

## ارزیابی و پهنه‌بندی احتمال خطر زمین لغزش در حوضه آبریز یاجیلو با مدل AHP

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

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

### چکیده

بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، تهیه نقشه آسیب پذیری و دوری جستن از مناطق مستعد وقوع زمین لغزش می‌تواند کمک مؤثری در کاهش خسارت‌های احتمالی و مدیریت خطر حاصل از این پدیده داشته باشد. برای بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش 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 زمین لغزش‌های موجود در منطقه شناسایی شد. در مرحله بعد با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عوامل مورد بررسی در مرحله پیشین به صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک از عوامل که مبین میزان تأثیر آن‌ها است محاسبه شده است. وزن‌های به‌دست آمده در محیط نرم‌افزار Arc Map به لایه و کلاس مربوطه اعمال گردید و سپس اقدام به تلفیق لایه‌های مؤثر شناسایی شده در زمین لغزش گردید. و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه یاجیلو 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 زمین لغزش است. نتایج پژوهش نشان‌دهنده این است که در حدود ۲/۳۶ درصد از مساحت حوضه یاجیلو، احتمال وقوع زمین لغزش 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.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی زمین لغزش، تحلیل سلسله مراتبی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، حوضه یاجیلو، اهرچای

## مقدمه

زمین‌لغزش‌ها فرایندهای طبیعی زمین‌شناسی هستند که ناهمواری‌های سطح زمین را متحول کرده، دوباره شکل می‌دهند (گورسیسکی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶: ۱۷۹). پدیده زمین‌لغزش یکی از پدیده‌های مهم و قابل توجه در مسائل زیست‌محیطی، آب‌خیزداری و منابع طبیعی می‌باشد. اهمیت زمین‌لغزش‌ها را می‌توان از دیدگاه‌های گوناگونی مورد بحث 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 از جمله کشورهای آسیب‌پذیر از نظر 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 گزارش شده) 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 ثبت شده (از سال ۱۳۷۲ تا شهریور ۱۳۸۶) در کشور ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال برآورد گردیده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰). مسلماً هزینه بررسی و مطالعه این‌گونه 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 مورد مطالعه در این پژوهش حوضه آبریز یاجیلو می‌باشد که این حوضه در استان آذربایجان شرقی و در بخش جنوب غربی شهرستان اهر واقع شده و یکی از زیر حوضه‌های اهرچای به شمار می‌آید. با توجه به این که یکی از اصولی‌ترین روش‌های کاهش اثرات زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه، 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 مورد مطالعه تحقیقات زیادی در سطح بین‌المللی و ایران انجام شده است برای مثال کولار و همکاران<sup>۱</sup> (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<sup>۲</sup> (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 از نظر حساسیت زمین‌لغزش بالا هستند ارتباط نزدیکی با توزیع جاده‌ها دارند. فان یولیو<sup>۳</sup> (۲۰۰۷)، نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش را با استفاده از روش LNRFR و ارزش اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای منطقه لانگن در استان گانسو چین تهیه کرده است. نتایج نشان می‌دهد که روش ارزش اطلاعاتی بیشتر برای مکان‌هایی که دارای زمین‌لغزش فعال بودند، کارایی بهتری دارد. یلسین<sup>۴</sup> (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 مورد مطالعه بهتر نشان می‌دهد. وان<sup>۵</sup>

(۲۰۰۹) ، با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فضایی به استخراج عوامل اصلی زمین لغزش برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در تایوان پرداخت. بندریک و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۰) ، با استفاده از توزیع دومتغیره آماری به ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه کارل اونری در اسلوکی پرداختند. و برای محاسبه وزن لایه‌های موردبررسی از شاخص آنتروپی استفاده کردند. ژانگ و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۲) ، در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش 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 زمین لغزش می‌باشد.

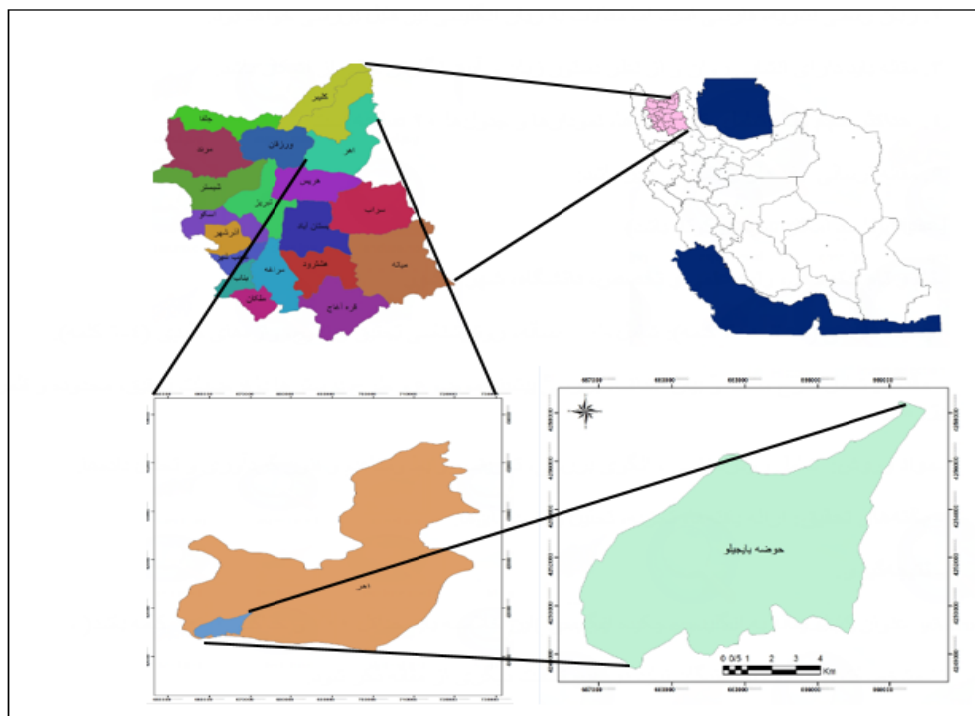
در ایران نیز مطالعات بالارزشی در زمینه خطر زمین لغزش انجام شده است برای مثال، بهیانفر و همکاران (۱۳۸۹)، به کاربرد مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی در منطقه بندی خطرات زمین لغزش در حوضه آبریز فریزی، دامنه شمالی کوه‌های بینالود پرداختند. نتیجه این پژوهش نشان داد که اولاً حدود ۶۸ درصد از حوضه در معرض خطر بحرانی و متوسط زمین لغزش 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 زمین لغزش دارد. فتحی (۱۳۹۰)، در بررسی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز گرم‌چای میانه از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کرده، نتیجه حاصله نشان داده که در بین ۹ عامل مؤثر در ایجاد

زمین لغزش عوامل شیب و لیتولوژی به ترتیب بیشترین نقش را در وقوع و ایجاد زمین لغزش‌های حوضه بر عهده داشته‌اند. رنجبر (۱۳۹۱)، طی مطالعه‌ای عوامل مؤثر در حرکات توده‌ای حوضه کرگانرود را با استفاده از مدل AHP بررسی و پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و با توجه به وزن نهایی هر عامل به این نتیجه رسید که عامل سنگ-شناسی، شیب و جهت شیب در حوضه به ترتیب مهم‌ترین عامل مؤثر در زمین لغزش منطقه موردنظر می‌باشد. قهرمانی و همکاران (۱۳۹۱) ، در مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی روش‌های تحلیل سلسله مراتبی AHP ، FAHP ، LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی : حوضه آبخیز النگ دره)» به این نتیجه رسیدند که روش LNRF کاملاً مستقل از نظر 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 زمین لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه‌خشک، با استفاده از روش‌های آماری و مدل وزنی شاهد به این نتیجه رسیدند که حدود ۹۲ درصد زمین لغزش‌ها در محدوده‌های با حساسیت متوسط تا خیلی زیاد اتفاق افتاده‌اند.

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

### معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه یایجیلو از نظر تقسیمات کشوری در استان آذربایجان شرقی و شهرستان اهر واقع شده است. و یکی از زیر حوضه‌های اهرچای به شمار می‌آید. حوضه مورد مطالعه در بخش جنوب غربی شهرستان اهر و در بین مختصات جغرافیایی ۴۸° ۴۶' الی ۴۶° ۵۷' طول‌های شرقی و ۳۸° ۲۱' ۳۰" الی ۳۸° ۲۷' ۳۰" عرض‌های شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت حوضه مورد مطالعه ۷۴/۰۴ کیلومتر مربع 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.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز یاجیلو

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی زمین لغزش در حوضه آبریز یاجیلو از مواد و روش‌های زیر استفاده شده است:

- نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰

- نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰

- تصاویر ماهواره‌ای spot 2008

- نرم‌افزار Arc GIS

روش مورد استفاده در این تحقیق روش (AHP) که روش نیمه کمی 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) شناسایی شده و پس از تهیه تمامی لایه‌های اطلاعاتی فوق‌الذکر، همه‌ی این لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS همپوشانی شده و در انتها، منطقه‌ی مورد مطالعه به نواحی با میزان پتانسیل خطر لغزشی متفاوتی تقسیم می‌شود. (فتحی، ۱۳۹۰).

روش AHP یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. به طوری که در این روش افزون بر امکان فرموله کردن مسئله به صورت سلسله مراتبی، امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی درباره موضوع یا مسئله مورد نظر وجود دارد (شادفر ۱۳۸۶:۱۲۱). در فرایند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عناصر مربوط به خود در سطح بالاتر به صورت 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 به صورت زوجی انجام می‌گیرد. در این مقایسه تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده می‌کنند به گونه‌ای 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: ارزش گذاری شاخص‌ها نسبت به هم (قدسی پور، ۱۳۸۴)

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت کارشناسی)
۹	کاملاً مرجح یا مطلوب‌ترین
۷	ارجحیت خیلی قوی
۵	ارجحیت قوی
۳	کمی مرجح
۱	ارجحیت یکسان
۲ و ۴ و ۸ و ۶	ترجیحات بین فواصل فوق

در هر حال، به منظور مشخص کردن ویژگی‌های مربوط به عوامل تأثیرگذار بر رخداد زمین لغزش 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 نرم‌افزار Arc GIS همپوشانی شده و در انتها، منطقه‌ی مورد مطالعه به نواحی با میزان پتانسیل خطر لغزشی متفاوتی تقسیم می‌شود.

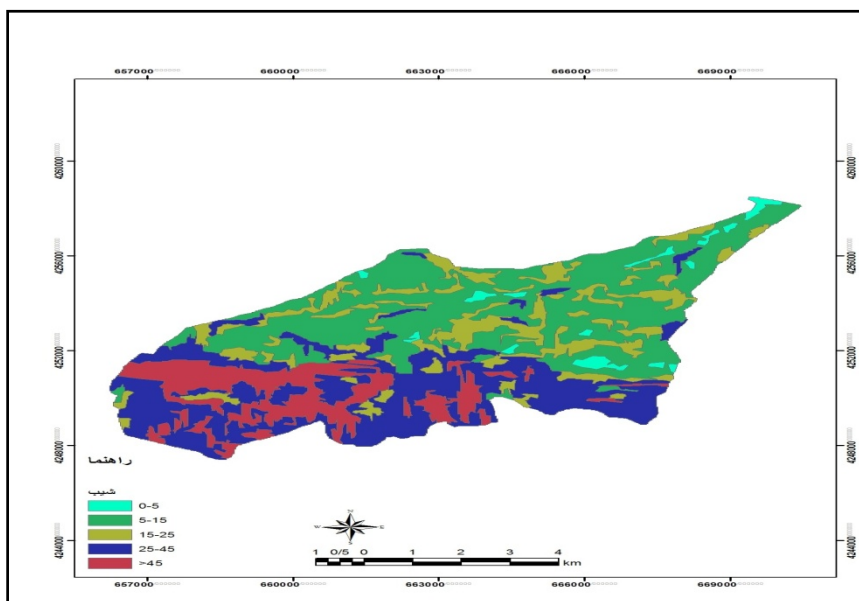
### بحث و یافته‌ها

به منظور تهیه نقشه‌های موضوعی در محیط نرم‌افزار GIS و تهیه نقشه آسیب‌پذیری، تعداد ۸ فاکتور کنترل‌کننده بر اساس ارتباط نزدیک آن‌ها در وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز مورد مطالعه 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 به منظور 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 مورد مطالعه با استفاده از وزن‌های به دست آمده تهیه گردید. به منظور ارزیابی قدرت انطباق، دقت و صحت سنجی مدل تهیه‌شده، نتایج حاصله با نقشه زمین لغزش‌های فعال در منطقه مقایسه گردید.

### لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در زمین لغزش

#### شیب

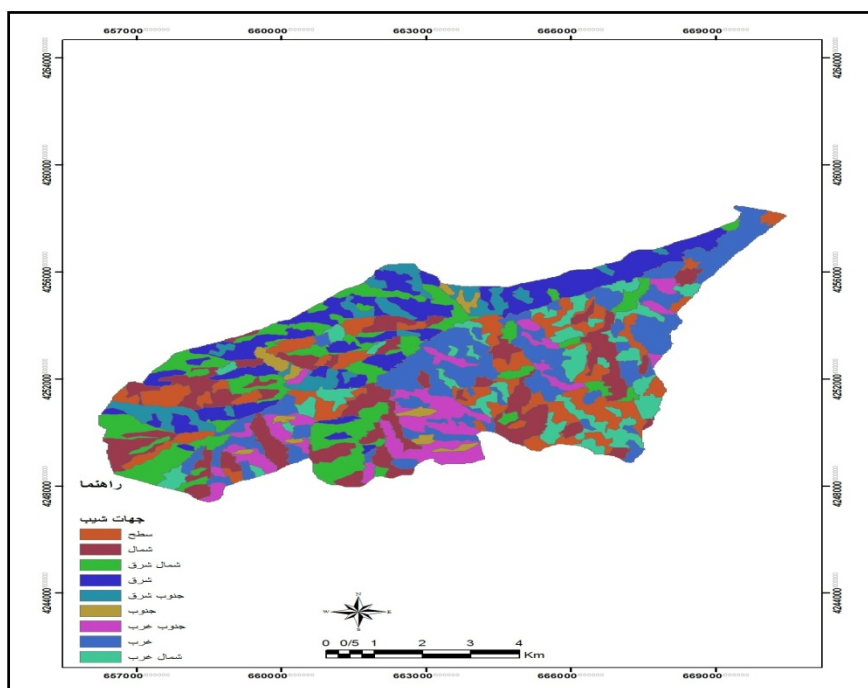
شیب دامنه تأثیر بسیار زیادی در وقوع زمین لغزش دارد (ساکار و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۵: ۳۰۱) و در صورت ثابت بودن دیگر عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش، هر قدر دامنه‌ای پرشیب‌تر باشد، بیشتر مستعد ناپایداری است (مقیم‌ی و محمودی، ۱۳۸۳: ۲۸۴). جهت بررسی عامل شیب در حوضه آبریز یایجیلو، پس از رقوم‌ی کردن نقشه‌های توپوگرافی و ایجاد DEM از نقشه توپوگرافی، نقشه شیب به درصد در محیط Arc GIS تهیه و در قالب ۵ کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه شیب حوضه یاجیلو

### جهت شیب

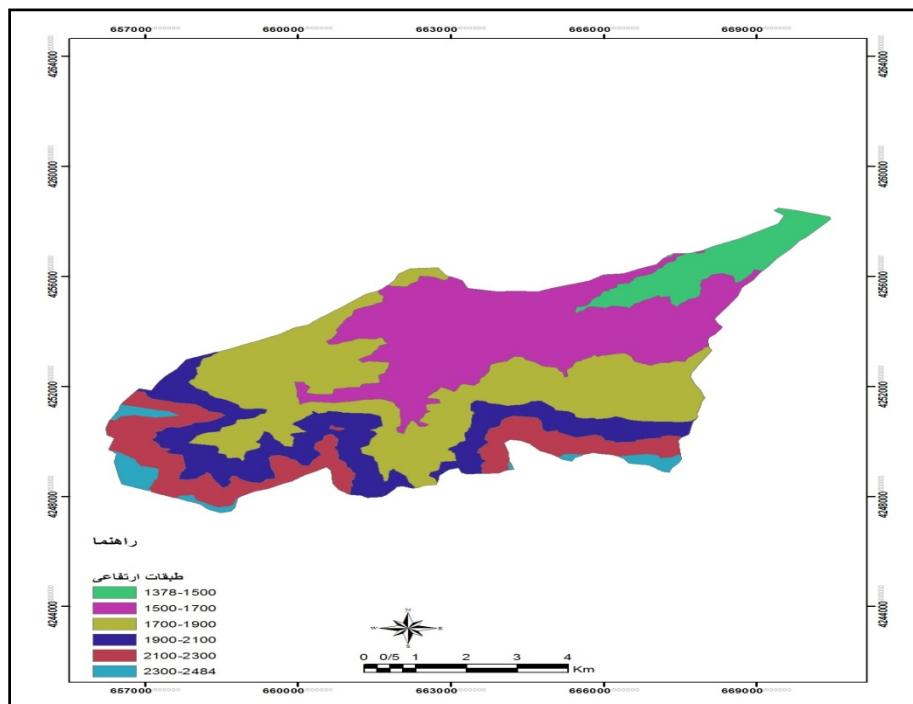
جهت شیب به علت اینکه در ارتباط با پارامترهایی نظیر درصد جذب نور خورشید، بادهای خشک‌کننده و باران می‌باشد به‌عنوان یک فاکتور مهم در تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین‌لغزش در نظر گرفته می‌شود (کماک، ۲۰۰۶: ۱۰۹؛ یلسین، ۲۰۰۸: ۱). نقشه جهت شیب حوضه یاجیلو از روی نقشه DEM تهیه شد. و بر مبنای ۹ جهت طبقه‌بندی شده است (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه جهت شیب حوضه یاجیلو

### طبقات ارتفاعی

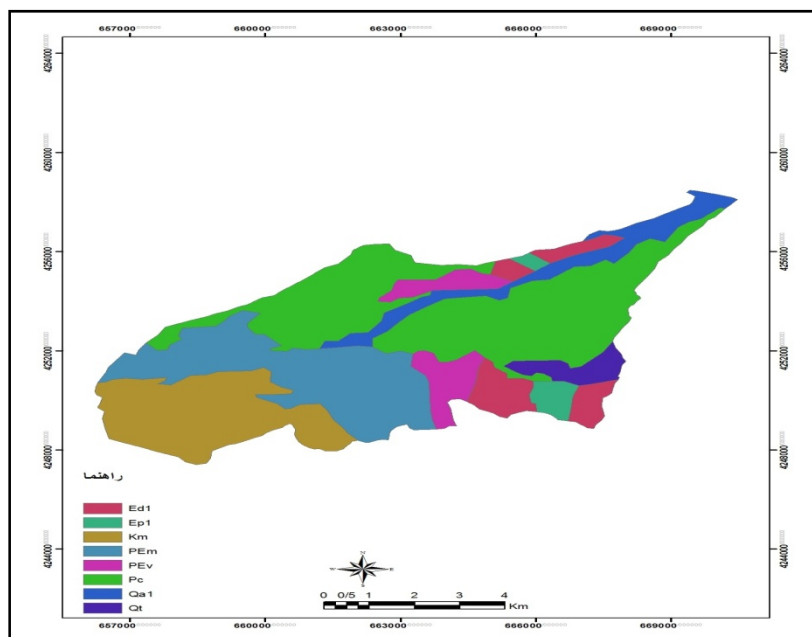
ارتفاع از عوامل مهم کنترل کننده ناپایداری یک دامنه می باشد. در دو دامنه مشابه و با مقدار شیب ثابت دامنه‌ای که مرتفع تر است از پتانسیل ناپایداری بیشتری برخوردار است (جعفری، ۱۳۷۵). سطوح ارتفاعی منطقه از ۱۳۷۸ متر در خروجی حوضه تا ۲۴۸۴ متر در ارتفاعات حوضه متغیر است. نقشه ارتفاع اراضی حوضه از DEM منطقه استخراج شده و در ۷ طبقه با توجه به تأثیر آن بر زمین لغزش طبقه بندی گردید (شکل ۴).



شکل ۴: نقشه طبقات ارتفاعی حوضه یاجیلو

### سنگ شناسی

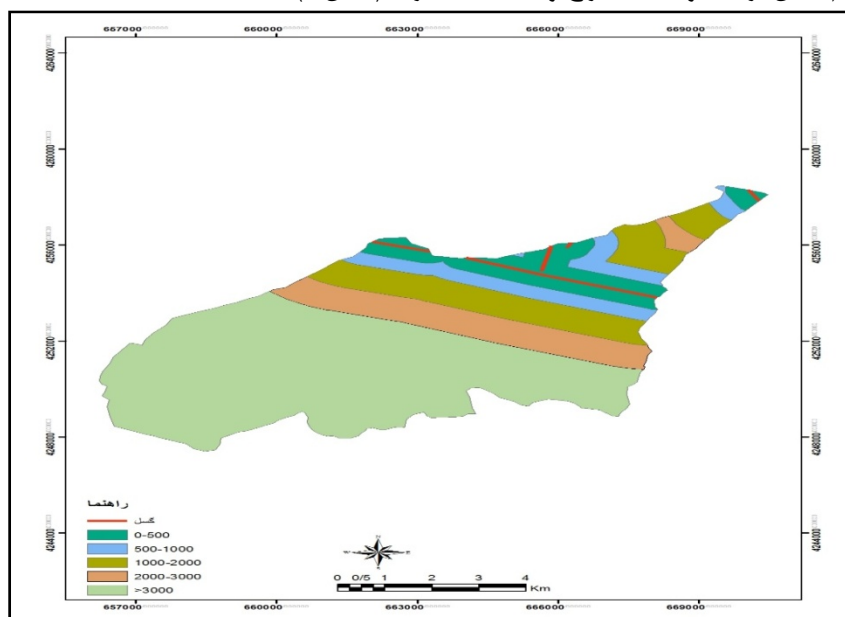
جنس زمین و نوع سنگها از عوامل مهم و تأثیرگذار در پدیده زمین لغزش است. سنگها به واسطه‌ی تفاوت در جنس رسوبات تشکیل دهنده و شرایط و دوران شکل گیری، مقاومت‌های مختلفی را در مقابل نیروهای خارجی از خود نشان می دهند (رنجبر و معمار افتخاری، ۱۳۹۱: ۱۱۹). در این مطالعه اطلاعات پایه مورد استفاده برای تهیه نقشه زمین شناسی اصلی با فرمت وکتور از نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی به دست آمده است (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه سنگ‌شناسی حوضه یاجیلو

#### 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 یاجیلو از روی نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ 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 تحت GIS حریم گسل برای حوضه استخراج و طبقه‌بندی گردید (شکل ۶).

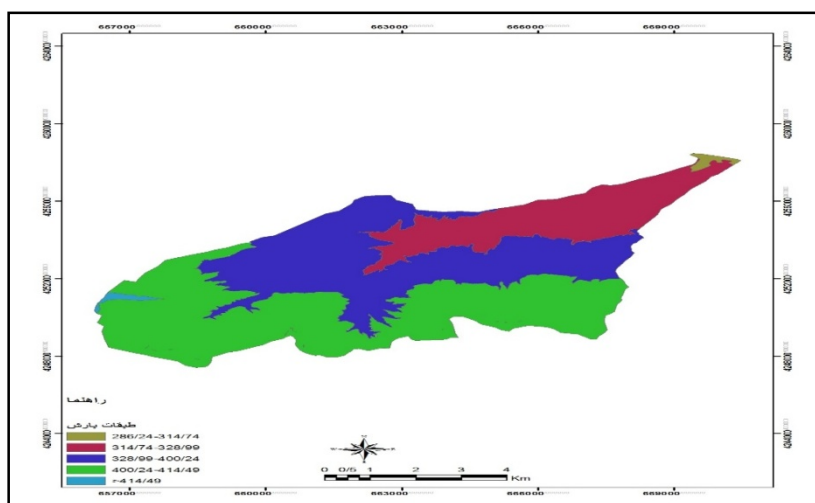


شکل ۶: نقشه طبقات گسل حوضه یاجیلو



### بارش

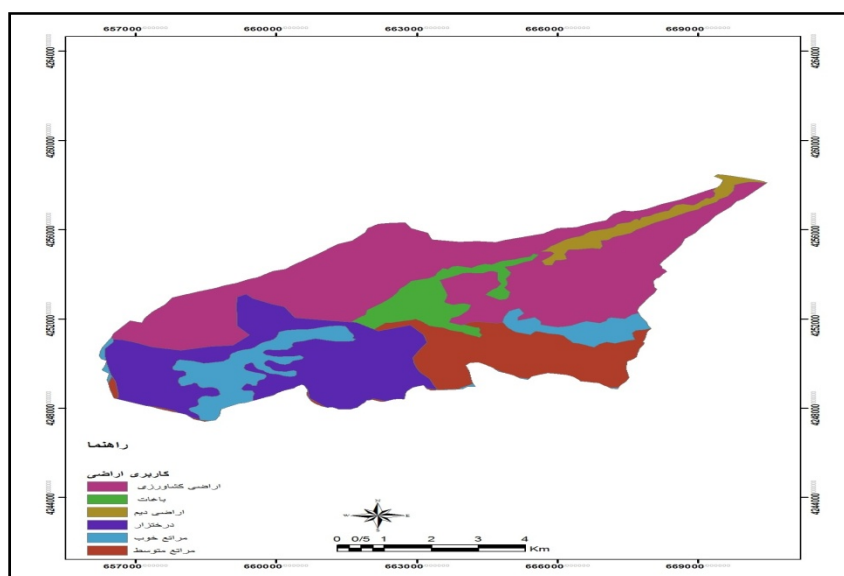
الگوی مکانی بارش وابستگی بسیار نزدیکی با زمین لغزش دارد (استارکل<sup>۱</sup>، ۱۹۷۶). به وسیله تأثیر فشار آب بر دامنه‌های ناپایدار که از طریق نفوذ بارش ایجاد می‌گردد (تی ساکاماتو و اوهتا<sup>۲</sup>، ۱۹۸۸). با توجه به اهمیت نقش بارش در اشباع خاک و بروز ناپایداری دامنه‌ای، این عامل مورد بررسی قرار گرفته 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 مورد مطالعه از داده‌های ایستگاه‌های مجاور (سد اهر ستارخان، اهر، ورزقان، وردین، تازه کند) جهت تجزیه و تحلیل استفاده شده است (شکل ۷).



شکل ۷: نقشه طبقات بارش حوضه یاجیلو

### کاربری اراضی

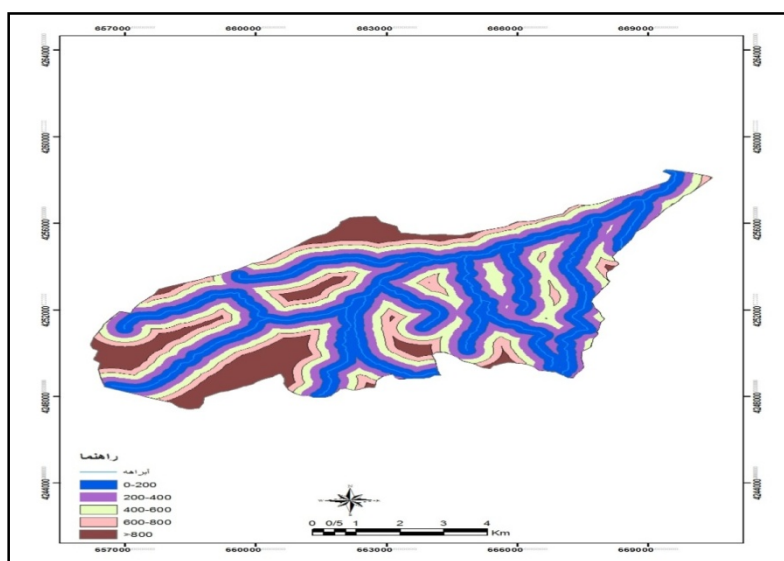
کاربری زمین یکی از شاخص‌های اصلی در مطالعه زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر آن‌ها در یک ناحیه می‌باشد. نقشه کاربری اراضی حوضه یاجیلو، از نقشه کاربری اراضی استان آذربایجان شرقی و در قالب ۶ کلاس استخراج شده است (شکل ۸). بر اساس نتایج جدول (۳) در حوضه یاجیلو اراضی کشاورزی، بیش‌ترین میزان خطر وقوع زمین لغزش‌ها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



شکل ۸: نقشه کاربری اراضی حوضه یاجیلو

### فاصله از آبراهه

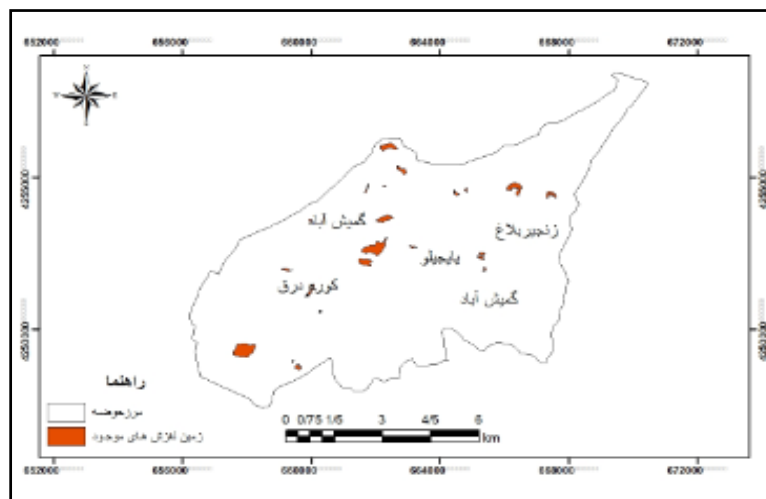
نزدیکی شیب‌ها به شبکه‌های زهکشی به‌طور مستقیم بر روی درجه اشباع مواد و پایداری شیب تأثیر می‌گذارد. شبکه زهکشی می‌تواند از طریق فرسایش شیب‌ها یا به‌وسیله‌ی اشباع مواد بخش‌های پایینی دامنه که خود باعث بالا آمدن سطح ایستابی می‌شود تأثیرات منفی بر پایداری شیب داشته باشد (دای<sup>۱</sup>، ۱۹۷۴: ۳۸۱؛ ساها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



شکل ۹: طبقات آبراهه حوضه یاجیلو

### زمین‌لغزش‌های رخ داده

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در احتمال وقوع زمین‌لغزش اقدام به تهیه نقشه زمین‌لغزش‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه 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.



شکل ۱۰: نقشه زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در حوضه یاجیلو

با توجه به روش تحقیق شرح داده شده نتایج حاصل از تحقیق به شرح زیر می باشد: نتیجه حاصل از مقایسه دوبه دو یا زوجی عوامل ۸ گانه مؤثر در منطقه تحقیق با در نظر گرفتن لایه های اطلاعاتی تهیه شده در محیط GIS شامل نقشه های شیب، جهت شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طبقات ارتفاعی در جدول (۲) ارائه شده است. به عنوان مثال عنصر ۱ و ۱ ماتریس مورد نظر (ستون ۱، ردیف ۱) نشانگر اولویت معیار سنگ شناسی به سنگ شناسی است که دارای اولویت یا اهمیت یکسانی نسبت به هم می باشند و عددی که برای این اولویت در جدول (۱) ذکر شده است برابر ۱ است. و یا خانه ۱ و ۲ ماتریس که اولویت و اهمیت سنگ شناسی به شیب را نشان می دهد که اکثر کارشناسان با توجه به داده های به دست آمده در منطقه اهمیت عامل شیب نسبت به سنگ شناسی کمی مهم تر دانسته اند که می توان برای آن بر اساس جدول ۱ عدد ۲ را در نظر گرفت. به همین ترتیب سایر عناصر ماتریس تکمیل گردید. در نهایت با تشکیل ماتریس های مربوطه وزن کلاس ها و لایه ها را محاسبه می کنیم. وزن های محاسبه شده در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۲: ماتریس و مقدار عددی مربوط به هر یک از عوامل ۸ گانه مؤثر در زمین لغزش های حادث شده در حوضه

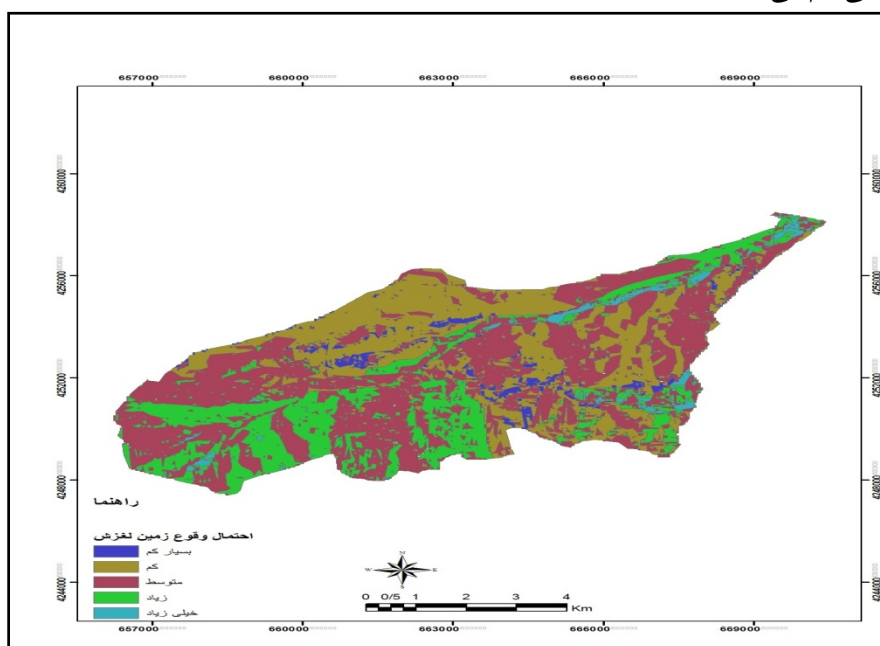
ارتفاع	فاصله از آبراهه	بارش	کاربری اراضی	فاصله از گسل	جهت شیب	شیب	سنگ شناسی
۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰/۵
۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳
۵	۴	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۲۵
۴	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲
۳	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۶۶۷
۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۶۶۷	۰/۱۴۲۹
۱	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۶۶۷	۰/۱۴۲۹	۰/۱۲۵

جدول ۳: توزیع زمین لغزش برای لایه های اطلاعاتی مختلف و مقدار وزن اعمال شده برای هر لایه

لایه های اطلاعاتی	وزن لایه	کلاس	مساحت سطح لغزش یافته (کیلومتر مربع)
شیب	۰/۲۳۰۷	۰ - ۵	۰
		۵ - ۱۵	۰/۲۸
		۱۵ - ۲۵	۰/۱۵
		۲۵ - ۴۵	۰/۴۲
		>۴۵	۰/۰۸
جهت شیب	۰/۱۵۷۲	سطح	۰
		شمال	۳/۰۲
		شمال شرق	۰/۲۹
		شرق	۰/۳۵
		جنوب شرق	۰/۱
		جنوب	۰/۰۴
		جنوب غرب	۰/۰۴
		غرب	۰/۰۲
بارش	۰/۰۴۴۷	۲۸۶/۲۴ - ۳۱۴/۷۴	۰
		۷۴/۳۱۴ - ۳۲۸/۹۹	۰/۱۵
		۹۹/۳۲۸ - ۴۰۰/۲۴	۰/۵۲
		۲۴/۴۰۰ - ۴۱۴/۴۹	۰/۲۶
		>۴۹/۴۱۴	۰
سنگ شناسی	۰/۳۳۱۳	Ed1	۰
		Ep1	۰
		Km	۰/۲۷
		Pc	۰/۴۸
		PEm	۰/۰۲
		PEv	۰/۰۲

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

وزن‌های به‌دست‌آمده در محیط نرم‌افزار Arc Map به لایه و کلاس مربوطه اعمال گردید و سپس اقدام به تلفیق لایه‌های مؤثر شناسایی شده در زمین‌لغزش گردید. و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه یایجیلو به دست آمد (شکل ۱۱). بعد از این که نقشه نهایی پهنه‌بندی به دست آمد مساحت هر پهنه محاسبه شد (جدول ۴). بر اساس جدول (۴) در حدود ۲/۳۶ درصد 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

جدول ۴: مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌ها

ردیف	شدت خطر	مساحت به کیلومتر مربع	درصد مساحت
۱	بسیار کم خطر	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) مورد استفاده در این تحقیق روش کاملاً مناسبی جهت پهنه‌بندی خطر احتمال وقوع زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۱۲: نقشه صحت سنجی پهنه‌بندی خطر احتمال وقوع زمین لغزش در حوضه یایجیلو

### نتیجه‌گیری

حوضه یایجیلو در استان آذربایجان شرقی و در جنوب غرب شهرستان اهر واقع شده و یکی از زیر حوضه‌های اهرچای به شمار می‌آید. این حوضه به علت ویژگی‌های توپوگرافی، اقلیمی و زمین‌شناسی مستعد وقوع انواع زمین لغزش‌هاست. این مطالعه با استفاده از مدل AHP و همچنین بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی، به شناسایی عوامل مؤثر و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش 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 زمین لغزش‌های منطقه به شمار می‌آیند که از این بین فاکتورهای سنگ‌شناسی، شیب و جهت شیب با بالاترین وزن از اهمیت بیشتری برخوردارند.

بر اساس این پژوهش در حدود ۲/۳۶ درصد از مساحت حوضه یایجیلو، احتمال وقوع زمین لغزش 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، از آنجا که میزان احتمال وقوع متوسط به بالا حدود ۴۵/۳۸ درصد می‌باشد لذا توصیه

می‌گردد که فاکتور زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه در انجام برنامه‌ریزی‌های آینده، مدنظر قرار گرفته و اقدامات لازم قبل از افزایش این احتمال انجام گیرد.

## منابع

- بهنیا، 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، صص ۶۵-۸۰.
- 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 susceptibility 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 8<sup>th</sup> 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.