Archive of SID

جغرافیا و توسعه شماره ۴۳ تابستان ۱۳۹۵
وصول مقاله : ۱۳۹۴/۰۷/۰۶
تأیید نهایی : ۱۳۹۴/۱۱/۲۷
صفحات : ۲۰۹-۱۹۱

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی با تأکید بر عوامل شکل دامنه (مطالعه‌ی موردی: شهرستان کامیاران)

دکتر سید داود محمدی[۱]، سیدحسین جلالی[۲]، بهمن ساعدی[۳]

چکیده

با وجود توسعه‌ی روزافزون شهرها، روستاها، مناطق و شهرک‌های صنعتی، راه‌های ارتباطی و غیره بررسی و مطالعه‌ی پایداری دامنه‌ها و تعیین میزان خطر نسبی آنها ضروری است. از میان روش‌های تعیین خطر نسبی زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن، روش‌های کمّی و نیمه کمّی نتایج مطلوب تری به دست می‌دهد. یکی از روش‌های نیمه کمّی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است که برای تحلیل موارد با معیارهای چندگانه و به روش مقایسه زوجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق برای رفع ابهام موجود در نظرات انسان‌ها، از تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم فازی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان کامیاران که در جنوب استان کردستان واقع است، استفاده شده است. در این مطالعه علاوه بر عوامل مرسوم در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، دو عامل شکل دامنه یعنی انحناء سطح و انحناء مقطع نیز استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده بیانگر این است که ۵۲/۰۳ درصد مساحت منطقه دارای خطر نسبی کم و خیلی کم و مابقی دارای خطر نسبی متوسط به بالا می‌باشد. از میان عوامل مورد استفاده، عامل شیب، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی به ترتیب بیشترین تأثیر و عامل شکل دامنه کمترین اهمیت را در ناپایداری دامنه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: خطر زمین‌لغزش، تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، سیستم فازی، عامل شکل دامنه، کامیاران.

۱- استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان (نویسنده مسؤول) d.mohammadi@basu.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان sh.jalali92@basu.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان b.saeedi92@basu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

وقتی دامنه‌ای در معرض ناپایداری قرار داشته باشد، وقوع لغزش در سطح آن امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. منظور از زمین‌لغزش در این تحقیق لنداسلاید[1] است که در واقع یک اصطلاح کلی و غیر فنی برای همه اشکال حرکات ثقلی مواد مانند اسلاید، سیلان و غیره به‌کار برده می‌شود. به لحاظ نظری، دامنه‌های پر شیب متشکل از مواد سست و منفصل (مانند خاک، رگولیت) چنانچه رطوبت یا آب کافی (منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب) دریافت کنند، مستعد لغزش هستند *(تاربوک‌ولوتکن، ۱۹۸۹: ۱۳۰-۱۲۵؛ محمودی، ۱۳۸۲: ۴۴ ؛ کوک و دور کمپ، ۱۳۷۷: ۲۰۶-۲۰۱؛ ؛ آتکین و جانسون، ۱۹۸۸: ۱۴۷-۱۶۱) (به‌نقل از علایی‌طالقانی و رحیم‌زاده، ۱۳۹۰: ۵۳)*.

در این میان کافی است یک یا چند عامل ثانوی دخالت کند تا وقوع آن عملی گردد. بارش‌های سنگین، حرکت گسل‌ها، لرزش زمین، زیربری دامنه و غیره در زمره‌ی این دسته از عوامل هستند *(جباری، ۱۳۸۴: ۷۶؛ Dai & li, 2002: 214)*.

وقتی نیمرخ دامنه از محدب به مقعر تغییر می‌کند پایداری شیب کاهش می‌یابد. همچنین وقتی شکل پلان شیب از همگرا به واگرا تغییر می‌کند پایداری در همه انواع نیمرخ‌ها (پروفیل‌های طولی) افزایش می‌یابد *(طالبی و همکاران، ۱۳۸۹: ۶)*. با توجه به این بحث، احتمال رویداد لغزش در یک منطقه در صورت وجود شرایط وقوع آن دور از انتظار نیست. در این صورت پس از محقق شدن آن شرایط، پیش‌بینی وقوع آن نیز قابل‌محاسبه‌است*(شریعت‌جعفری و غیومیان، ۱۳۸۷: ۱۳۹؛ علایی‌طالقانی و رحیم‌زاده، ۱۳۹۰: ۵۴)*، با این توضیح که چون شرایط تحقق آن در سطح همه‌ی دامنه‌ها (در یک منطقه‌ی ویژه) یکسان نیست، احتمال وقوع آن هم تنها براساس شدت و ضعف قابل پیش‌بینی است *(علایی‌طالقانی و رحیم‌زاده، ۱۳۹۰: ۵۳)*. تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با هدف شناسایی مناطق دارای قابلیت زمین‌لغزش در محدوده‌ی فعالیّت‌های بشری دارای اهمیت است. از سوی دیگر در شناسایی مکان‌های مناسب برای توسعه‌ی سکونتگاهها یا سایر زیرساخت‌ها نظیر جاده و مسیرهای انتقال آب، گاز، برق و انتقالات با خطوط لوله و یا دکل‌ها وغیره در مقیاس‌های مختلف موردتوجه برنامه‌ریزان قرارمی‌گیرد *(یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۰)*. مدل AHP نیز از جمله مدل‌هایی است که از دهه‌های گذشته برای نیل به این هدف مورد استفاده قرار گرفته است *(کرم و تورانی، ۱۳۹۲: ۱۸۲؛حاتمی‌فرد و همکاران،۱۳۹۱: ۴۷؛ اسفندیاری-درآباد و هاشمی،۱۳۹۱: ۱۴۸؛ یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۳؛ علایی‌طالقانی و رحیم‌زاده،۱۳۹۰: ۵۵؛ قرهی و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۴؛ رنجبر و روغنی، ۱۳۸۸: ۲۱؛ شادفر و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۲۱؛ احمدی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳-۱۴؛ احمدی و همکاران، ۱۳۸۲: ۳۲۵-۳۲۳؛ Moradi et al,2012:6720; Prakash, 2003: 21)*.

مدل AHP یا" روش تحلیل سلسله مراتبی مدل از فاکتورها " یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه با ایجاد یک ماتریس است. در مدل AHP نسبت به مقایسه‌ی دو به دو عوامل (فاکتورها) پرداخته می‌شود و بنا به ادعای محققین دارای دو خصوصیت مهم است، یکی در نظر گرفتن فاکتورهای کمّی و کیفی متعدد در حل مسأله و دیگری قابلیت تجزیه‌وتحلیل مسائل پیچیده از طریق سلسله مراتبی فاکتورها *(شادفر و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۲۱؛ Triantaphyllou&Mann, 1995:37)*.

همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در

1-landslide

www.SID.ir

Archive of SID

تصمیم‌گیری‌چندمعیاره می‌باشد *(امیراحمدی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۸۸)*. ازآنجا که در وقوع لغزش عوامل متعددی ممکن است دخالت داشته باشند، به کمک این مدل می‌توان متغیّرهای مختلف کمّی و کیفی تأثیرگذار بر وقوع لغزش در یک منطقه را در معادله وارد کرد و تجزیه و تحلیل را تا رسیدن به نتایج نهایی ادامه داد. از مزایای AHP این است که اعمال نظر کارشناسی به‌وسیله‌ی افراد را تا حد زیادی آسان‌تر کرده و احتمال خطا را کاهش می‌دهد، همچنین در این روش می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داد و با استفاده از نظر کارشناسی وزن هر عامل را به دست آورد *(مرادی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۳۸)*. از مزایای دیگر روش تحلیل سلسه مراتبی، انجام ساده‌ی آن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است *(احمدی و همکاران، ۱۳۸۲: ۳۲۴؛ شادفر و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱۹)*. کرم و تورانی بیان نمودند که روش تحلیل سلسله مراتبی نسبت به روش رگرسیون خطی دارای نتیجه مطلوب‌تری می‌باشد *(کَرم و تورانی، ۱۳۹۲: ۱۷۷)*. برای برخورد با ابهام موجود در نظرات انسان‌ها، پروفسور لطفی‌زاده درسال۱۹۶۵، نظریه مجموعه‌های فازی را ارائه داد تا عدم قطعیتی که به علت ابهام و عدم دقت در رویدادها ایجاد شده است را به مدل درآورد. این نظریه امکان استفاده از عملگرها و دستورهای ریاضی در فضای فازی را به پژوهشگر می‌دهد. یک مجموعه‌ی فازی، دسته‌ای از اشیا با درجه‌ی عضویت پیوسته است. چنین مجموعه‌ای با تابع عضویت مشخص می‌شود و به هر شیء یک درجه‌ی‌عضویت بین صفر و یک تخصیص می‌دهد *(شاه‌حسینی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۶ و ۱۰۷)*. از طرفی افراد خبره از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند و این نشان می‌دهد که عدم قطعیّت حاکم بر این شرایط از نوع امکانی است نه احتمالی. امکانی بودن عدم‌قطعیت، با مجموعه‌های فازی سازگاری دارد، بنابراین بهتر است که با استفاده از مجموعه‌های فازی (اعداد فازی) به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت *(کفاش‌پور و علیزاده زوارم، ۱۳۹۱: ۵۶)*.

در این تحقیق سعی شده است برای رفع ابهام موجود در نظرات انسان‌ها، از تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم فازی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شده و تأثیر دو عامل انحناء سطح و انحناء مقطع در بروز زمین‌لغزش علاوه بر عوامل مرسوم مورد ارزیابی قرار گیرد.

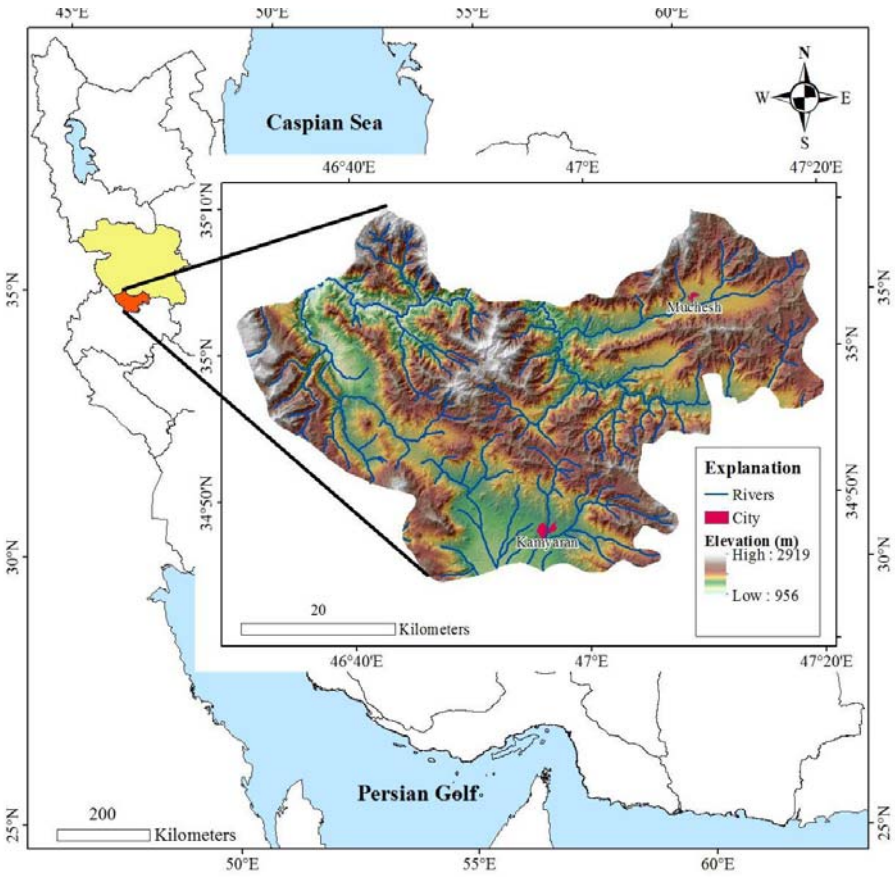
موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهرستان کامیاران از نظر جغرافیایی در ناحیه‌ای با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۵درجه و۱۱دقیقه شمالی و در ۶۵کیلومتری جنوب سنندج واقع شده است. ارتفاع شهر کامیاران ۱۴۵۵متر از سطح دریا می‌باشد. این‌شهرستان از شمال به قروه، سنندج و مریوان، از شرق به سنقر، از جنوب شرقی به صحنه، از جنوب به کرمانشاه، از جنوب غربی به جوانرود و از غرب به پاوه (استان کرمانشاه) محدود می‌شود. آب و هوای این شهرستان نیمه‌خشک بوده و بیشترین دما ۳۶ درجه بالای صفر و کمترین دما ۱۵ درجه زیر صفر و مقدار بارندگی سالانه بطور متوسط حدود ۵۸۲/۴ میلی‌متر است (*http://wrs.wrm.ir دفتر مطالعات پایه منابع آب*).

موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه در کشور و استان کردستان در شکل ۱ نمایش داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان کردستان و شهرستان کامیاران

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

مواد و روش‌شناسی

از آنجایی که در این تحقیق هدف بررسی مناطق مستعد وقوع لغزش و تأثیر انحنای مقطع و انحنای سطح با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌باشد، لذا در ابتدا با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی شیب، جهت شیب زمین، موقعیت رودخانه اصلی، آبراهه‌ها و انحنای مقطع و انحنای سطح از آن استخراج گردیده است. همچنین با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی، لایه‌ها، گسل‌های اصلی، گسل‌های فرعی و سنگ‌شناسی منطقه و از نقشه‌ی سازمان‌نقشه‌برداری موقعیت جاده‌ها به‌دست آمده است. از آنجایی که روش‌های کمّی و نیمه کمّی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نتایج مطمئن‌تری را به نسبت سایر روش‌ها ارائه می‌دهند و استفاده از این روش‌ها از اعتبار علمی بیشتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار می‌باشند، در نتیجه طیّ سال‌های اخیر، توسعه‌ی زیادی یافته‌اند، لذا در این تحقیق به منظور پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش از روش تلفیق فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) که یک روش نیمه کمّی می‌باشد و سیستم فازی، استفاده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

وزن‌دهی عوامل مؤثر بر لغزش به وسیله‌ی فرایند سلسله مراتبی فازی (FAHP)

روش AHP فقط قادر است در شرایط اطمینان و با اطلاعات دقیق نتایج مطلوبی را ارائه کند، اما گاهی اطلاعات دقیق در دست نیست. در این حالت، بهترین روش برای تصمیم‌گیری روش‌مقایسه‌ای ازتصمیم‌گیری فازی است *(زنجیرانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۸)*.

فرایند سلسله مراتبی فازی در این پژوهش شامل پنج مرحله است که در شکل (۲) نشان داده شده است. در مرحله‌ی آخر تحلیل فرایند سلسله مراتبی تحلیلی، وزن نسبی عوامل و زیر رده‌ها محاسبه شده است.

شکل ۲: نمودار جریانی مراحل فرایند سلسله مراتبی فازی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

در این پژوهش از AHP فازی برای تحلیل سلسله مراتبی تحلیلی به‌وسیله‌ی اعداد فازی برای مقایسه‌ی دو به دو و پیدا کردن وزن معیارها استفاده شده است.

در تحقیق حاضر از لایه‌های عوامل سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، میانگین بارش، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل‌های اصلی و گسل‌های فرعی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، انحناء مقطع و انحناء سطح برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش استفاده شده است. در جدول ۱، این عوامل ده‌گانه و نحوه‌ی مقایسه آنها توسط سیستم فازی آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

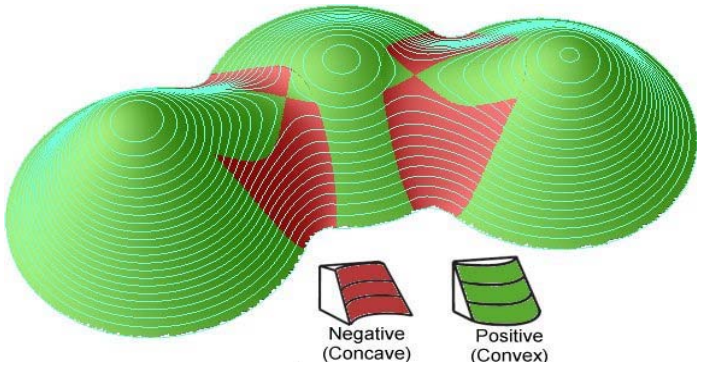
جدول ۱: ماتریس مقایسه زوجی و وزن عوامل اصلی

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	وزن
A	۱	۲	۲	۱–۲	۱–۲	۱	۲	۲	۲	۲	۰/۱۲۲۲
B	۱–۲	۱	۱	۱–۲	۱–۲	۱–۲	۱	۳	۱	۱	۰/۰۷۸۳
C	۱–۲	۱	۱	۱–۲	۱–۲	۱–۲	۱	۲	۲	۲	۰/۰۸۸۸
D	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۲	۳	۳	۳	۰/۱۵۹۶
E	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۲	۳	۳	۳	۰/۱۵۹۶
F	۱	۲	۲	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۰/۱۳۱۱
G	۱–۲	۱	۱	۱–۲	۱–۲	۱–۲	۱	۳	۳	۳	۰/۰۹۹۵
H	۱–۲	۱–۲	۱–۲	۱–۳	۱–۳	۱–۲	۱–۳	۱	۱	۲	۰/۰۵۶۳
I	۱–۲	۱–۲	۱–۲	۱–۳	۱–۳	۱–۲	۱–۳	۱	۱	۱	۰/۰۵۴۸
J	۱–۲	۱–۲	۱–۲	۱–۳	۱–۳	۱–۲	۱–۳	۱–۲	۱	۱	۰/۰۵۰۰

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، مقدار شیب، B؛ فاصله از آب‌های سطحی، C؛ مقدار بارش، D؛ کاربری زمین، E؛ سنگ‌شناسی، F؛ فاصله از گسل، G؛ فاصله از جاده‌های اصلی، H؛ جهت شیب، I؛ انحنای سطح، J؛ انحنای مقطع.

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

با توجه به تأثیر نوع و شکل دامنه در تعیین میزان خطر ناپایداری آن در تحقیق حاضر از دو عامل انحناء مقطع و انحناء سطح بدین منظور استفاده شده است. به سبب اینکه این دو عامل در مطالعات کمتر مورد استفاده قرارگرفته است، در ذیل توضیح داده می‌شوند. انحناء سطح، انحناء در سطوح افقی می‌باشد و یا خط کنتور تئوری است که از یک سلول ویژه می‌گذرد. انحناء سطح برای سلول‌هایی با کنتور محدب مثبت و برای سلول‌های با کنتور مقعر منفی است. انحناء سطح را می‌توان برای تمایز بین یال و دره استفاده نمود (شکل ۳).



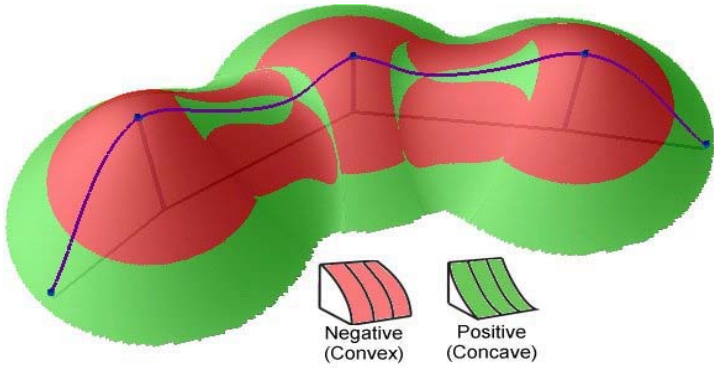
شکل ۳: نمایش شماتیک انحناء سطح و حالت‌های آن (دستورالعمل نرم‌افزار Arc GIS)

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۴

www.SID.ir

Archive of SID

انحناء مقطع، انحناء سطح در جهت شیب دامنه (در صفحه عمودی خط جریان) می‌باشد. انحناء مقطع بر سرعت جریان آب زهکشی سطح و فرسایش و رسوبگذاری تأثیر می‌گذارد. در مکان‌هایی که انحناء مقطع محدب (منفی) است، فرسایش و در مکان‌هایی با انحناء مقطع مقعر (مثبت) رسوبگذاری رخ خواهد داد. (شکل۴) (دستورالعمل نرم‌افزار Arc GIS)



شکل ۴: نمایش شماتیک انحناء مقطع و حالت‌های آن (دستورالعمل نرم‌افزار Arc GIS)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

برای به‌دست آوردن این دوعامل در نرم‌افزارArc GIS از ابزار Curvature از اکستنشن Spatial Analyst استفاده شده است.

بحث و نتایج

در این بخش به‌بررسی عوامل مؤثر در بروز زمین-لغزش در منطقه‌ی کامیاران و نحوه‌ی امتیازدهی به رده‌های عوامل مختلف و زیررده‌های آنها پرداخته شده‌است. در جدول ۲ عوامل ده‌گانه مؤثر در خطر زمین‌لغزش و نحوه‌ی طبقه‌بندی عوامل و میزان وزن نسبی هر زیر رده در مقایسه با زیررده‌های همان عامل و وزن نسبی در مقایسه با کلیه‌ی زیررده‌های تمامی عوامل که در پهنه‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است، آورده شده است. شکل ۵ نقاط زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه‌ی مورد مطالعه، که از پایگاه ملی داده-های علوم زمین اخذ شده است، را نمایش می‌دهد. با دقت در شکل می‌توان دریافت که این زمین‌لغزش‌های رخداده در مناطق مرتفع کوهستانی و در شیب‌های دره‌های این مناطق به وقوع پیوسته است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش، شرح زیررده‌های عوامل و وزن نسبی زیررده‌ها

عامل	وزن نسبی	شرح زیررده	وزن نسبی در رده	وزن نسبی کلی
شیب (برحسب درجه)	۰/۱۲۲۲	۰-۱۰	۰/۰۶۵۴	۰/۰۰۸۰
		۱۰-۲۰	۰/۰۹۹۲	۰/۰۱۲۱
		۲۰-۳۰	۰/۱۶۰۳	۰/۰۱۹۶
		۳۰-۴۰	۰/۲۶۱۴	۰/۰۳۱۹
		بیش از ۴۰	۰/۴۱۳۶	۰/۰۵۰۵
جهت شیب	۰/۰۵۶۳	شمال (۲۲/۵-۰)و(۳۶۰-۳۳۷/۵)	۰/۱۹۵۱	۰/۰۱۱۰
		شمال شرق (۶۷/۵-۲۲/۵)	۰/۱۲۵۰	۰/۰۰۷۰
		شرق (۱۱۲/۵-۶۷/۵)	۰/۰۸۵۱	۰/۰۰۴۸
		جنوب شرق (۱۵۷/۵-۱۱۲/۵)	۰/۰۶۱۰	۰/۰۰۳۴
		جنوب (۲۰۲/۵-۱۵۷/۵)	۰/۰۵۱۹	۰/۰۰۲۹
		جنوب غرب (۲۴۷/۵-۲۰۲/۵)	۰/۰۸۹۴	۰/۰۰۵۰
		غرب (۲۹۲/۵-۲۴۷/۵)	۰/۱۵۱۷	۰/۰۰۸۵
		شمال غرب (۳۳۷/۵-۲۹۲/۵)	۰/۲۴۰۹	۰/۰۱۳۶
فاصله از آبراهه (برحسب متر)	۰/۰۷۸۳	۰-۲۰۰	۰/۴۷۸۵	۰/۰۳۷۵
		۲۰۰-۵۰۰	۰/۲۸۵۷	۰/۰۲۲۴
		۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۱۷۰۶	۰/۰۱۳۴
		بیش از ۱۰۰۰	۰/۰۶۵۳	۰/۰۰۵۱
بارش (بر حسب میلی‌متر در سال)	۰/۰۸۸۸	۴۰۰-۵۰۰	۰/۰۶۳۰	۰/۰۰۵۶
		۵۰۰-۶۰۰	۰/۱۰۰۲	۰/۰۰۸۹
		۶۰۰-۷۰۰	۰/۱۵۲۹	۰/۰۱۳۶
		۷۰۰-۸۰۰	۰/۲۶۳۷	۰/۰۲۳۴
		بیش از ۸۰۰-۹۰۰	۰/۴۲۰۳	۰/۰۳۷۳
کاربری اراضی	۰/۱۵۹۶	شهر و سنگ	۰/۰۹۹۷	۰/۰۱۵۹
		مسیل، زراعی، دیم	۰/۱۶۷۳	۰/۰۲۶۷
		باغ، جنگل	۰/۲۸۳۸	۰/۰۴۵۳
		چراگاه، مرتع	۰/۴۴۹۲	۰/۰۷۱۷
		آهک‌های ضخیم لایه و سنگ‌های آذرین	۰/۰۹۴۳	۰/۰۱۵۰
		سنگ‌های رسوبی تخریبی	۰/۱۲۶۸	۰/۰۲۰۲
		سنگ‌های رسوبی تخریبی سست و سنگ‌های دگرگونی	۰/۲۳۷۸	۰/۰۳۷۹
		رسوبات دره‌ای و مخروط افکنه‌ای و دشت سیلابی	۰/۵۴۱۲	۰/۰۸۶۳
سنگ‌شناسی	۰/۱۵۹۶	آهک‌های ضخیم لایه و سنگ‌های آذرین	۰/۰۹۴۳	۰/۰۱۵۰
		سنگ‌های رسوبی تخریبی	۰/۱۲۶۸	۰/۰۲۰۲
		سنگ‌های رسوبی تخریبی سست و سنگ‌های دگرگونی	۰/۲۳۷۸	۰/۰۳۷۹
		رسوبات دره‌ای و مخروط افکنه‌ای و دشت سیلابی	۰/۵۴۱۲	۰/۰۸۶۳
فاصله از گسل (بر حسب متر)	۰/۱۳۱۱	۰-۵۰۰	۰/۴۴۲۳	۰/۰۵۸۰
		۵۰۰-۱۵۰۰	۰/۲۷۹۱	۰/۰۳۶۶
		۱۵۰۰-۳۰۰۰	۰/۲۰۴۵	۰/۰۲۶۸
		بیش از ۳۰۰۰	۰/۰۷۴۰	۰/۰۰۹۷
فاصله از جاده (بر حسب متر)	۰/۰۹۹۵	۰-۵۰۰	۰/۵۴۲۹	۰/۰۵۴۰
		۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۳۳۳۷	۰/۰۳۳۲
		بیش از ۱۰۰۰	۰/۱۲۳۴	۰/۰۱۲۳
انحناء سطح	۰/۰۵۴۸	مقعر	۰/۵۱۹۰	۰/۰۲۸۴
		تخت	۰/۳۰۷۹	۰/۰۱۶۹
		محدب	۰/۱۷۳۰	۰/۰۰۹۵
انحناء مقطع	۰/۰۵۰۰	مقعر	۰/۵۱۹۰	۰/۰۲۵۹
		تخت	۰/۳۰۷۹	۰/۰۱۵۴
		محدب	۰/۱۷۳۰	۰/۰۰۸۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

www.SID.ir

Archive of SID

عوامل مؤثر بر ناپایداری شیب

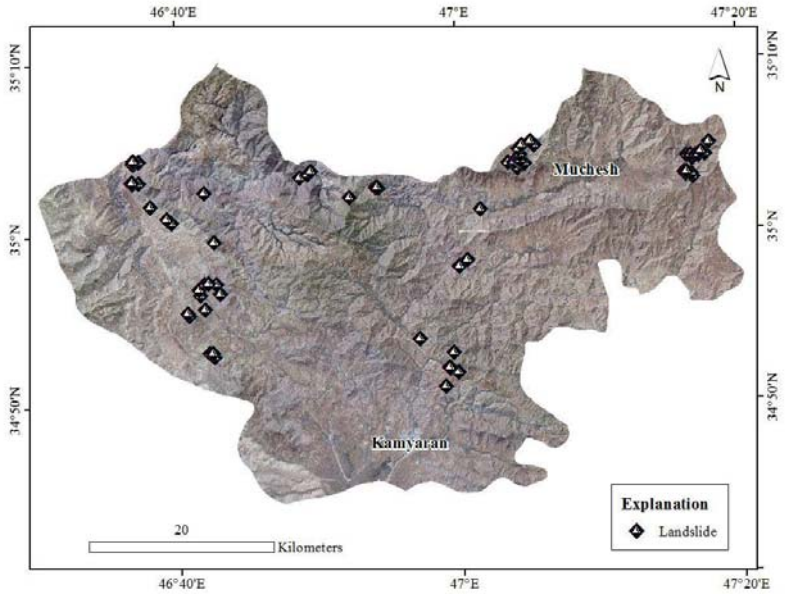
شیب دامنه

در مورد میزان شیب و تأثیر آن بر خطر زمین‌لغزش، با احتساب شرایط یکسان برای دامنه‌ها هر چه شیب افزایش یابد خطر ناپایداری افزایش پیدا می‌کند. با این نگاه مقادیر وزن نسبی هر کدام از زیررده‌ها با توجه به امتیازدهی‌فازی، در جدول ۳ آمده است. وزن این عامل در ایجاد زمین‌لغزش ۰/۱۲۲۲ می‌باشد. وزن نسبی زیررده‌های عامل شیب در جدول ۲ ارائه شده‌است. زیر رده شیب بیش از ۴۰ درجه، با وزن نسبی ۰/۴۱۳۶ بیشترین تأثیر را دارد. شکل ۶ نقشه‌ی توزیع میزان شیب در محدوده‌ی مورد مطالعه را به تصویر کشیده است. نقشه میزان‌شیب می‌نمایاند که بیشترین شیب‌ها در مناطق شمال و غرب منطقه که مشتمل بر مناطق کوهستانی است، گسترش دارد.

جدول ۳: ماتریس مقایسه زوجی و وزن زیر رده‌های مقدار شیب

	A	B	C	D		E	وزن
A	۱	۵–۱	۴–۱	۳–۱		۲–۱	۰/۰۶۵۴
B	۵	۱	۵–۱	۴–۱		۱–۳	۰/۰۹۹۲
C	۴	۵	۱	۵–۱		۱–۴	۰/۱۶۰۳
D	۳	۴	۵	۱		۱–۵	۰/۲۶۱۴
E	۲	۳	۴	۵		۱	۰/۴۱۳۶

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، کم‌تر از ۱۰ درجه، B؛ ۱۰ تا ۲۰ درجه،
C؛ ۲۰ تا ۳۰ درجه، D؛ ۳۰ تا ۴۰ درجه، E؛ بیش از ۴۰ درجه.

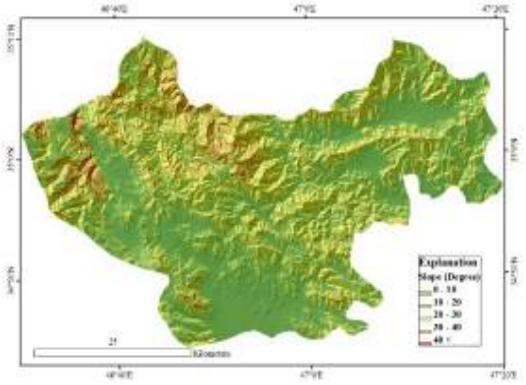


شکل ۵: نمایش نقشه زمین‌لغزش‌های رخداده در شهرستان کامیاران

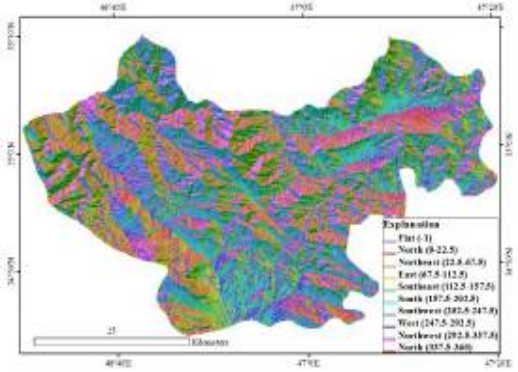
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴، زمین‌لغزش‌ها از پایگاه ملی داده‌های علوم زمین

www.SID.ir

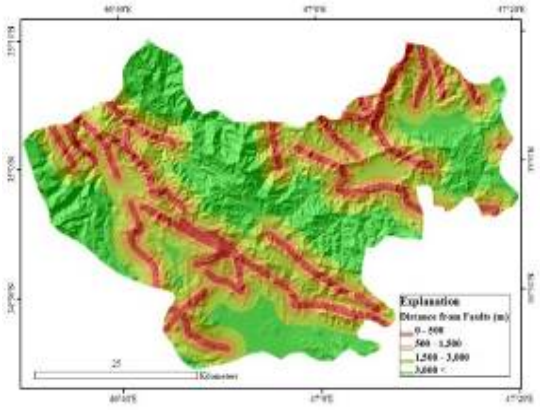
Archive of SID



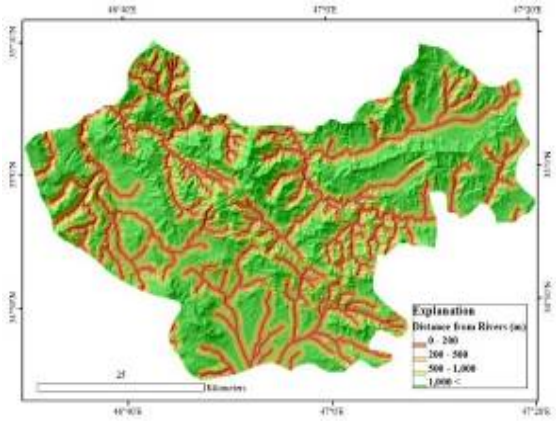
نمایش نقشه معیار میزان شیب



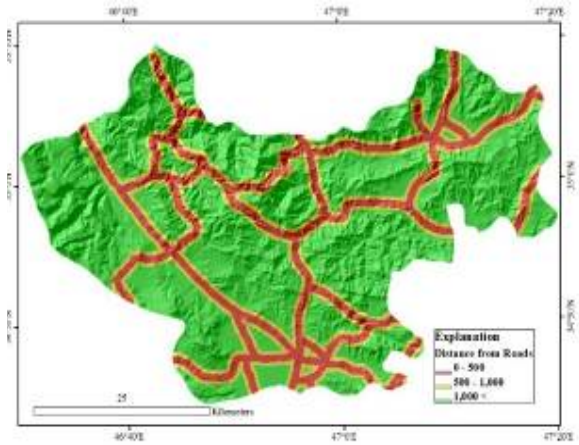
نمایش نقشه معیار جهت شیب



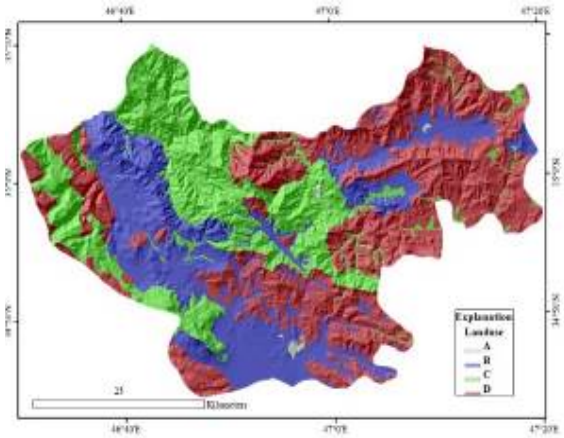
نمایش نقشه معیار فاصله از گسل



نمایش نقشه معیار فاصله از آبراهه



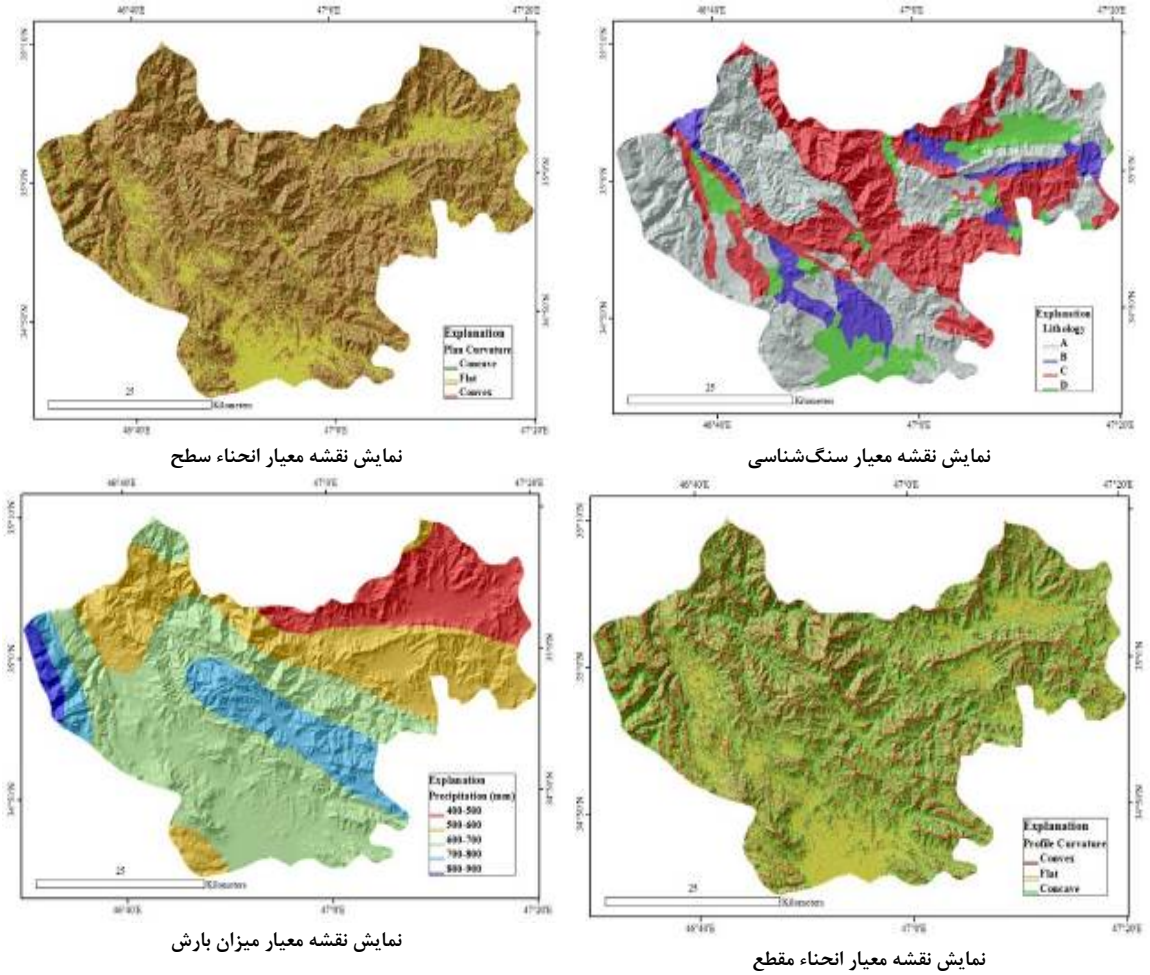
نمایش نقشه معیار فاصله از جاده



نمایش نقشه معیار کاربری اراضی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶: نمایش نقشه‌ی عوامل ده‌گانه مؤثر بر زمین‌لغزش در شهرستان کامیاران

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

جهت شیب

با توجه به واقع شدن ایران در نیمکره شمالی و جهت غالب حرکت توده‌های بارش‌زای ایران (که از سمت غرب به شرق است) شیب‌های روبه شمال و شمال غرب معمولاً بارندگی بیشتری دریافت کرده و به سبب دریافت کمتر نور خورشید معمولاً رطوبت بیشتری دارند در نتیجه نسبت به سایر جهت شیب‌ها استعداد بیشتری برای زمین‌لغزش خواهند داشت. با تمایل تغییر جهت شیب از شمال به سمت جنوب این استعداد به تدریج کاهش خواهد یافت.در جدول ۲ مقدار وزن نسبی زیررده‌ها و در جدول ۴ مقادیر امتیازدهی عامل جهت شیب ارائه شده‌است.زیررده‌های جهت شیب شمال‌غرب و شمال به ترتیب با وزن نسبی ۰/۲۴۰۹ و ۰/۱۹۵۱ بیشترین تأثیر را در این عامل دارند. وزن کلی این عامل در جدول ۲، ۰/۰۵۶۳ نمایش داده شده است. در شکل ۶ نیز گسترش انواع زیررده‌های جهت شیب نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴: ماتریس مقایسه زوجی و وزن زیرردههای جهت شیب

	A	B	C	D	E	F	G	H	وزن
A	۱	۱	۲	۳	۴	۳	۲	۱	۰/۱۹۵۱
B	۱	۱	۱	۲	۳	۲	۱	۱–۳	۰/۱۲۵۰
C	۱–۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱–۳	۱–۳	۰/۰۸۵۱
D	۱–۳	۱–۲	۱	۱	۱	۱–۳	۱–۳	۱–۳	۰/۰۶۱۰
E	۴–۱	۱–۳	۱–۲	۱	۱	۱–۳	۱–۳	۱–۳	۰/۰۵۱۹
F	۱–۳	۱–۲	۱	۳	۳	۱	۱–۳	۱–۳	۰/۰۸۹۴
G	۱–۲	۱	۳	۳	۳	۳	۱	۱–۳	۰/۱۵۱۷
H	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱	۰/۲۴۰۹

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، شمال؛ B، شمال شرق؛ C، شرق؛ D، جنوب شرق؛ E، جنوب؛ F، جنوب غرب؛ G، غرب؛ H، شمال غرب

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

فاصله از گسل

در مناطق نزدیک گسل به سبب عملکرد آن، لایه‌های زمین دچار خردشدگی و در نتیجه سستی می‌گردند، بنابراین هر چه فاصله‌ی دامنه از گسل کمتر باشد امکان ایجاد زمین‌لغزش بیشتر خواهد بود و بالعکس. مقایسه زیرردهها و مقدار وزن نسبی هر کدام از آنها در جدول ۲ و نقشه گسل‌ها به همراه منطقه‌بندی زیرردهها در شکل ۶ نمایش داده شده است. وزن نسبی کلی عامل فاصله از گسل ۰/۱۳۱۱ می‌باشد. در این عامل، زیر رده فاصله از گسل کمتر از ۵۰۰ متر، با وزن نسبی ۰/۴۴۲۳ از سایر زیرردهها نمایان‌تر است. در جدول ۵ نیز نحوه امتیازدهی به زیر رده‌های این عامل ارائه شده است.

جدول ۵: ماتریس مقایسه زوجی و وزن زیر رده‌های فاصله از گسل

	A	B	C	D	وزن
A	۱	۲	۳	۴	۰/۴۴۲۳
B	۱–۲	۱	۲	۳	۰/۲۷۹۱
C	۳–۱	۱–۲	۱	۵	۰/۲۰۴۵
D	۴–۱	۳–۱	۱–۵	۱	۰/۰۷۴۰

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، کم‌تر از ۵۰۰ متر، B؛ ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، C؛ ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر، D؛ بیش از ۳۰۰۰ متر

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

فاصله از آبراهه و جاده

هر چه فاصله از آبراهه‌ها و جاده‌ها کمتر باشد به سبب تغییراتی که چه بطور طبیعی و چه مصنوعی بر شیب‌های سنگی و خاکی اعمال شده است، میزان خطر نسبی زمین‌لغزش افزایش خواهد یافت. بدین سبب در مورد فاصله از آبراهه چهار زیررده تعیین

www.SID.ir

Archive of SID

گردیده و بیشترین وزن نیز به زیرره فاصله از آبراهه کمتر از ۲۰۰ متر تعلّق گرفته است (جدول ۲). وزن نسبی کلی عامل فاصله از آبراهه ۰/۰۷۸۳ و فاصله از جاده ۰/۰۹۹۵ به‌دست آمده‌است. برای فاصله از جاده سه زیررده در نظر گرفته شده که در این مورد نیز با افزایش فاصله از جاده میزان خطر و در نتیجه وزن نسبی تخصیصی کاهش یافته است (جدول ۲). شکل ۶ نقشه‌ی آبراهه‌ها و جاده‌ها و پهنه‌های مربوط به زیررده‌های آنها را نشان می‌دهد. جداول ۶و۷ به ترتیب ماتریس امتیازدهی به زیررده‌های فاصله از آبراهه‌ها و فاصله از جاده را ارائه می‌دهد.

جدول ۶: ماتریس مقایسه‌ی زوجی و وزن زیررده‌های فاصله از آبراهه‌ها

	A	B	C	D	وزن
A	۱	۲	۴	۵	۰/۴۷۸۵
B	۱–۲	۱	۲	۴	۰/۲۸۵۷
C	۴–۱	۱–۲	۱	۴	۰/۱۷۰۶
D	۱–۵	۴–۱	۴–۱	۱	۰/۰۶۵۳

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، کم‌تر از ۲۰۰ متر، B؛ ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر، C؛ ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر، D؛ بیش از ۱۰۰۰ متر.

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

جدول ۷: ماتریس مقایسه زوجی و وزن زیر رده‌های فاصله از جاده

	A	B	C	وزن
A	۱	۲	۴	۰/۵۴۲۹
B	۱–۲	۱	۳	۰/۳۳۳۷
C	۴–۱	۱–۳	۱	۰/۱۲۳۴

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، کم‌تر از ۵۰۰ متر، B؛ ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر، C؛ بیش از ۱۰۰۰ متر.

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

کاربری اراضی

کاربری اراضی شهرستان کامیاران نیز به چهارزیرره تقسیم‌بندی شده است. در این عامل با توجه به این نکته که مراتع به سبب ارتفاع و بارش بیشتر احتمال رخداد زمین‌لغزش بیشتری دارد، پس در مقایسه‌ی زوجی و در نتیجه وزن نسبی مقادیر بیشتری بدان داده شده است. وزن نسبی زیررده‌های عامل کاربری اراضی در جدول ۲ آورده شده است که بیشترین مقدار یعنی۰/۴۴۹۲ به زیررده چراگاه و مرتع تخصیص پیدا کرده است. وزن نسبی کلی این عامل نیز ۰/۱۵۹۶ است. نحوه‌ی امتیازدهی به زیررده‌های عامل کاربری اراضی در جدول ۸ آورده شده‌است. شکل ۶ نقشه‌ی پراکنش انواع کاربری اراضی و وسعت آنها را نمایش می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸: ماتریس مقایسه زوجی و وزن زیر رده‌های کاربری اراضی

		A	B	C	D	وزن
A		۱	۱–۲	۳–۱	۴–۱	۰/۰۹۹۷
B		۲	۱	۱–۲	۳–۱	۰/۱۶۷۳
C		۳	۲	۱	۱–۲	۰/۲۸۳۸
D		۴	۳	۲	۱	۰/۴۴۹۲

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، رخنمون‌های سنگی، مناطق شهری، B؛ زمین‌های کشاورزی و مسیل، C؛ جنگل و باغ، D؛ چراگاه و مرتع.

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

سنگ‌شناسی

به توجه به زیررده‌های سنگ‌شناسی استفاده شده در این مطالعه و ویژگی‌های زمین‌شناسی آنها، زیررده D (رسوبات دره‌ای و مخروط‌افکنه‌ای و دشت سیلابی) دارای استعداد زمین‌لغزش بیشتری نسبت به سایر زیررده‌ها می‌باشد و با وزن نسبی ۰/۵۴۱۲ بیشترین مقدار وزن را در این عامل به خود اختصاص داده است. وزن نسبی کلی این عامل ۰/۱۵۹۶ می‌باشد. وزن نسبی و امتیازدهی زیررده‌های عامل سنگ‌شناسی و نقشه‌ی پراکندگی آنها به ترتیب در جداول ۲ و ۹و شکل ۶ آورده شده است.

جدول ۹: ماتریس مقایسه‌ی زوجی و وزن زیر رده‌های سنگ‌شناسی

	A	B	C	D	وزن
A	۱	۱–۲	۳–۱	۴–۱	۰/۰۹۴۳
B	۲	۱	۳–۱	۴–۱	۰/۱۲۶۸
C	۳	۳	۱	۴–۱	۰/۲۳۷۸
D	۴	۴	۴	۱	۰/۵۴۱۲

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، آهک‌های ضخیم لایه و سنگ‌های آذزین، B؛ سنگ‌های رسوبی تخریبی، C؛ سنگ‌های رسوبی تخریبی سست و سنگ‌های دگرگونی، D؛ رسوبات دره‌ای و مخروط افکنه‌ای و دشت سیلابی.

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

شکل دامنه

با توجه به تأثیر نوع و شکل دامنه در تعیین میزان خطر ناپایداری، در تحقیق حاضر از دو عامل انحناء مقطع و انحناء سطح بدین منظور استفاده شده است تا بتوان این دو را با عوامل مرسوم مورد مقایسه و ارزیابی قرار داد. انحناء سطح، انحناء در سطوح افقی می‌باشد و یا خط کنتور تئوری است که از یک سلول ویژه می‌گذرد. انحناء سطح برای سلول‌هایی با کنتور محدب مثبت و برای سلول‌های با کنتور مقعر منفی است. انحناء سطح را می‌توان برای تمایز بین یال و دره استفاده نمود. انحناء مقطع، انحناء سطح در جهت شیب دامنه (در صفحه عمودی خط جریان) می‌باشد. انحناء مقطع بر سرعت جریان آب زهکشی سطح و فرسایش و رسوبگذاری تأثیر می‌گذارد. در مکان‌هایی که انحناء مقطع محدب (منفی) است، فرسایش و در مکان‌هایی با انحناء مقطع مقعر (مثبت) رسوبگذاری

www.SID.ir

Archive of SID

رخ خواهد داد (*Zevenbergen & Thorne, 1987; Wilson & Gallant, 2000*) به نقل از *http://www.ian-ko.com/ET_S urface/ userguide/ Raster/ETG_RasterCurvature.htm*).

بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعه طالبی و همکاران (۱۳۸۹)، علاوه بر شیب کف، خصوصیات توپوگرافی دامنه (مخصوصاً شکل پلان و انحنای کف) نیز جریان‌های زیرسطحی دامنه را کنترل نموده و این فرایند باعث تغییر رفتار هیدرولوژیکی دامنه‌ها و ایجاد ناپایداری در آنها می‌گردد.

بطور کلی وقتی نیمرخ دامنه از محدب به مقعر تغییر می‌کند پایداری شیب کاهش می‌یابد. همچنین وقتی شکل پلان شیب از مقعر به محدب تغییر می‌کند، پایداری در همه انواع نیمرخ‌ها (پروفیل‌های طولی) افزایش می‌یابد *(طالبی و همکاران، ۱۳۸۹: ۶)*.

زیرردهای عامل انحناء سطح و نیز انحناء مقطع از نظر شکل به سه زیررده مقعر، محدب و تخت تقسیم‌بندی شده است. در این زیرردهها شکل دامنه هر چه از محدب به مقعر تغییر می‌کند میزان تأثیر آن بر ناپایداری دامنه بیشتر می‌شود. لذا مقدار وزن نسبی زیررده مقعر بیشتر از بقیه به دست آمده است. مقدار وزن نسبی این زیر رده ۰/۵۱۹۰ می‌باشد. وزن نسبی کلی عامل‌های انحناء سطح و انحناء مقطع نیز به ترتیب ۰/۰۵۴۸، ۰/۰۵۰۰ است.

جدول ۲ مقادیر وزن نسبی و جداول ۱۰ و ۱۱ نحوه‌ی امتیازدهی و شکل ۶ نقشه‌ی نوع شکل دامنه را نشان می‌دهند.

جدول ۱۰: ماتریس مقایسه زوجی و وزن زیر رده‌های انحنای سطح

	A	B	C	وزن
A	۱	۲	۳	۰/۵۱۹۰
B	۱–۲	۱	۲	۰/۳۰۷۹
C	۱–۳	۱–۲	۱	۰/۱۷۳۰

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، مقعر، B، تخت، C، محدب.
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

جدول ۱۱: ماتریس مقایسه زوجی و وزن زیر رده‌های انحنای مقطع

	A	B	C	وزن
A	۱	۲	۳	۰/۵۱۹۰
B	۱–۲	۱	۲	۰/۳۰۷۹
C	۱–۳	۱–۲	۱	۰/۱۷۳۰

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، مقعر، B، تخت، C، محدب.
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

بارش

بارندگی نیز با مقدار خطر زمین‌لغزش ارتباط مستقیمی دارد و افزایش بارش احتمال لغزش را با کاهش مقاومت برشی سطوح افزایش می‌دهد *(Ercanogla & Cokceoglu, 2002:725؛شیرانی و سیف، ۱۳۹۱: ۱۵۱)*.

در مطالعه‌ی حاضر نیز با تأکید بر این نکته و با توجه به میانگین بارش سالیانه منطقه، عامل بارش به ۵ زیررده طبقه‌بندی شده است. همانطور که از جدول ۲ نمایان است، بیشترین وزن را زیررده بارش ۸۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر در سال با وزن نسبی ۰/۰۳۷۳ دارد. نقشه‌ی زیرردهها بارش در شکل ۶ نشان داده شده است. در جدول ۱۲ ماتریس مقایسه‌ی زوجی و نحوه‌ی امتیازدهی عامل بارش آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۲: ماتریس مقایسه‌ی زوجی و وزن زیر رده‌های مقدار بارش

	A	B	C	D	E	وزن
A	۱	۱–۲	۳–۱	۴–۱	۵–۱	۰/۰۶۳۰
B	۲	۱	۱–۲	۳–۱	۴–۱	۰/۱۰۰۲
C	۳	۲	۱	۱–۲	۴–۱	۰/۱۵۲۹
D	۴	۳	۲	۱	۴–۱	۰/۲۶۳۷
E	۵	۴	۴	۴	۱	۰/۴۲۰۳

حروف معیار تصمیم‌گیری: A، ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر، B؛ ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر، C؛ ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر، D؛ ۷۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر، E؛ ۸۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر.

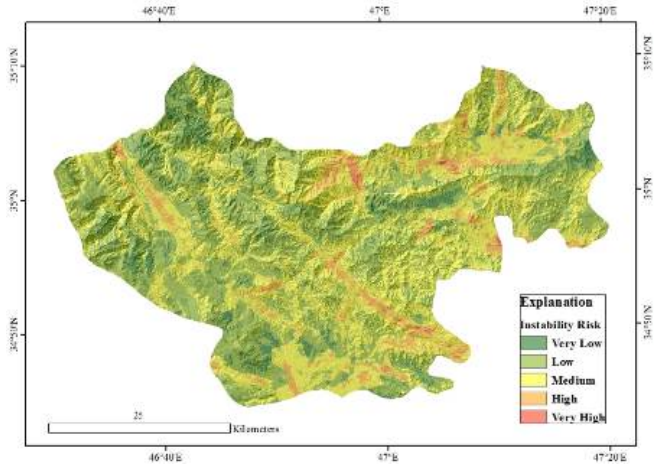
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

همپوشانی عوامل ده‌گانه مورد نظر در زمین‌لغزش منطقه کامیاران در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۷ و جدول ۱۳ قابل ملاحظه است، میزان مساحت منطقه با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد مجموعاً حدود ۷/۱۴ درصد است و مساحت منطقه با خطر متوسط حدود ۴۰/۸۳ درصد می‌باشد. مناطق با خطر نسبی کم و خیلی کم نیز مساحتی به ترتیب ۴۷/۰۵ درصد و ۴/۹۸ درصد را اشغال کرده‌اند.

جدول ۱۳: نتیجه‌ی نهایی پهنه‌بندی منطقه کامیاران

محدوده‌ی خطر	مساحت (کیلومترمربع)	درصد
خیلی کم (۲۰٪–۰)	۱۰۲/۰۱	۴/۹۸
کم (۴۰٪–۲۰)	۹۶۳/۸۸	۴۷/۰۵
متوسط (۶۰٪–۴۰)	۸۳۶/۴۲	۴۰/۸۳
زیاد (۸۰٪–۶۰)	۱۴۰/۳۸	۶/۸۵
خیلی زیاد (۱۰۰٪–۸۰)	۵/۹۰	۰/۲۹

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴



شکل ۷: نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش منطقه‌ی کامیاران

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه

مقادیر جدول ۱۳ بیانگر آن است که حدود ۵۲/۱۳ درصد از مساحت منطقه خطر نسبی کم و خیلی کم و حدود ۴۷/۸۷ درصد آن خطر زمین‌لغزش متوسط به بالا دارند. دقت در شکل ۷ نیز می‌نمایاند که تمرکز مناطق با خطر زمین‌لغزش‌بالا و خیلی‌بالا در دیواره‌های دره‌هایی با شیب قابل توجه است. هر چند درصد مناطق با خطر بالا و خیلی بالا کم است ولی همین مقدار کم در نزدیکی راه‌های اصلی و فرعی و نیز مناطق مسکونی عمدتاً روستایی موجود در دره‌ها واقع شده است. مهمترین عامل مؤثر در زمین‌لغزش در منطقه‌ی کامیاران عامل شیب تحت دو معیار میزان شیب و جهت شیب با وزن نسبی مجموع ۰/۱۷۹ می‌باشد. سپس عوامل سنگ‌شناسی و کاربری اراضی با وزن نسبی ۰/۱۶۰ تأثیرگذارتر از عوامل دیگر می‌باشند. چهارمین عامل فاصله از گسل می‌باشد که وزن نسبی آن ۰/۱۳۱۱ محاسبه شده است.

دو عامل انحنای سطح و انحنای مقطع هرچند به تنهایی دارای وزن نسبی پابین‌تری نسبت به سایر عوامل می‌باشند ولی در مجموع با عنوان عامل شکل دامنه با وزن نسبی ۰/۱۰۴۸ در بروز زمین‌لغزش پس از عوامل شیب دامنه، کاربری زمین، سنگ‌شناسی و فاصله از گسل در رتبه‌ی بعدی جای می‌گیرد. فاصله از جاده، بارش و فاصله از آبراهه و به ترتیب با وزن نسبی ۰/۰۹۹۵، ۰/۰۸۸۸ و ۰/۰۷۸۳حائز رتبه‌های بعدی در بروز زمین‌لغزش شده‌اند.

اگر وزن عوامل مورد بررسی جداگانه لحاظ شوند، عامل سنگ‌شناسی و کاربری اراضی مهمترین عوامل بوده و بعد از آن عامل فاصله از گسل در رتبه سوم می‌باشد. عامل‌های شیب دامنه و فاصله از جاده نیز به ترتیب چهارمین و پنجمین عامل مؤثر می‌باشند. عامل انحناء مقطع نیز کمترین تأثیر را بر زمین‌لغزش در منطقه‌ی کامیاران داشته است.

از میان زیررده‌ها؛ رسوبات دره‌ای و مخروط‌افکنه‌ای و دشت سیلابی از زیررده‌های عامل زمین‌شناسی با وزن نسبی کلی ۰/۰۸۶۳ و زیررده چراگاه، مرتع از عامل کاربری اراضی با وزن نسبی کلی ۰/۰۷۱۷ و زیررده ۵۰۰-۰متر از عامل فاصله ازگسل مهمترین زیررده‌های مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش در منطقه می‌باشد. زیررده‌ی جنوب، از عامل جهت شیب، با وزن نسبی ۰/۰۰۲۹ کمترین وزن نسبی و کمترین تأثیر بر زمین‌لغزش را به خود اختصاص داده است. در حالیکه عامل بارش، ششمین عامل در بروز زمین‌لغزش است ولی زیر رده بارش ۸۰۰-۹۰۰ و بیشتر، با وزن نسبی ۰/۰۳۷۳ جایگاه نهم را در میان ۴۴ زیررده دارد. بدین معنی که برخی زیررده‌ها در حالی‌که عامل اصلی وزن نسبی کمی دارد، دارای وزن نسبی قابل توجه و تأثیرگذاری می‌باشند. از این موارد برای نمونه می‌توان به زیررده ۲۰۰-۰ فاصله از آبراهه و زیررده مقعر در عامل انحناء سطح اشاره نمود.

منابع

- احمدی، حسن؛ شیرین محمدخانی؛ سادات فیض‌نیا؛ جمال قدوسی (۱۳۸۴). ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) سیستم‌ها مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران. شماره ۵۸. صفحات ۱۴-۱.
- احمدی، حسن؛ اباذر اسمعیلی؛ سادات فیض‌نیا؛ محسن شریعت جعفری (۱۳۸۲). پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیّره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز گرمی‌چای، مجله منابع طبیعی ایران. شماره ۵۶. صفحات ۳۳۶-۳۲۳.

www.SID.ir

Archive of SID

- اسفندیاری‌درآباد، فریبا؛ سیداقبال هاشمی (۱۳۹۱). پهنه‌بندی ریزش در مسیرارتباطی پاوه‌نودشه با استفاده از روش AHP و Expert Choice در محیط GIS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی.شماره‌ی۲.پاییز ۱۳۹۱. صفحات ۱۵۸-۱۴۵.
- امیراحمدی، ابوالقاسم؛ کامرانی دلیر، حمید و صادقی، محسن (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP مطالعه موردی حوضه آبخیز چلاو، آمل، نشریه جغرافیا. انجمن جغرافیای ایران. سال هشتم. شماره ۲۷. زمستان ۸۹. صفحات ۲۰۳-۱۸۱.
- پایگاه اطلاع رسانی دفتر مطالعات پایه منابع آب http://wrs.wrm.ir.
- پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، http://ngdir.ir.
- جباری، ایرج (۱۳۸۴). تحلیلی بر محدودیت‌های پهنه‌بندی مناطق حساس به حرکات توده‌ای مطالعه‌ی موردی غرب و جنوب‌غرب شهرستان ارومیه، مجله جغرافیا و توسعه. پاییز و زمستان. صفحات ۹۲-۷۱.
- حاتمی‌فرد، رامین؛ سیدحجت موسوی؛ مسعود علیمرادی (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم‌آباد. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. پیاپی ۴۷. شماره ۳. صفحات ۶۰-۴۳.
- دستورالعمل نرم‌افزار Arc GIS.
- رنجبر، محسن؛ پریسا روغنی (۱۳۸۸). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فصلنامه چشم‌اندازهای جغرافیایی زاگرس.سال اول.شماره ۲. صفحات ۳۰-۲۱.
- زنجیرانی،داریوش؛ندا اشتیاقیان؛ فیروز رازنهان (۱۳۹۱). رویکرد چندمعیاره و تلفیقی نیازسنجی آموزشی بر مبنای تحلیل شایستگی‌های کارکنان، دو فصلنامه رویکردهای نوین آموزشی. سال هفتم. شماره ۱. صفحات ۱۳۶-۱۰۷.
- شادفر، محمد؛ مجتبی یمانی؛ جمال قدسی؛ جعفر غیومیان (۱۳۸۶).پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) حوضه آبریز چالکرود تنکابن، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. شماره ۷۵. صفحات ۱۲۶-۱۱۸.
- شاه‌حسینی، محمدعلی؛ سعید روحانی؛ بهار روحی (۱۳۹۲). چارچوب انتخاب سیستم برنامه‌ریزی منابع سازمان در شرکت‌های پیمانکاری با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی فازی، فناوری اطلاعات. سال پنجم. شماره ۲. صفحات ۱۱۶-۹۵.
- شریعت‌جعفری، محسن؛جعفر غیومیان (۱۳۸۷). ارزیابی کارایی‌مدل آنالیز آماری دومتغیّره در پهنه‌بندی خطر رانش زمین، مجله علوم دانشگاه تهران. شماره ۳۴. صفحات ۱۴۳-۱۳۷.
- شیرانی، کورش؛ عبدالله سیف (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدونشهر)، مجله علوم‌زمین. سال بیست و دوم. شماره ۸۵. صفحات ۱۵۸-۱۴۹.
- طالبی، علی؛ محمدتقی دستورانی؛ علیرضا نفرزادگان (۱۳۸۹). مدل‌سازی زمین‌لغزش‌های سطحی با تأکید بر اثر شکل شیب و پروفیل طولی دامنه، ششمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملّی فرسایش و رسوب.
- علایی‌طالقانی، محمود؛ زهرا رحیم‌زاده (۱۳۹۰). شبیه‌سازی احتمال وقوع لغزش در حوضه‌ی آبخیز جوانرود با مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP با تأکید بر ویژگی‌های مورفولوژی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۲. شماره پیاپی ۴۴. شماره ۴. صفحات ۷۲-۵۳.

www.SID.ir

Archive of SID

- قرهی، حمیدرضا؛ بهمن بهلولی؛ امیر سیار؛ محسن شریعت جعفری (۱۳۹۰). تهیه نقشه حساسیت پدیده زمین‌لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و مدل آماری دو متغیّره در مخزن سد البرز، مجله علوم زمین. سال بیست و یکم. شماره ۸۱. صفحات ۱۰۰-۹۳.
- کرَم، امیر؛ مریم تورانی (۱۳۹۲). پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع لغزش با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی مطالعه موردی: محور هراز از رودهن تا رینه، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال سیزدهم. شماره ۲۸. صفحات ۱۹۰-۱۷۷.
- کفاش‌پور، آذر؛ علی علیزاده زوارم (۱۳۹۱). به‌کارگیری فرایند تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAHP) و تحلیل خوشه سلسله مراتبی (HCA) در مدل آر.اف.ام (RFM) جهت تعیین ارزش دوره عمر مشتری، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات بازاریابی نوین. سال دوم. شماره سوم. شماره پیاپی ۶. صفحات ۶۸-۵۱.
- مرادی،حمیدرضا؛ مجید محمدی؛ حمیدرضا پورقاسمی؛ سادات فیض‌نیا (۱۳۸۹). تحلیل و برآورد خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در بخشی از جاده هراز، مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضا. دوره چهاردهم. شماره ۲. صفحات ۲۴۷-۲۳۳.
- یمانی، مجتبی؛ سیروس حسن پور؛ ابوالفضل مصطفایی، مجید شادمان رودپشتی (۱۳۹۱). نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۳. پیاپی ۴۸. شماره ۴. صفحات ۵۶-۳۹.
- Dai, F. D; C. F. Lee (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling .using GIS. Lantau Island. Hong Kong. Geomorphology. 42. PP: 213-228.
- Ercanogla, M & Cokceoglu, C (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide pron area north of Yenice, NW Turkey by fuzzy Approach. Environmental Geology. 41: 720-730. http://www.ian-ko.com/ET_Surface/ userguide/ Raster/ETG_RasterCurvature.htm.
- Moradi, M, Bazyar, M H, Mohammadi, Z (2012). GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping by AHP Method, A Case Study, Dena City, Iran, J. Basic. Appl. Sci. R11111es., 2(7)6715-6723.
- Prakash, T. N (2003). Land suitability analysis for agricultural crops: A fuzzy multi criteria decision making approach, International institute for geo-information science and earth observation Enschede, Netherlands.
- Triantaphyllou .E, Mann .S H (1995). Using the Analytic Hierarchy Process for decision making in engineering application: some challenges, Inter'l Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice, Vol. 2, No. 1, PP: 35-44.

www.SID.ir