

P. Graee
H. Karimi

پرویز گرایی، کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام

حاجی کریمی، عضو هیات علمی دانشگاه ایلام

E.mail: parviz_graee@yahoo.com

شماره مقاله: ۷۸۲

شماره صفحه پیاپی ۱۶۲۵۱-۱۶۲۷۸

تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام

چکیده:

در سال‌های اخیر، عوامل طبیعی و انسانی باعث تشدید خسارت‌های ناشی از زمین لغزش‌ها شده است. یکی از راهکارهای مهم برای کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع زمین لغزش‌ها، دوری جستن از مناطق دارای خطر است. بدین منظور، لازم است نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برای این مناطق تهیه گردد. در این تحقیق، ابتدا پس از بررسی‌های میدانی در حوضه سد ایلام ۹ عامل مؤثر شامل شیب دامنه، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زهکشی، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی به عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه تشخیص داده شدند و این ۹ عامل در محیط GIS با استفاده از نرم افزار Arcview تهیه گردیدند و لایه پراکنش زمین لغزش‌ها بر روی هر کدام از این لایه‌ها انداخته شدند و همپوشانی گردید، تا نقش طبقات مربوط به عوامل مختلف مشخص شود. سپس پهنه بندی با پنج روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، روش پیشنهادی کوپتا-جوشی (Lnrf) و نسبت فراوانی انجام گرفت. در پایان، برای ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه بندی، وزن‌های به دست آمده از روش‌های ذکر شده در حوضه سد ایلام برای حوضه آبخیز مجاور (حوضه پاکل گراب) - که از بسیاری لحاظ مشابه حوضه سد ایلام بود - به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که روش ارزش اطلاعاتی نسبت به سایر روش‌ها در

تفکیک طبقات خطر نتایج بهتری ارائه نموده است. بنابراین، این روش به عنوان روش نهایی پهنه بندی خطر زمین لغزش برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: پهنه بندی خطر زمین لغزش، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، نسبت فراوانی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، حوضه آبخیز سد ایلام

مقدمه :

زمین لغزش‌ها هر ساله موجب خسارت‌های سنگینی می‌گردند که گاهی جبران این خسارت‌ها ممکن نیست و یا نیاز به وقت و هزینه بسیار زیاد دارد. لذا برنامه ریزی برای جلوگیری از این خسارت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پهنه بندی عبارت است از تقسیم بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه بندی این مناطق بر اساس درجه واقعی یا پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین لغزش (شریعت جعفری، ۱۳۷۵). دستگاه‌های اجرایی ذی‌ربط، با توجه به این نقشه می‌توانند مناطق حساس به زمین لغزش را شناسایی و در مورد برنامه‌های مورد نظر تصمیم‌گیری نمایند (مهدیفر و همکاران، ۱۳۷۶). پدیده زمین لغزش در استان ایلام با قدمت بیشتری نسبت به بسیاری از نقاط کشور قابل مطالعه است. بزرگترین زمین لغزش جهان در طاق‌دیس کبیرکوه و در امتداد رودخانه سیمره در این استان به‌وقوع پیوسته است (علایی طالقانی، ۱۳۸۱).

در حوضه سد ایلام رخداد لغزش‌ها علاوه بر خطر آفرینی در مسیر جاده‌های حوضه در کنار رودخانه‌ها باعث وارد شدن رسوبات حاصل از لغزش‌ها به درون آنها شده، این رسوبات در پشت دریاچه سد جمع و موجب کاهش عمر مفید سد می‌شوند و تاسیسات احداث شده در مسیر آب شرب به شهر ایلام را که اهمیت حیاتی برای این شهر دارد، خراب می‌کنند. بنابراین، لازم است که با توجه به نکته‌های ذکر شده برای مدیریت صحیح این حوضه، با روش‌هایی این مناطق را در سطح حوضه شناسایی و از ایجاد خسارت‌های مالی و جانی توسط آنها جلوگیری کرد. مهمترین اهدافی که در این تحقیق دنبال می‌گردد، تعیین مناسبترین روش پهنه بندی زمین لغزش و مشخص نمودن مناطق

تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۰۳

حساس به لغزش در سطح حوضه آبخیز سد ایلام است. در سال‌های اخیر، مطالعات گسترده‌ای در مورد زمین لغزش‌ها صورت گرفته است. دهه ۱۹۹۰ توسط سازمان یونسکو به عنوان دهه مقابله با بلایای طبیعی معرفی گردید. به مناسبت این دهه، مراکز مختلف تحقیقاتی و دانشگاهی، فعالیت‌هایی را در زمینه شناخت لغزش‌ها به عنوان یکی از بلایای طبیعی به انجام رساندند.

فیض نیا و همکاران (۱۳۸۳) پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه شیرین رود ساری با چهار روش انجام داده، نتیجه گرفتند که روش ارزش اطلاعاتی و شاخص همپوشانی روش‌های مناسبی برای پهنه بندی در این حوضه هستند. احمدی و همکاران (۱۳۸۱) حوضه آبخیز گرمی چای اردبیل را با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و فرایند تحلیل سلسله مراتبی پهنه بندی نمودند و اظهار داشتند که روش AHP نسبت به روش دیگر از دقت بیشتری برخوردار است.

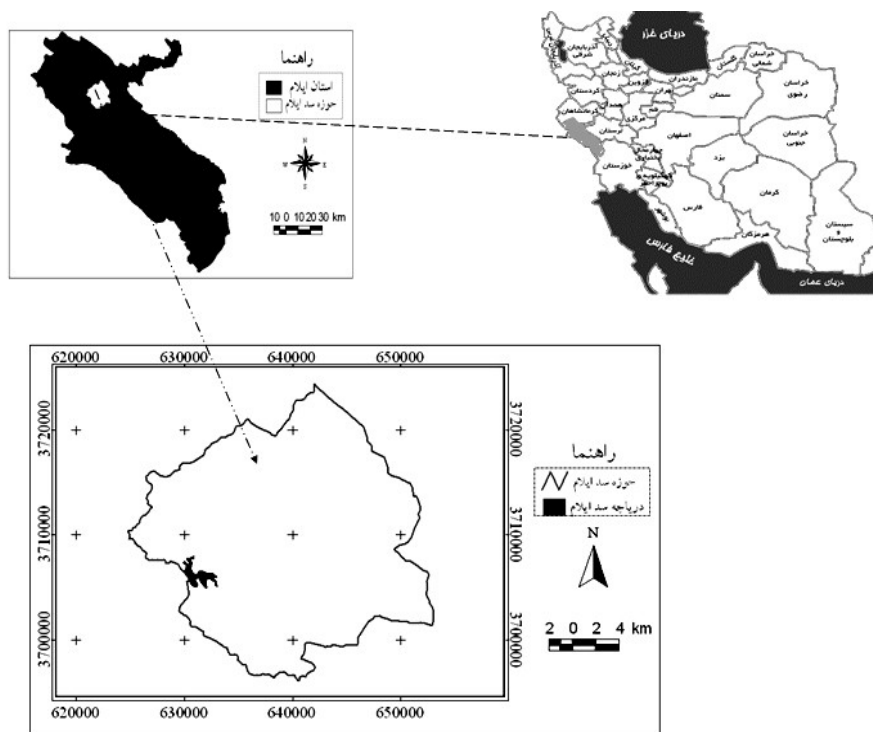
گرایی (۱۳۸۵) در تحقیقی در حوضه لاجیم رود ساری بیان کردند عوامل زمین شناسی، کاربری اراضی، شیب و فاصله از جاده، به ترتیب بیشترین تاثیر را بر لغزش‌های رخ داده در این منطقه داشته اند. کماک (۲۰۰۶) نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش را با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و روش آماری چند متغیره در اسلونی تهیه کرد و نتیجه گرفت که قابلیت روش AHP نسبت به روش رگرسیون چند متغیره خیلی بهتر است و مناطقی که از نظر حساسیت زمین لغزش بالا هستند، ارتباط نزدیکی با توزیع جاده‌ها دارند. زهانگ فانیولیو^۱ (۲۰۰۷) تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی برای منطقه لانگن در استان گانسو چین رامثبت ارزیابی کرد. یلسین (۲۰۰۸) نقشه حساسیت زمین لغزش 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 زمین لغزش را نسبت به دو روش دیگر در حوضه مورد مطالعه بهتر نشان می‌دهد.

1-Zhang fanyu liu

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه:

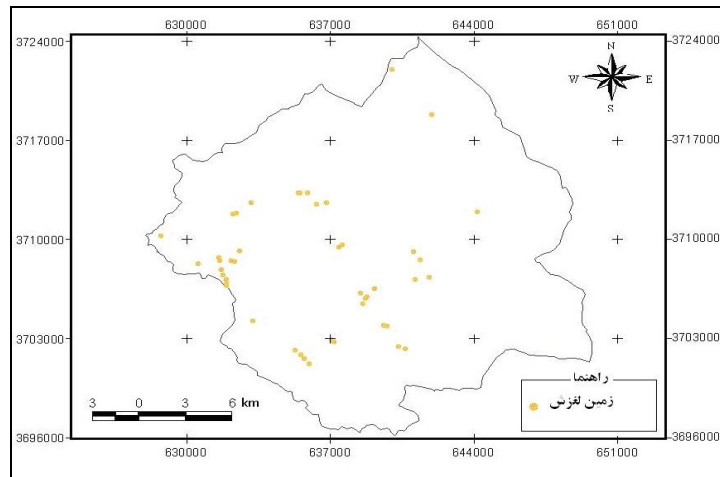
حوضه آبخیز سد ایلام با مساحت ۴۷۶ کیلو متر مربع در شرق شهرستان ایلام قرار داشته، از لحاظ تقسیمات سیاسی جزو محدوده شهرستان‌های ایلام و مهران محسوب می‌شود. این حوضه در مختصات جغرافیایی طول شرقی $46^{\circ} 20' 30''$ تا $46^{\circ} 39' 33''$ و عرض جغرافیایی شمالی $33^{\circ} 23' 32''$ تا $33^{\circ} 38' 51''$ قرار دارد. میانگین بارندگی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۸۵-۱۳۵۶) ۵۹۵ میلی متر است. از لحاظ پوشش بیشتر سطح حوضه توسط اراضی مرتعی پوشیده شده است. از نظر زمین شناسی سازند پابده با ۲۵ درصد کل سطح حوضه، بیشترین سطح را به خود اختصاص داده است. (شکل ۱) موقعیت حوضه سد ایلام را در استان ایلام و ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه سد ایلام در استان ایلام و ایران

روش تحقیق:

در این تحقیق، ابتدا با انجام عملیات صحرایی اقدام به ثبت مشخصات هر یک از زمین لغزش‌ها گردید که در نهایت ۴۶ زمین لغزش در منطقه ثبت شد. برای تعیین موقعیت هر یک از زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه، از دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) استفاده گردید. پس از تهیه مختصات جغرافیایی زمین لغزش‌ها این مختصات توسط نرم افزارهای DNR Garmin و Arc view رقومی و وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی گردید (شکل ۲). با توجه به نتایج به دست آمده از پرسشنامه‌ها و همچنین بررسی مطالعات انجام شده در مناطق مشابه و استفاده از تجربیات افراد بومی منطقه ۹ عامل شیب دامنه، طبقات ارتفاعی، جهت دامنه، زمین شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از شبکه هیدروگرافی، به عنوان عوامل مؤثر اولیه تشخیص داده شدند. بعد از تهیه لایه‌های عوامل مؤثر اولیه ذکر شده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی این لایه‌ها طبقه بندی گردیدند. برای این منظور، در مورد برخی از کلاس‌های عوامل مختلف، مانند طبقات ارتفاعی و شیب از نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در مقابل ارزش هر پیکسل استفاده شده است. که یک روش منطقی برای طبقه بندی کردن نقشه‌ها بوده، دخالت کارشناس در آن به حداقل می‌رسد و در واقع، روشی است که با الگو گرفتن از وضعیت زمینی منطقه انجام می‌گیرد (آیالو و یاماگشی^۲، ۲۰۰۵). روی این نمودار مناطقی را که شیب منحنی تغییر پیدا کرده است، را به عنوان مرز یک کلاس با کلاس دیگر در نظر می‌گیرند. در مرحله بعد به منظور تعیین نرخ هر کلاس که در پهنه بندی از اهمیت بالایی برخوردار است، از قطع دادن نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی استفاده شد. سپس با استفاده از پنج روش زیر پهنه بندی انجام گرفت.



شکل ۲: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه سد ایلام

پهنه بندی به روش ارزش اطلاعاتی^۳:

در این روش از رابطه ۱ استفاده می‌گردد. رابطه ۱

$$WINF = LN \left(\frac{\frac{A}{B}}{\frac{C}{D}} \right)$$

که در آن Winf؛ نرخ مربوط به هر طبقه از عوامل؛ A: تعداد زمین لغزش در هر طبقه؛ B: مساحت هر طبقه به کیلومتر مربع؛ C: تعداد کل زمین لغزش‌های حوضه؛ D: مساحت کل حوضه به کیلومتر مربع است. سپس با توجه به نرخ‌های به دست آمده از فرمول بالا لایه‌ها تهیه شده و با جمع کردن ارزش پیکسل‌های عوامل مختلف و با فاصله پنج طبقه مساوی نقشه پهنه بندی به روش ارزش اطلاعاتی در محیط GIS تهیه می‌گردد (فیض نیا، ۱۳۸۳).

پهنه بندی به روش تراکم سطح^۴:

نرخ مربوط به هر یک از کلاس‌های عوامل مختلف در این روش از رابطه ۲ به دست

می‌آید (فتاحی اردکانی، ۱۳۷۹). رابطه ۲

3 -Information value

4 -Valuing area accumulation

تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۰۷

$$Wa = 1000 \left(\frac{A}{B} \right) - 1000 \left(\frac{C}{D} \right)$$

Wa = نرخ مربوط به هر طبقه از عوامل؛ A ؛ تعداد زمین لغزش در هر طبقه. B ؛ مساحت هر طبقه به کیلومتر مربع. C ؛ تعداد کل زمین لغزش‌های حوضه. D ؛ مساحت کل حوضه به کیلومتر مربع. در این روش نیز بعد از تهیه نرخ‌های مربوط به کلاسه‌های عوامل مختلف، نقشه پهنه بندی با جمع بستن ارزش پیکسل‌های عوامل مختلف و طبقه‌بندی آن در محیط GIS تهیه می‌گردد.

پهنه بندی به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP^۵).

این روش برای اولین بار توسط ساعتی^۶ ارایه شده و بر پایه مقایسه زوجی عوامل مختلف استوار است (فرجی سبکبار، ۱۳۸۴). به طور کلی، اجرای این روش، به این صورت است که ابتدا به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آنها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) استفاده می‌شود (جدول ۱) که نتیجه این مقایسات به صورت یک ماتریس در می‌آید.

جدول ۱: نحوه قضاوت شفاهی برای مقایسه زوجی در روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها

مقدار عدد	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مطلوب تر
۷	مطلوب خیلی قوی
۵	مطلوب قوی
۳	کمی مطلوب تر
۱	کمی مهمتر
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل

5 -Analytical Hierarchy Process (AHP)

6 -saatty

واضح است که با توجه به جدول ۱ محدوده اعداد کمی در ماتریس بین ۱ الی ۹ است. پس از تشکیل ماتریس مورد نظر، برای تک تک عوامل جمع هر ستون در زیر آن نوشته می شود. سپس برای محاسبه وزن هر عامل، مقادیر هر عنصر از ماتریس به جمع کل ستون های همان لایه تقسیم و در جدول دیگری نوشته می شود. در این جدول، از اعداد موجود در هر کدام از سطرها میانگین گرفته و این عدد به عنوان وزن هر لایه در نظر گرفته می شود. بعد از اینکه وزن هر کدام از لایه ها به دست آمد، در مرحله بعد باید نرخ هر کدام از کلاسه های عوامل مختلف (σ) را مشخص نمود. برای انجام این عمل، نقشه پراکنش زمین لغزش ها بر روی لایه های مختلف انداخته و درصد سطح لغزش یافته در هر کلاس محاسبه می شود و با در نظر گرفتن امتیاز ۱۰۰ برای طبقه ای که بیشترین درصد سطح لغزش یافته را داراست، برای سایر کلاسه ها متناسب با آن ارزش های متفاوتی داده می شود. بعد از امتیاز دهی به کلاسه های عوامل منطقه مورد مطالعه (σ) حال می توان مقادیر امتیازهای مربوط به عوامل در نظر گرفته شده را در ضریب وزنی به دست آمده (X) ضرب کرده، آنها را با هم جمع نمود که در نهایت مدل زیر به دست خواهد آمد.

رابطه ۳

$$M = \alpha_1 \chi_1 + \alpha_2 \chi_2 + \alpha_3 \chi_3 + \alpha_4 \chi_4 + \dots$$

این رابطه در M عامل حساسیت، فاکتور X مربوط به عوامل مختلف و σ مربوط به مقادیر وزنی هر کدام از طبقات لایه های مختلف است. بعد از آنکه مدل به دست آمد، نقشه نهایی پهنه بندی بر اساس آن تهیه می گردد. در نهایت، برای تفکیک مقادیر M به کلاسه های مختلف حساسیت به چهار قسمت مساوی به صورت جدول ۲ تقسیم بندی می گردد (احمدی، ۱۳۸۴).

تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۰۹

جدول ۲: طبقه بندی خطر حرکات توده‌ای بر اساس روش AHP

مقدار خطر	امتیاز	کلاس درجه بندی (M)
کم خطر	۰-۲۵	۱
خطر متوسط	۲۵-۵۰	۲
خطر زیاد	۵۰-۷۵	۳
خطر بسیار زیاد	۷۵-۱۰۰	۴

پهنه‌بندی به روش $LNRF^7$:

این روش به مدل گوپتا و جوشی^۸ معروف است و توسط آن دو ارایه گردید (گرایی و همکاران، ۱۳۸۶). در این روش، به منظور تعیین نرخ هر کلاس از عوامل مختلف از رابطه ۴ استفاده می‌گردد.

رابطه ۴ میانگین لغزش رخ داده در کل واحدهای نقشه عامل $\pm$ لغزش رخ داده در یک واحد از نقشه عامل $LNRF =$

با توجه به فرمول بالا، برای هر یک از طبقات عوامل مختلف وزن آنها از جدول ۳ دست می‌آید.

جدول ۳: وزن مربوط به مقدار LNRF

مقدار LNRF	$LNRF < 1$	$1 < LNRF < 2$	$LNRF > 2$
وزن (wight)	Weight=0	Weight=1	Weight=2

بعد از پیدا کردن وزن مربوط به هر عامل، با جمع کردن نقشه وزن‌های عوامل مختلف و طبقه بندی آن در محیط سامانه، اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به دست می‌آید (شادفر و همکاران، ۱۳۸۴).

7 -Landslide nominal risk factor

8 -Gopta & Joshi

پهنه بندی به روش نسبت فراوانی^۹:

بعد از تهیه و طبقه بندی هر کدام از لایه‌های ذکر شده، این لایه‌ها با لایه اطلاعاتی پراکنش زمین لغزش‌ها تلفیق گردید تا تعداد زمین لغزش در هر کلاس از عوامل مختلف به دست آید. در مرحله بعد با استفاده از مدل نسبت فراوانی، رابطه (۵) وزن هر یک از کلاس‌ها تعیین گردید (لی ۲۰۰۷، ۱۰ و پور قاسمی، ۱۳۸۶).

رابطه (۵)

$$\text{نسبت فراوانی} = \frac{\text{درصد پیکسل‌های هر کلاس عامل}}{\text{درصد تعداد لغزش‌های رخ داده در هر کلاس عامل}}$$

این وزن‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با استفاده از نرم افزار Arc view با هم جمع شده، نقشه به دست آمده به چهار پهنه تقسیم بندی گردید.

نتایج

در راستای روش تحقیق، نتایج به ترتیب آورده شده‌اند. بعد از تهیه عوامل مختلف دخیل در وقوع زمین لغزش‌های حوضه آبخیز سد ایلام، این لایه‌ها طبقه بندی گردیدند و هر کدام از طبقه‌های آنها با کدهای نمایش داده شدند (جدول ۴). سپس با پنج روش ذکر شده نقشه‌های پهنه بندی به صورت زیر تهیه گردید:

تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۱۱

جدول ۴: کد طبقه‌های عوامل مختلف

عوامل کد طبقه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
فاصله از رودخانه (متر)	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۰۰	۴۰۰<	
جهت دامنه	شمال	شرق	جنوب	غرب	بدون جهت	-
ارتفاع (متر)	۹۲۰-۱۰۸۵	۱۰۸۵-۱۱۷۰	۱۱۷۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۱۶۷۰	۱۶۷۰-۲۱۶۵	۲۱۶۵-۲۵۸۰
فاصله از گسل (متر)	۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰<	-	-	-
بارش (میلیمتر)	۳۵۸-۵۷۳	۵۷۳-۷۷۸	۷۷۸-۱۰۰۰	-	-	-
کاربری	اراضی دیم	اراضی جنگلی	اراضی کشاورزی آبی	اراضی مرتعی	-	-
فاصله از جاده (متر)	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۰۰	۴۰۰<	-
شیب (درصد)	۰-۹	۹-۱۶	۱۶-۲۵	۲۵<	-	-
ژئولوژی	گوربی	سازند ایلام	پابده	دیگر سازندها	-	-

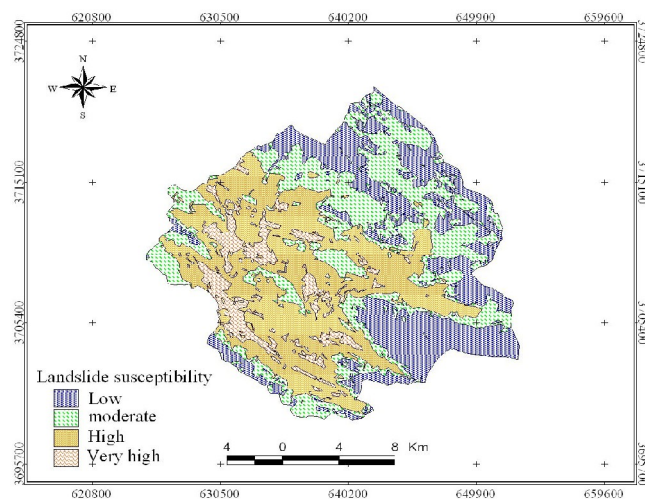
پهنه بندی به روش ارزش اطلاعاتی (winf):

در روش ارزش اطلاعاتی، نرخ مربوط به هر کلاس از عوامل از رابطه ۱ به دست می‌آید. نتایج این قسمت در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: نرخ کلاسه‌های عوامل وقوع زمین لغزش حوضه آبخیز سد ایلام به روش ارزش اطلاعاتی

عامل کلاس	زمین شناسی	کاربری	بارندگی	فاصله از جاده	شیب	ارتفاع از سطح دریا	فاصله از گسل	فاصله از رودخانه	جهت دامنه
۱	۰/۵۴	۰/۸۶۷	۱/۳	۰/۶۳۱	۰/۲۰	۱/۱۴۶	۰/۳۵۲	۰/۶۳۷	-۰/۰۲۸
۲	۰/۳۵۵	-۰/۱۱۸	-۰/۶۷۲	۰/۷۰۵	۰/۸۳	۱/۴۵۰	۰/۱۱۰۸	-۰/۴۸۹	۰/۷۵۵
۳	-۰/۳۸۶	۱/۰۴۵	-۱/۴۱۶	۰/۷۵۲	۰/۳۵۳	۰/۷۰	-۰/۶۳۰	-۰/۹۷۵	-۰/۲۲۲
۴	-۰/۷۸۵	-۰/۰۷۰۵	-	۰/۲۷۸	-۰/۴۹	-۰/۸۹	-	-۰/۷۱۴	-۰/۰۹۵
۵	-	-	-	۰/۴۶	-	-۱/۶۵۳	-	-۱/۳۸۶	-۰/۴۶۴
۶	-	-	-	-	-	۰/۹	-	-	-

سپس لایه‌ها با توجه به نرخ‌های به دست آمده از جدول ۴ تهیه شده، با روی هم اندازی و جمع کردن ارزش پیکسل‌ها برای عوامل مختلف، نقشه نهایی به دست می‌آید. برای کلاسه بندی، آن را به چهار قسمت مساوی تقسیم کرده، به این ترتیب، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی به دست می‌آید (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز سد ایلام به روش ارزش اطلاعاتی

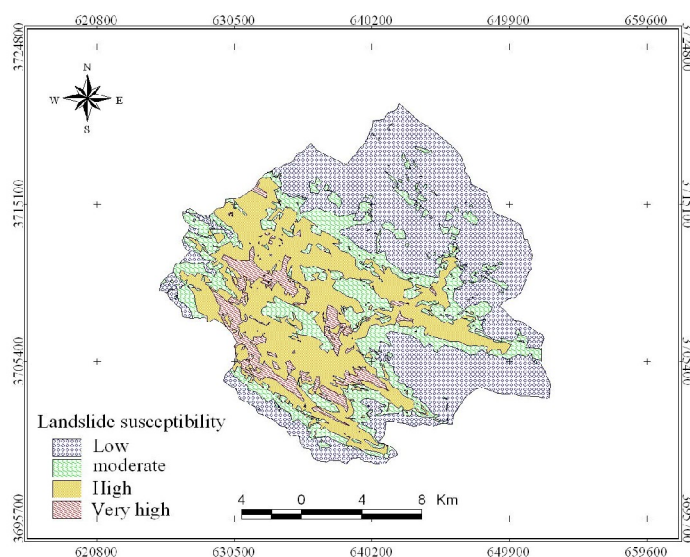
تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۱۳

پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش تراکم سطح (wa):

نرخ مربوط به هر یک از کلاسه‌های عوامل مختلف در این روش از رابطه ۲ به دست می‌آید که در جدول ۶ ذکر شده است. برای تهیه نقشه پهنه بندی در روش تراکم سطح، مانند روش ارزش اطلاعاتی عمل می‌شود (شکل ۴).

جدول ۶: نرخ کلاسه‌های عوامل وقوع زمین لغزش حوضه آبخیز سد ایلام به روش تراکم سطح

عامل کلاسی	زمین شناسی	کاربری	بارندگی	فاصله از جاده	شیب	ارتفاع از سطح دریا	فاصله از گسل	فاصله از رودخانه	جهت دامنه
۱	۱۷۱۰	۳۱۷۴	۳۶۶۷	۱۸۸۰	۱۲۳۱	۳۱۴۵	۱۴۲۲	۱۸۹۲	۹۷۲
۲	۱۴۲۶	۸۸۸	۵۱۰	۲۰۲۵	۲۲۲۸	۴۲۶۶	۱۱۱۷	۶۱۳	۲۱۲۹
۳	۶۸۰	۲۸۴۲	۲۴۲	۲۱۲۰	۱۴۲۴	۱۰۷۲	۵۳۲	۳۷۷	۸۰۰
۴	۴۵۶	۹۳۱	-	۱۳۱۹	۶۱۰	۴۱۱	-	۴۸۹	۹۰۸
۵	-	-	-	۲۰۹	-	۱۹۱	-	۲۵۰	۴۱۱
۶	-	-	-	-	-	۵۶۸	-	-	-



شکل ۴: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز سد ایلام به روش تراکم سطح

پهنه بندی به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP):

در این روش، همان طور که گفته شد، مقایسات زوجی بین هر جفت از عوامل از طریق قضاوت شفاهی (جدول ۱) در نظر گرفته می شود و نتیجه مقایسات به صورت ماتریس در می آید که برای هر ستون مجموع در زیر آن ستون نوشته می شود (جدول ۷).

جدول ۷: محاسبه وزن عوامل در روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم ها (مرحله اول)

	جاده	زمین	شیب	رودخانه	کاربری	گسل	بارندگی	جهت	ارتفاع
جاده	۱	۲	۳	۳	۴	۵	۶	۷	۸
زمین	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
شیب	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
رودخانه	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶
کاربری	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۵	۶
گسل	۰/۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴
بارندگی	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳
جهت	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲
ارتفاع	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵
مجموع	۳/۰۴۵	۴/۷۱۵	۷/۵۸	۱۰/۴۴	۱۵/۱۹	۲۱/۰۸	۲۷/۸۳	۳۶/۵	۴۵

در مرحله بعد، اعداد موجود در هر ستون بر عدد مجموع آن ستون تقسیم می گردد و در جدول دیگری نوشته می شود. سپس از اعداد موجود در هر کدام از ردیف ها، میانگین گرفته و این عدد به عنوان وزن نهایی هر عامل در نظر گرفته می شود (جدول ۸).

تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۱۵

جدول ۸: محاسبه وزن عوامل در روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (مرحله دوم)

	جاده	زمین	شیب	رودخانه	کاربری	گسل	بارندگی	جهت	ارتفاع	وزن نسبی
جاده	۰/۳۳	۰/۴۲۴	۰/۳۹۵	۰/۲۸۷	۰/۲۶۳	۰/۲۳۷	۰/۲۱۵	۰/۱۹۱	۰/۱۷	۰/۲۸
زمین	۰/۱۶۴	۰/۲۱۲	۰/۲۶۳	۰/۲۸۷	۰/۲۶۳	۰/۲۳۷	۰/۲۱۵	۰/۱۹۱	۰/۱۷۷	۰/۲۲
شیب	۰/۱۰۸	۰/۱۰۶	۰/۱۳۱	۰/۱۹۱	۰/۱۹۷	۰/۱۸۹	۰/۱۷۹	۰/۱۶۴	۰/۱۵۵	۰/۱۶
رودخانه	۰/۱۰۸	۰/۰۶۹	۰/۰۶۵	۰/۰۹۵	۰/۱۳۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۳	۰/۱۳۶	۰/۱۳۳	۰/۱۱
کاربری	۰/۰۸۲	۰/۰۵۳	۰/۰۴۳	۰/۰۴۷۸	۰/۰۶۵۸	۰/۰۹۴	۰/۱۰۷	۰/۱۳۶	۰/۱۳۳	۰/۰۸۵
گسل	۰/۰۶۵۶	۰/۰۴۲	۰/۰۳۳	۰/۰۳۱۶	۰/۰۳۳	۰/۰۴۷	۰/۰۷۱	۰/۰۸۲	۰/۰۸۸	۰/۰۵۵
بارندگی	۰/۰۵۵	۰/۰۳۶	۰/۰۲۶	۰/۰۲۴	۰/۰۲۱۷	۰/۰۲۳۷	۰/۰۳۵	۰/۰۵۴	۰/۰۶۶	۰/۰۳۸
جهت	۰/۰۴۵	۰/۰۲۹۶	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷۹	۰/۰۲۷	۰/۰۴۴	۰/۰۲۷
ارتفاع	۰/۰۴۱	۰/۰۲۶	۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۰۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳۶	۰/۰۲۲	۰/۰۱۹

وزن عوامل مختلف همان طور که در جدول (۷) مشخص است، به صورت زیر است
 جاده = ۰/۲۸، زمین شناسی = ۰/۲۲، شیب = ۰/۱۶، رودخانه = ۰/۱۱، کاربری = ۰/۰۸۵،
 گسل = ۰/۰۵۵، بارندگی = ۰/۰۳۸، جهت = ۰/۰۲۷، ارتفاع = ۰/۰۱۹. (تمامی اعداد بی بعد هستند).
 نرخ کلاسه‌های عوامل مختلف نیز با توجه به تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در کلاسه‌های مختلف بین ۱۰۰-۰ در نظر گرفته می‌شود که هر کدام از لایه‌ها بر اساس این نرخ‌ها تهیه می‌گردند (جدول ۹).

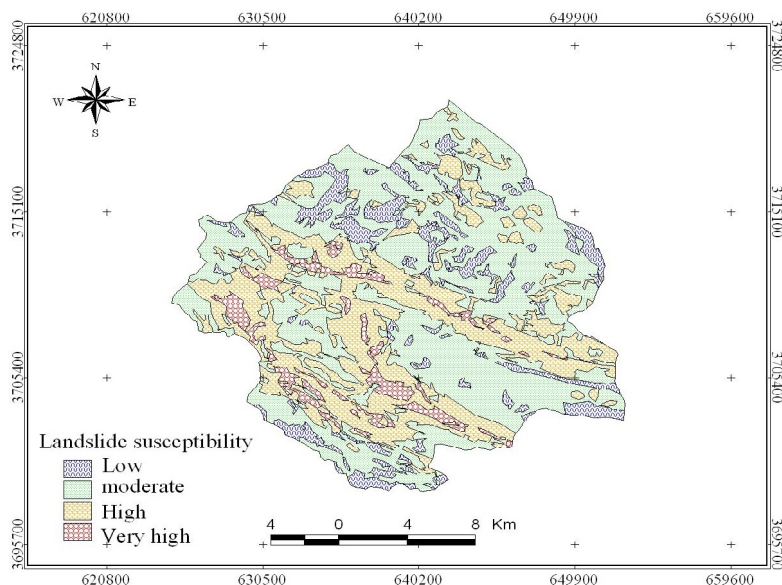
جدول ۹: نرخ طبقات مختلف به روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP).

	جاده	زمین	شیب	رودخانه	کاربری	گسل	بارندگی	جهت	ارتفاع
۱	۱۰۰	۱۰۰	۷۱	۱۰۰	۸	۱۰۰	۶۵	۲۱	۱۰۰
۲	۷۳	۹۵	۳۶	۲۵	۲۰	۹۴	۱۰۰	۷۹	۸۱
۳	۶۷	۳۱	۲۹	۹	۱۰۰	۶۱	۱۳	۱۰۰	۸۱
۴	۳۳	۲۶	۲۹	۶	-	-	-	۵۰	۱۲
۵	۳۳	-	۵۷	۳	-	-	-	۷۹	۶
۶	-	-	۱۰۰	-	-	-	-	-	۶

بعد از انجام عملیات بالا نقشه نهایی پهنه بندی بر اساس رابطه ۶ تهیه می‌گردد.

(رابطه ۶) $Finall = ۰/۲۲ \times \text{زمین شناسی} + ۰/۰۸۵ \times \text{کاربری اراضی} + ۰/۲۸ \times \text{جاده}$

در نهایت، نقشه به دست آمده همانند روش‌های قبلی به چهار طبقه مساوی تقسیم گردیده، نقشه پهنه بندی نهایی به دست می‌آید (شکل ۵).



شکل ۵: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز سد ایلام به روش (AHP)

پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش LNRF

بعد از تهیه عوامل دخیل در وقوع زمین لغزش‌های منطقه و کلاسه بندی و کد بندی لایه‌ها (جدول ۴) هر کدام از عوامل ذکر شده با نقشه پراکنش زمین لغزش قطع داده شده، مقدار لغزش در هر طبقه به دست می‌آید و با استفاده از فرمول LNRF (روش گوپتا-جوشی) وزن هر طبقه محاسبه می‌گردد (جدول ۱۰ و ۱۱). سپس نقشه هر یک از عامل‌ها بر اساس وزن‌های به دست آمده از جدول (۱۱) ساخته می‌شود. آنگاه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه وزن‌ها را با هم جمع کرده، نقشه به دست آمده به چهار طبقه تقسیم می‌گردد (شکل ۶).

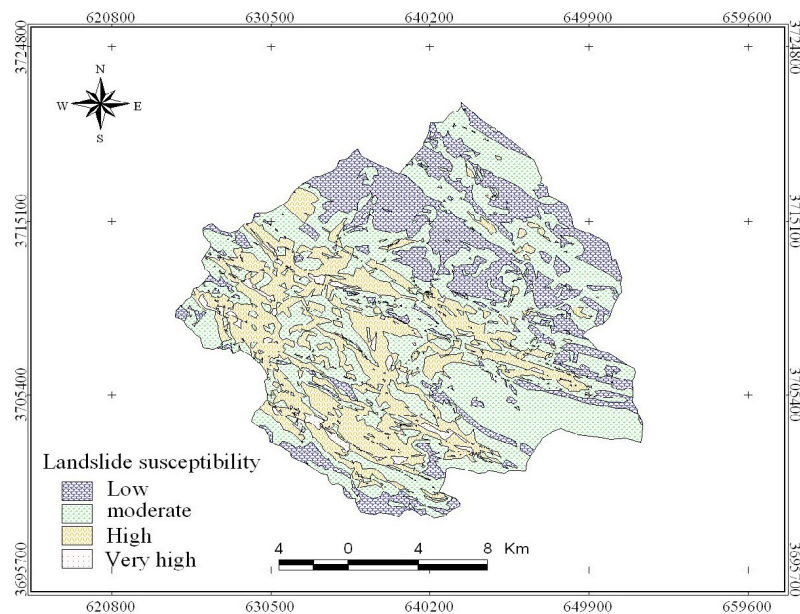
تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۱۷

جدول ۱۰: مقدار LNRF برای عوامل مختلف در حوضه آبخیز سد ایلام

عامل / کلاس	زمین شناسی	شیب	فاصله از جاده	کاربری	بارش	فاصله از گسل	ارتفاع	جهت	فاصله از رودخانه
۱	۲۶.۶	۰/۶۷	۱/۵۸	۰/۶۵	۲/۸۰	۱/۵۳	۰/۹۶	۱/۶۶	۳۳/۷۷
۲	۰/۴۶۸	۰/۳۳	۰/۸۰۲	۰/۴۲۱	۰/۱۴	۰/۹۱۳	۱/۴۱۷	۱/۰۶۵	۰/۶۷
۳	۰/۵۷۰	۰/۷۰۴	۲/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۵۷	۰/۵۵۶	۳/۰۷۸	۰/۶۹	۰/۲۸
۴	۰/۳۰۵	۲/۳۱۱	۰/۲۲۹	۲/۸۵	-	-	۰/۳۵۲	۰/۵۸	۰/۱۹۳
۵	-	-	۰/۳۶۳	-	-	-	۰/۰۷۷۲	-	۰/۰۹۴۰
۶	-	-	-	-	-	-	۰/۱۱۳	-	-

جدول ۱۱: وزن طبقات عوامل مختلف در حوضه آبخیز سد ایلام

عامل کلاس	زمین شناسی	شیب	فاصله از جاده	کاربری	بارش	فاصله از گسل	ارتفاع	جهت دامنه	فاصله از رودخانه
۱	۲	۰	۱	۰	۲	۱	۰	۱	۲
۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰
۳	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۲	۰	۰
۴	۰	۲	۰	۲	-	-	۰	۰	۰
۵	-	-	۰	-	-	-	۰	۰	۰
۶	-	-	-	-	-	-	۰	-	-



شکل ۶: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز سد ایلام به روش LNRF

پهنه بندی خطر زمین لغزش با روش آماری Frequency ratio:

بعد از به دست آوردن وزن لایه‌های مختلف جدول (۱۲) از رابطه (۵) این لایه‌ها با هم جمع گردیدند و نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش نسبت فراوانی تهیه گردید (شکل ۷).

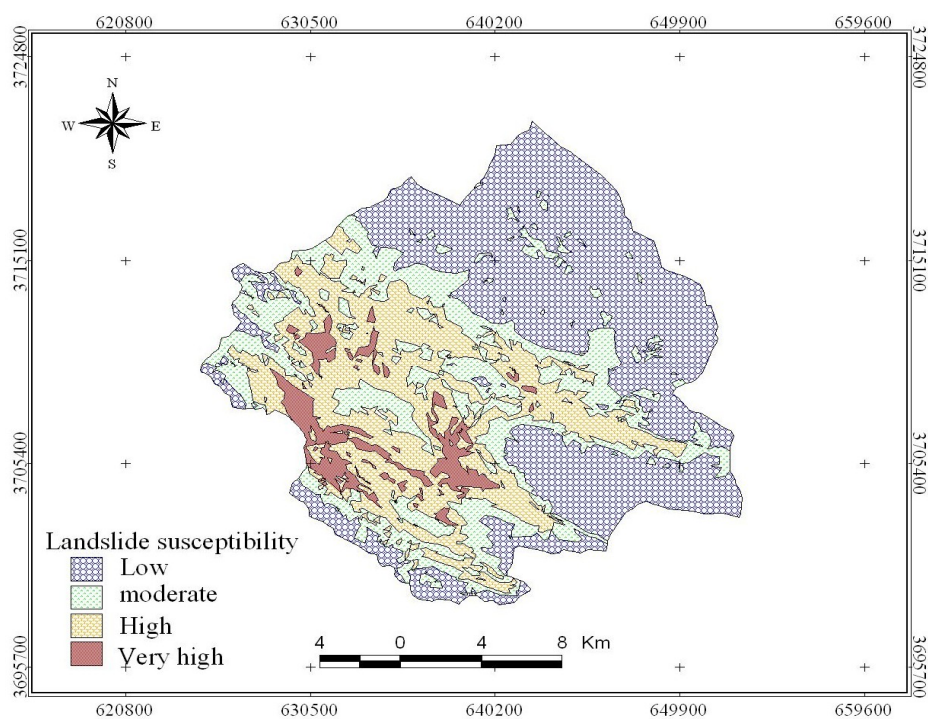
جدول ۱۲: وزن عوامل مؤثر به روش frequency ratio در حوضه آبخیز سد ایلام

نسبت فراوانی	درصد لغزش رخ داده در هر طبقه	تعداد لغزش رخ داده در هر طبقه	درصد پیکسل‌ها در هر طبقه	تعداد پیکسل‌های هر طبقه	طبقه	عامل
۰/۶	۱۷	۸	۲۸	۵۴۲۰۴	۰-۹%	شیب به درصد
۱/۸۷۵	۱۵	۷	۸	۱۵۱۴۷	۹-۱۶%	
۲/۲۵	۲۷	۱۲	۱۲	۲۲۸۶۶	۱۶-۲۵%	
۰/۷۹	۴۱	۱۹	۵۲	۲۸۲۶۱	۲۵%	
۰/۷۸	۱۷/۴۰	۸	۲۲/۳۷	۱۳۱۵۳	شمال	جهت دامنه

تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۱۹

ادامه جدول ۱۲: وزن عوامل مؤثر به روش frequency ratio در حوضه آبخیز سد ایلام						
نسبت فراوانی	درصد لغزش رخ داده در هر طبقه	تعداد لغزش رخ داده در هر طبقه	درصد پیکسل‌ها در هر طبقه	تعداد پیکسل‌های هر طبقه	طبقه	عامل
۲/۲۹	۳۰/۴۲	۱۴	۱۳/۳۰	۷۸۲۵	شرق	
۰/۸۷۵	۲۶/۰۸	۱۲	۲۹/۸۰	۱۷۵۲۶	جنوب	
۰/۷۲۵	۱۷/۴۰	۸	۲۳/۹۸	۱۴۰۹۳	غرب	
۰/۸۲۵	۸/۷	۴	۱۰/۵۵	۶۲۰۴	مناطق مسطح	
۴/۸۴	۲۹	۱۳	۶	۱۱۶۲۳	۹۲۰-۱۰۸۵	ارتفاع از سطح دریا به متر
۴/۱۴	۲۹	۱۳	۷	۱۴۶۴۴	۱۰۸۵-۱۱۷۰	
۱/۰۷	۳۱	۱۴	۲۹	۵۴۹۲۴	۱۱۷۰-۱۵۰۰	
۰/۲	۷	۳	۳۵	۶۶۲۹۴	۱۵۰۰-۱۶۷۰	
۰/۱۴	۲	۱	۱۵	۲۷۷۷۵	۱۶۷۰-۲۱۶۴	
۰/۲۵	۲	۱	۸	۱۵۲۴۸	۲۱۶۴-۲۵۸۰	
۱/۹۲	۳۲/۶۱	۱۵	۱۶/۹۸	۹۹۸۰	گورپی	سنگ شناسی
۰/۹۳۶	۲۳/۹۱	۱۱	۲۵/۵۴	۱۵۰۲۱	پایده	
۲/۵۳	۳۲/۶۱	۱۵	۱۲/۸۶	۷۵۶۰	ایلام	
۰/۲۴۳	۱۰/۸۷	۵	۴۴/۶۲	۲۶۲۴۰	دیگر سازندها	
۲/۱۳	۸/۷	۴	۴/۰۸	۲۴۰۱	اراضی کشاورزی	کاربری اراضی
۱/۲۶۵	۲۳/۹۰	۱۱	۱۸/۸۸	۱۱۱۰۰	جنگل	
۰/۸۷۴	۶۷/۴	۳۱	۷۷/۰۴	۴۵۳۰۰	مرتع	
۱/۰۱۴	۳۲/۶	۱۵	۳۲/۱۴	۱۸۹۰۰	۰-۱۰۰۰	فاصله از گسل به متر
۱/۲۶	۳۹/۱۳	۱۸	۳۱/۰۸	۱۸۲۷۸	۱۰۰۰-۲۰۰۰	
۰/۹۷	۲۱/۷۴	۱۰	۲۲/۴۱	۱۳۱۷۵	۲۰۰۰-۳۰۰۰	
۰/۴۵۳	۶/۵۲	۳	۱۴/۳۷	۸۴۴۸	۳۰۰۰<	
۱/۸۳	۶۷/۴	۳۱	۳۶/۷۳	۲۱۶۰۰	۰ ۱۰۰	فاصله از شبکه زهکشی به متر
۰/۶۸۹	۱۹/۵۷	۹	۲۸/۴	۱۶۷۰۰	۱۰۰ ۲۰۰	
۰/۵۰۲	۸/۷	۴	۱۷/۳۱	۱۰۱۸۰	۲۰۰ ۳۰۰	
۰/۲۴۴	۲/۱۷	۱	۸/۸۷	۵۲۱۵	۳۰۰ ۴۰۰	
۰/۲۴۹	۲/۱۷	۱	۸/۶۹	۵۱۰۶	۴۰۰<	
۲/۳۵	۳۲/۶	۱۵	۱۳/۸۵	۸۱۴۲	۰ ۱۰۰	فاصله از جاده متر

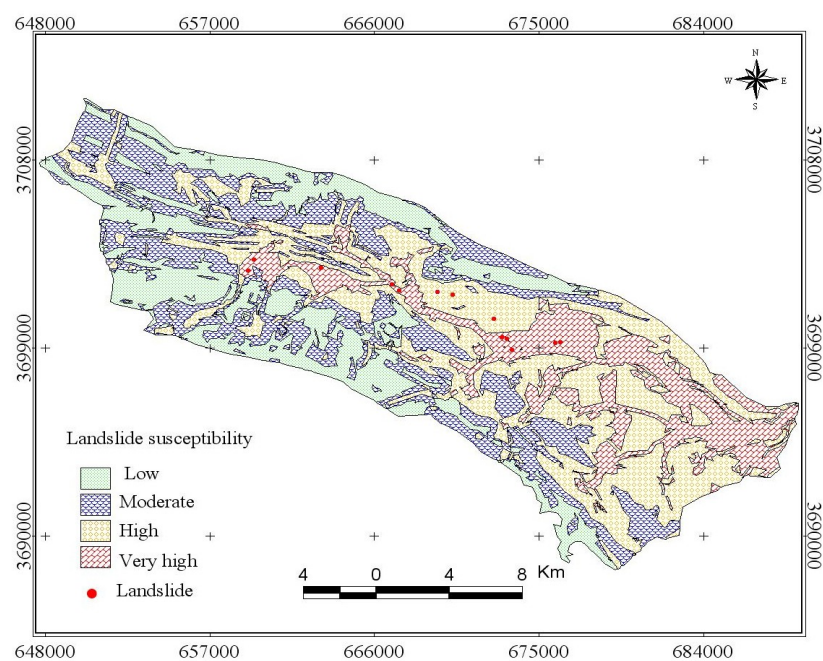
ادامه جدول ۱۲: وزن عوامل مؤثر به روش frequency ratio در حوضه آبخیز سد ایلام						
عامل	طبقه	تعداد پیکسل‌های هر طبقه	درصد پیکسل‌ها در هر طبقه	تعداد لغزش رخ داده در هر طبقه	درصد لغزش رخ داده در هر طبقه	نسبت فراوانی
	۱۰۰ ۲۰۰	۷۵۸۷	۱۲/۹۰	۹	۱۹/۵۷	۱/۵۱۷
	۲۰۰ ۳۰۰	۶۶۲۴	۱۱/۲۶	۱۱	۲۳/۹۲	۲/۱۲۴
	۳۰۰ ۴۰۰	۵۷۹۴	۹/۸۵	۶	۱۳/۰۴	۱/۳۲۴
	۴۰۰ <	۳۰۶۵۴	۵۲/۱۴	۵	۱۰/۸۷	۰/۲۰۸
بارش به میلی متر	۳۵۰ ۵۰۰	۱۰۴۴۶	۱۷/۷۶	۳۰	۶۵/۲۱	۳/۶۷
	۵۰۰ ۶۵۰	۳۲۵۴۱	۵۵/۳۴	۱۲	۲۶/۰۹	۰/۴۷۱
	۶۵۰ <	۱۵۸۱۴	۲۶/۹	۴	۸/۷	۰/۳۲۳



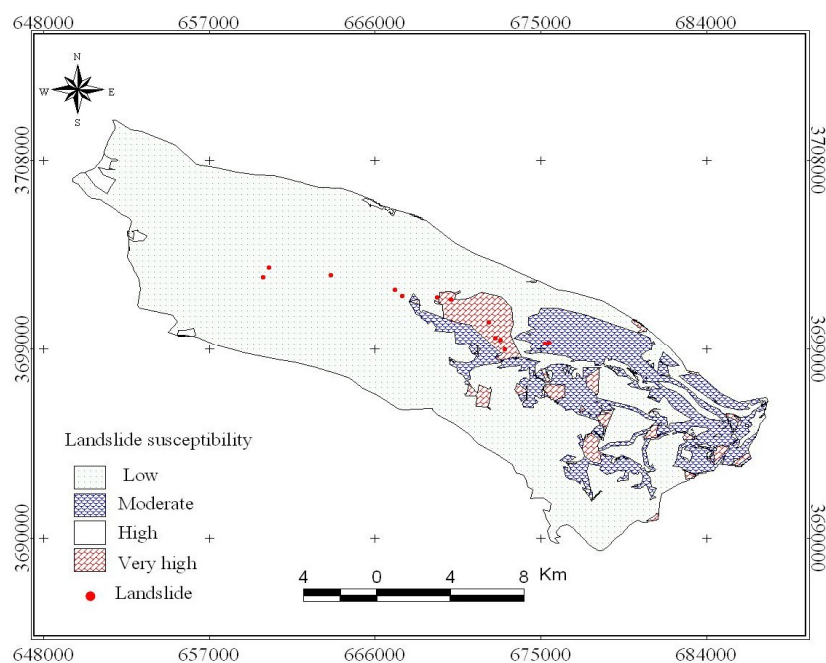
شکل ۷: نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز سد ایلام به روش نسبت فراوانی

ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش

برای این کار، از حوضه آبخیز پاکل گراب در محدوده مختصاتی عرض جغرافیایی شمالی $36^{\circ} 18' 33''$ تا $24^{\circ} 32' 33''$ و طول جغرافیایی شرقی $46^{\circ} 36' 36''$ تا $47^{\circ} 6' 00''$ در جنوب شرق حوضه سد ایلام با مساحت 350 کیلومتر مربع که از نظر خصوصیات آب و هوایی، سنگ شناسی، کاربری اراضی و ... مشابه حوضه مورد مطالعه است، به عنوان منطقه آزمایش مدل‌ها استفاده گردید؛ به این صورت که ابتدا نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه پاکل گراب با انجام بازدیدهای صحرایی تهیه و رقومی گردید. سپس نقشه عوامل مؤثر نهایی که برای حوضه سد ایلام تهیه گردیده بود، به همان روش برای حوضه پاکل گراب نیز تهیه گردید. سپس وزن‌های به دست آمده از پنج روش بالا در حوضه سد ایلام بر روی نقشه‌های حوضه پاکل گراب اعمال گردید و کلاس‌های حساسیت مشابه حوضه سد ایلام تعریف گردید و نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه پاکل گراب به دست آمد. در پایان نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها و نقشه‌های پهنه بندی تهیه شده در حوضه پاکل گراب روی هم انداخته شدند و تعداد لغزش در هر یک از کلاس‌های حساسیت محاسبه گردید (اشکال ۸ الی ۱۲). مدلی کارآمدتر است که تعداد بیشتری زمین لغزش در کلاس‌های با خطر بالا در آن اتفاق افتاده باشد. همان طور که از جدول ۱۳ مشخص است، در روش ارزش اطلاعاتی 100% لغزش‌های رخ داده در کلاس‌های خیلی پر خطر و پر خطر اتفاق افتاده‌اند و 93% لغزش‌ها در پهنه‌های خیلی پر خطر و خطرناک در روش AHP اتفاق افتاده‌اند. بنابراین، از بین پنج روش مورد استفاده به ترتیب مدل‌های ارزش اطلاعاتی و AHP به دلیل توانایی در تفکیک کلاس‌های خطر مناسب‌ترین روش‌ها برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام تشخیص داده شده‌اند.

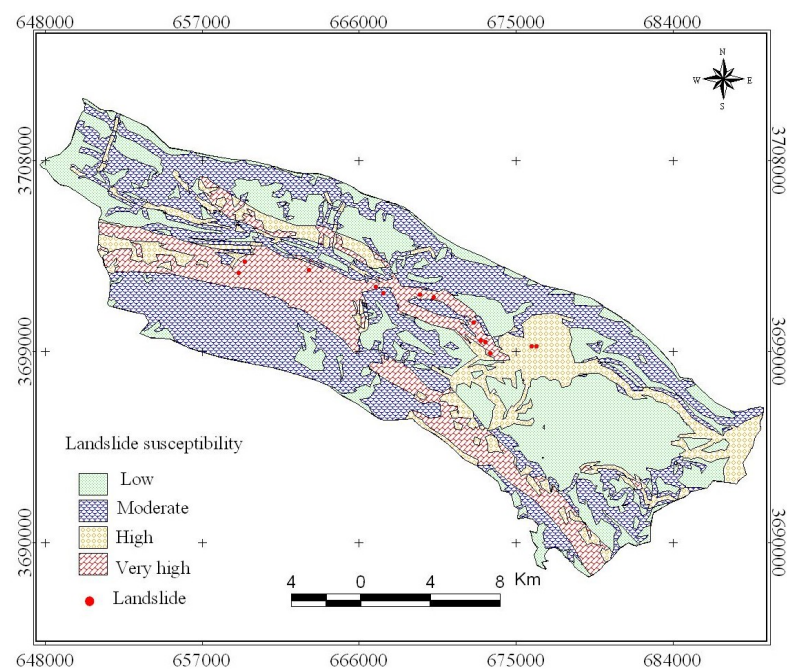


شکل ۸: نقشه ارزیابی روش ارزش اطلاعاتی با استفاده از حوضه مجاور (حوضه پاکل گراب)

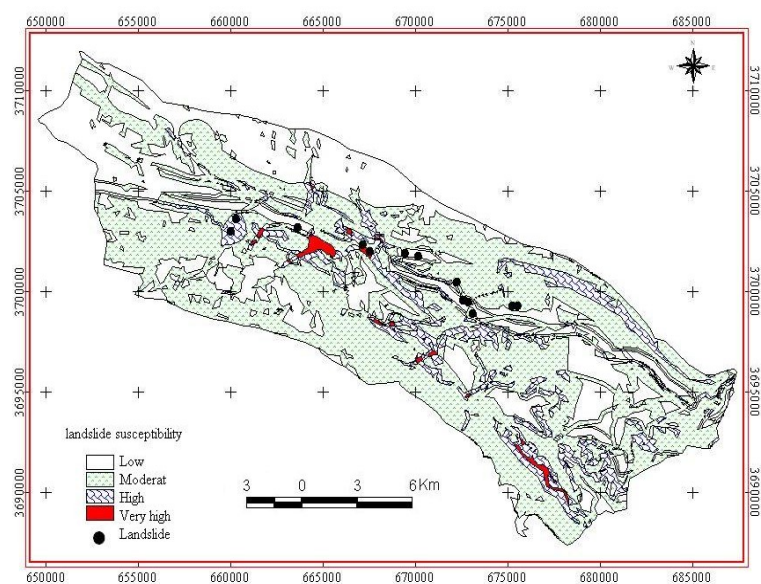


شکل ۹: نقشه ارزیابی روش تراکم سطح با استفاده از حوضه مجاور (حوضه پاکل گراب)

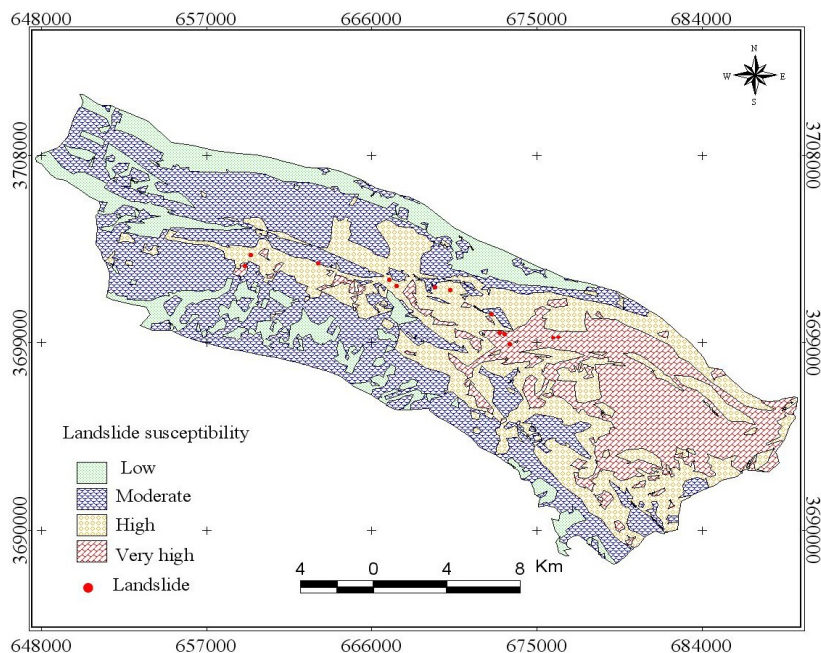
تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۳۳



شکل ۱۰: نقشه ارزیابی روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از حوضه مجاور (حوضه پاکل گراب)



شکل ۱۱: نقشه ارزیابی روش LNRFL با استفاده از حوضه مجاور (حوضه پاکل گراب)



شکل ۱۲: نقشه ارزیابی روش نسبت فراوانی با استفاده از حوضه مجاور (حوضه پاکل گراب)

جدول ۱۳: ارزیابی کارایی روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام

Fr		LNRF		AHP		Wa		Winf		مدل‌های پهنه بندی پهنه‌های خطر
درصد	تعداد لغزش‌ها	درصد	تعداد لغزش‌ها	درصد	تعداد لغزش‌ها	درصد	تعداد لغزش‌ها	درصد	تعداد لغزش‌ها	
۴۶	۶	۱۵/۵	۲	۷۷	۱۰	۳۸	۵	۷۷	۱۰	خیلی پر خطر
۵۴	۷	۱۵/۵	۲	۱۶	۲	۰	۰	۲۳	۳	پر خطر
۰	۰	۳۰	۴	۷	۱	۱۶	۲	۰	۰	خطر متوسط
۰	۰	۳۹	۵	۰	۰	۴۶	۶	۰	۰	کم خطر

بحث و نتایج:

در مورد پهنه بندی با پنج روش ذکر شده در حوضه سد ایلام، چنان که از جدول (۱۳) بر می‌آید روش‌های ارزش اطلاعاتی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی مناسب‌تر از سایر

تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۲۵

روش‌ها هستند. سفیدگری (۱۳۸۱) در تحقیقی که در حوضه آبخیز دماوند نموده، بیان کرده است که از بین هشت روش مورد استفاده برای پهنه بندی خطر زمین لغزش، روش ارزش اطلاعاتی نتایج قابل قبول و رضایت بخشی نسبت به سایر روش‌ها همراه داشته است. همچنین، فتاحی اردکانی (۱۳۷۹) در حوضه سد لثیان در ارزیابی چهار روش پهنه‌بندی بیان کرده که روش ارزش اطلاعاتی نسبت به سایر روش‌ها دارای جواب قابل قبول‌تری بوده است، که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. احمدی و همکاران (۱۳۸۱) نتایج حاصل از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی را نسبت به مدل رگرسیون چند متغیره در حوضه گرمی چای اردبیل بهتر ارزیابی نمودند. روش تراکم سطح و L NRF با توجه به نتایج ارزیابی روش‌ها، کمترین جواب قابل قبول در منطقه را ارائه نمودند که این نتیجه با تحقیقات شادفر و همکاران (۱۳۸۴) در حوضه چالکروند که بیان نمودند روش تراکم سطح در مقایسه با روش‌های ارزش اطلاعاتی و L NRF نتایج بهتری را ارائه نموده است، همخوانی ندارد. روش نسبت فراوانی نیز متوسط ارزیابی گردید. با توجه به نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها و تراکم بالای زمین لغزش‌ها در فاصله ۱۰۰-۰ متری از جاده‌ها می‌توان گفت که در بین عوامل خطی جاده، رودخانه و گسل عامل جاده سازی، بیشترین تاثیر را بر روی زمین لغزش‌های رخ داده داشته است، که این امر با تحقیقات گرایسی (۱۳۸۵) در حوضه لاجیم رود تجن و مددی (۱۳۸۵) در حوضه لیا سر رامسر مطابقت دارد.

همچنین از میان شش پارامتر دیگر مورد بررسی، عامل زمین شناسی بیشترین تاثیر را داشته است، زیرا حجم بسیار بالایی از لغزش‌ها در سازندهای پابده و گورپی که حساس به لغزش هستند، رخ داده است. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، پیشنهاد می‌گردد که با توجه به نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با روش ارزش اطلاعاتی، به عنوان بهترین مدل برای منطقه مورد مطالعه با این روش، در همه کارهای عمرانی درون حوضه اعمال مدیریت گردد. همچنین با توجه به اینکه روش ارزش اطلاعاتی برای حوضه مورد مطالعه و حوضه مورد آزمایش نتایج قابل قبولی را ارائه نمود، پیشنهاد می‌گردد برای مشخص نمودن مناطق حساس به لغزش در حوضه‌های مشابه با این

حوضه‌ها، از این مدل استفاده گردد. یکی از عوامل مهم در وقوع زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه، احداث غیر اصولی جاده‌ها بوده است. پیشنهاد می‌شود برای پیشگیری از اثرات مخرب این کار، از مهندسان مربوطه در هنگام مسیر یابی و احداث جاده‌ها استفاده گردد.

منابع:

۱. احمدی حسن، اباذر اسمعیلی عوری، سادات فیض نیا و محسن شریعت جعفری. (۱۳۸۲). «پهنه بندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP) مطالعه موردی حوضه آبخیز گرمی چای اردبیل»، **مجله منابع طبیعی ایران**، جلد ۵۶، محل نشر دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، شماره ۴، ۳۲۳-۳۳۵ صص.
۲. احمدی حسن، شیرین محمدخان، سادات فیض نیا و جمال قدوسی. (۱۳۸۴)، «ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP)». مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان»، **مجله منابع طبیعی ایران**، محل نشر دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، جلد ۵۸، شماره ۱-۳۰، ۱۴ صص.
۳. پور قاسمی مجید، حمید رضا مرادی. (۱۳۸۶). «پهنه بندی خطر زمین لغزش با روش آماری Frequency ratio در حوضه آبخیز صفا رود»، **سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک**، ۵۴۰ صص.
۴. سفید گری رضا. (۱۳۸۱). «ارزیابی روش‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز دماوند»، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری به راهنمای احمدی، حسن، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، گروه مرتع و آبخیزداری، ۱۵۹ صص.
۵. شادفر، صمد؛ علی اکبر نوروزی؛ جمال، قدوسی؛ جعفر غیومیان. (۱۳۸۴). «پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز لاکترشان»، **نشریه علمی ترویجی حفاظت آب و خاک**. محل نشر مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سال اول شماره ۱، ۱۰-۱ صص.
۶. شریعت جعفری، حسن. (۱۳۷۵). **زمین لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)** انتشارات سازه، ۱۴۸ صص.
۷. علایی طالقانی، محمود. (۱۳۸۱). **ژئومرفولوژی ایران**، چاپ اول، نشر قومس، شماره ۳۷۵، ۱۳۳۰ صص.
۸. فتاحی اردکانی، محمد علی. (۱۳۷۹). «بررسی و ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد لتیان»، **پایان نامه کارشناسی ارشد**، مرکز آموزش امام خمینی، ۱۸۱ صص.
۹. فرجی سیکبار، حبیب. (۱۳۸۴). «مکان یابی واحدهای خدمات بازرگانی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها»، **نشریه علمی پژوهشی پژوهش‌های جغرافیایی**، شماره ۵۱، محل نشر دانشگاه تهران، سال ۳۷، ۲۰۵ صص.
۱۰. فیض نیا، سادات؛ عطاءاله، کلارستانی؛ حسن احمدی؛ مهرداد صفایی. (۱۳۸۱). «بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیرین رود - سد تنجن)»، **مجله منابع طبیعی ایران**، جلد ۵۷، محل نشر، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، شماره ۱.

تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام ۱۲۷

۱۱. گرایی پرویز. اعظمی ایاد و یوب پیرانی. (۱۳۸۶). «پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش LNRF در حوضه آبخیز استان-ساری»، سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. ۵۴۰ ص.
۱۲. گرایی پرویز. (۱۳۸۵). «بررسی حرکت‌های توده‌ای به منظور ارایه مدل پهنه بندی خطر در حوضه لاجیم رود تجن»، پایان نامه کارشناسی ارشد راهنمایی کریم سلیمانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه مازندران، ۱۲۵ ص.
۱۳. مددی محسن. (۱۳۸۵). «بررسی علل وقوع زمین لغزش لیاسر(دامنه‌های مشرف به شهر رامسر)»، مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آنها. زمستان ۱۳۸۵. ۱۴۶۲-۱۴۵۴
۱۴. مهدویفر، محسن. (۱۳۷۶). «پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه خورش رستم شهرستان خلخال»، مجموعه مقالات دومین سمینار زمین لغزه و کاهش خسارت‌های آن، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، جلد اول ۱۴۸ ص.

15. Ayalew, L. Yamagishi, H. 2005. The Application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko mountains, central Japan. *Geomorphology* 65:15-31pp.
16. 15-Gupta, R.P. and B.C. Joshi. 1990. Landslide hazard zoning using the GIS approach- A case study from the Ramganga catchment, Himalayas. *Engineering Geology*, 28(1): 119-131.
17. Komac, M. 2006. A landslide suscepility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia. *Geomorphology* 24:17-28.
- 18- Lee, S. 2006. application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology* 52:615-623.
19. Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *CATENA*, Volume 72 Pages 1-12.
20. zhang fanyu liu. 2007. Study on Landslide Susceptibility Mapping Based GIS and with Bivariate Statistics a Case Study in Longnan Area Highway 212. Science paper online.

