp 1-12.*
- *25. Zhang , W . Wang , W . Xia , Q ( 2012 ) , Landslide Risk Zoning Based on contribution of rate stack Method , Energy procedia , vol . 16 . pp 178 – 183.*


پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی