فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ۷ (۱۳۹۰)، شماره ٤: ۳۳۲-۳۱۹
www.appliedgeology.ir

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

حاجی کریمی[۱]، فتح‌اله نادری*[۲]، ابراهیم مرشدی[۳] و مهدی نیک‌سرشت[۲]

۱) دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
۲) کارشناس ارشد گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور ایلام، naderigeo@yahoo.com
۳) کارشناس مسئول حفظ نباتات، سازمان جهاد کشاورزی ایلام
*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۰/٤/٦؛ دریافت اصلاح شده: ۹۰/۱۰/۱۸؛ پذیرش: ۹۰/۱۰/۱۰؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۱/۳۱

چکیده

در این تحقیق با استفاده از منابع و تحقیقات مختلف ابتدا کلیه عوامل مؤثر بر زمین لغزش استخراج و سپس با کنترل این عوامل در منطقه عوامل نُه‌گانه شامل شیب، 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. بعد از تهیه این عوامل در سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی نقشه پراکنش زمین لغزش حوضه تهیه گردید. سپس پهنه‌بندی با چهار روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی (Gupta & Joshi) انجام گرفت. در پایان برای ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی، وزن‌های به دست آمده برای حوضه آبخیز مجاور (حوضه آبخیز زنگوان) که از بسیاری لحاظ مشابه حوضه آبخیز چرداول می باشد، به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد که روش ارزش اطلاعاتی نسبت به سایر روش‌ها در تفکیک کلاسه‌های خطر نتایج بهتری دارد. بنابراین این روش به عنوان روش نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: ارزش اطلاعاتی، گسل، شیب، شبکه زهکشی، کاربری اراضی.

۱-مقدمه

زمین لغزش، پدیده ای است که به عوامل محیطی مختلف بستگی دارد و سالانه خسارات فراوانی را از نظر جانی، مالی و منابع طبیعی در پی داشته است (شریعت‌جعفری ۱۳۷۵). با استفاده از نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، می توان مناطق حساس به زمین لغزش را شناسایی و در مورد برنامه‌های مورد نظر تصمیم گیری نمود (احمدی و همکاران ۱۳۸٤). در سالهای اخیر، مطالعات گسترده ای در رابطه با زمین لغزش‌ها صورت گرفته است. دهه ۱۹۹۰، توسط سازمان یونسکو به عنوان دهه مقابله با بلایای طبیعی معرفی گردید (کلارستاقی ۱۳۸۱). به مناسبت این دهه مراکز مختلف تحقیقاتی و دانشگاهی، فعالیت‌هایی را در زمینه شناخت لغزش‌ها به عنوان یکی از بلایای طبیعی به انجام رساندند (سفیدگری ۱۳۸۱). سرزمین ایران با توپوگرافی نسبتاً کوهستانی، فعالیت زمین ساختی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی عمده، شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی

Archive of SID
www.SID.ir

از زمین لغزش‌ها فراهم نموده است. در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل‌های تجربی، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل و یا بالقوه خطر از هیچ تا بسیار زیاد تقسیم می کنند. این فرایند که بر مبنای شناخت ویژگی‌های طبیعی و مدل سازی کمّی بر پایه داده‌های ناحیه مورد مطالعه صورت می گیرد، می تواند مبنایی برای اقدامات بعدی و برنامه ریزی‌های آتی توسعه و عمران در مقیاس منطقه ای، ناحیه ای و محلی محسوب گردد (رامشت ۱۳۷۵). تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج کشور در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش انجام گرفته است که از مهمترین این مطالعات می توان مطالعات زیر را نام برد؛ سیارپور (۱۳۷۸) از چهار روش مورا و وارسون، روش حائری، روش ارزش اطلاعاتی و اصلاح شده حائری، برای پهنه‌بندی منطقه کلور واقع درجنوب خلخال استفاده کرد و کارایی هر یک از روش‌ها را بر اساس زوج مرتب مقدار خطر و درصد سطح لغزش یافته مورد ارزیابی قرار داد. و وی نتیجه گرفت که دو روش ارزش اطلاعاتی و اصلاح شده حائری در تفکیک کلیه رده‌های خطر از یکدیگر به نحو بسیار مناسبی عمل نموده‌اند. سفیدگری (۱۳۸۱) در حوضه آبخیز دماوند، هشت روش را برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مورد ارزیابی قرار داده و در نهایت به این نتیجه رسید که روشهای آماری ارزش اطلاعاتی و رگرسیون چند متغیره، نتایج قابل قبول و رضایت بخشی را ارائه می نمایند. کلارستاقی(۱۳۸۱) جهت بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز شیرین رود تجن، چهار روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، شاخص همپوشانی و روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (Analytic Hierarchy Process) را در محیط GIS مطالعه نمود و به این نتیجه رسید مناطقی که در آنها تغییرات زیاد کاربری زمین صورت گرفته جزء مناطق پر خطر محسوب می گردند. شادفر و همکاران (۱۳۸٤) حوضه آبخیز لاکتراشان در شهرستان تنکابن استان مازندران را از نظر حساسیت به وقوع زمین لغزش پهنه‌بندی کرده و بیان نمودند در کل مساحت حوضه که حدود ۵۲۵/۷ هکتار است، حدود ٤٦/۷۵ هکتار آن جزو مناطق ناپایدار می باشد. براب و همکاران (Brabb et al. 1972) در اولین کار تجزیه و تحلیل پایداری شیب در استان سن متو در کالیفرنیا از نقشه پراکنش زمین لغزش برای ارزش دهی به عواملی مانند زمین‌شناسی و شیب استفاده نمودند و پهنه‌بندی را به طور کیفی انجام دادند.

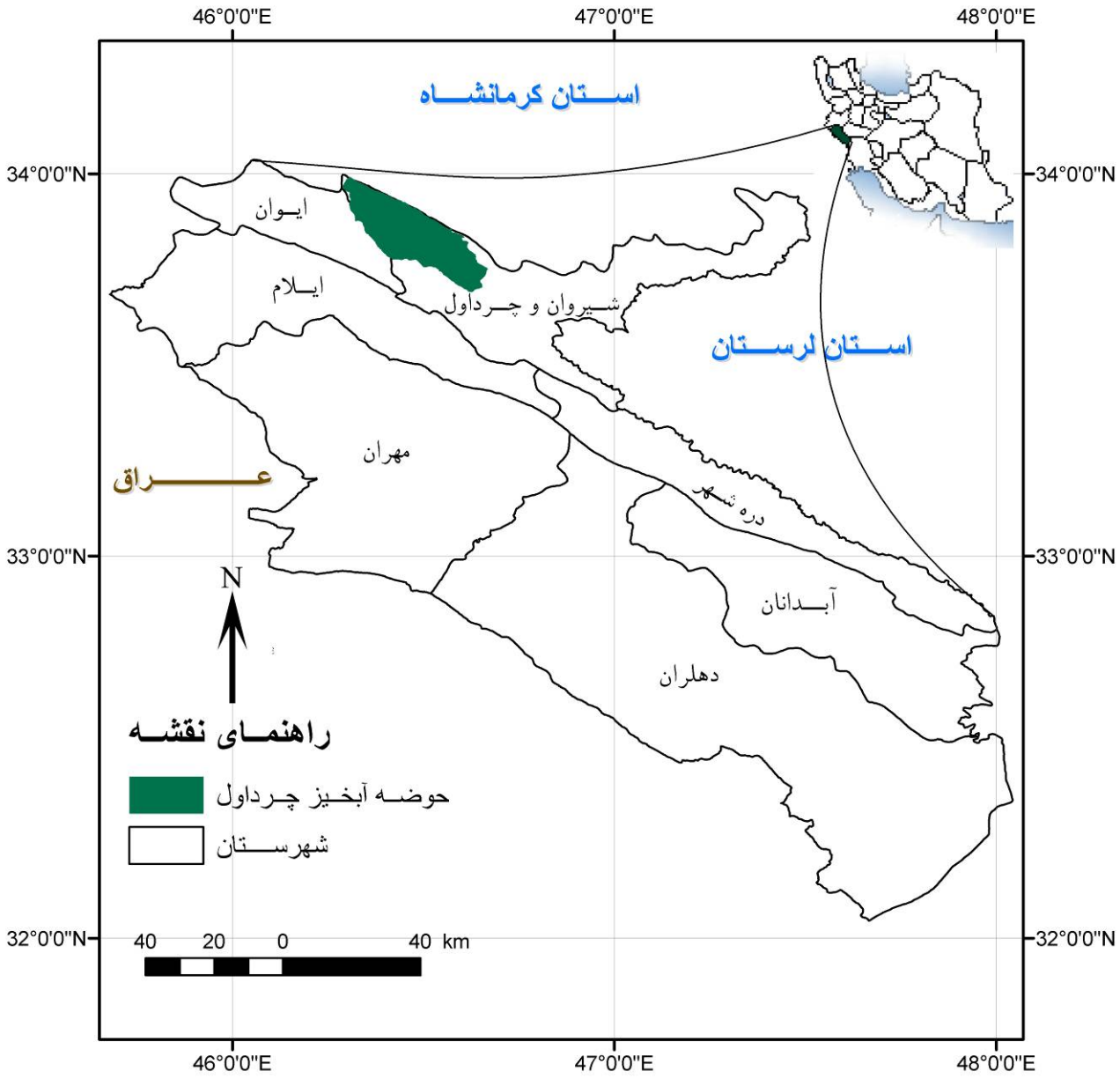
پاچا اوری و پنت (Pachauri & Pant 1992) حوضه آگلار در هیمالیا را به روش وزن دهی بر اساس میزان رابطه متقابل بین زمین لغزش‌ها و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی نمودند و رابطه مثبتی بین وقوع زمین لغزش‌ها و میزان رسوب به دست آوردند. کولار و همکاران (Khullar et al. 2000) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تلفیق نرخ شیب و نرخ سطح زمین لغزش، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ناحیه میزوران در شمال هند را تهیه نموده و بیان کردند که نقشه تهیه شده با زمین لغزش‌های موجود مطابقت دارد. کماک (Komac 2006) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها و روش آماری چند متغیره در اسلونی تهیه نمود. از نظر وی روش AHP، نسبت به روش رگرسیون چند متغیره خیلی بهتر ارزیابی شد. در تحقیق کماک (Komac 2006) مناطقی که از نظر حساسیت زمین لغزش بالا هستند ارتباط نزدیکی با توزیع جاده‌ها دارند. فانیولیو (Fanyu liu 2007) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای منطقه لانگنن در استان گانسو چین تهیه کرد. نتایج نشان داد که روش ارزش اطلاعاتی، مکان‌های با زمین لغزش فعال را بهتر نشان می دهد. یلسین (Yalcin 2008) نقشه حساسیت زمین لغزش را در حوضه آردیس ترکیه با سه روش تحلیل سلسله مراتبی سیستمها (AHP)، فاکتور وزنی (Wf) و شاخص آماری (Wi) تهیه نمود و برای ارزیابی، از سه نقشه پهنه‌بندی تهیه شده از زمین لغزشهای فعال منطقه استفاده کرد. نتایج نشان داد که ۸۱/۳ درصد لغزش‌های فعال در پهنه‌های با خطر بالا و خیلی بالا (با روش AHP تهیه گردیده) و ٦۲/۵ درصد لغزش‌های فعال در روش شاخص آماری (Wi) و ٦۸/۸ درصد با روش فاکتور وزنی(Wf) رخ داده اند. بنابراین روش AHP، مناطق دارای فعالیت زمین لغزشی را نسبت به دو روش دیگر در حوضه مورد مطالعه بهتر نشان می دهد (Yalcin 2008). بررسی این پدیده، جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری حائز اهمیت بوده و از سوی دیگر جهت شناسایی مکان‌هایی امن برای توسعه زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های انسانی نظیر راه ها، مسیر انتقال نیرو و انرژی، نیروگاه‌ها و ... در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد. هدف اصلی از انجام این تحقیق، انتخاب مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با پنج روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی جهت استفاده برنامه‌های آمایش سرزمین در حوضه آبخیز چرداول ایلام می باشد.

۲- ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز چرداول، در ۳۰ کیلومتری شمال شهر ایلام قرار داشته و از لحاظ تقسیمات سیاسی جزء شهرستان شیروان و چرداول

Archive of SID
www.SID.ir

محسوب می‌شود. این حوضه از لحاظ مختصات جغرافیایی، در محدوده ی " ١٦ ١٧َ ° ٤٦ - "١١ ٤٠َ ٤٦° طول شرقی و "٢٥ ٤١َ ٣٣° - "٣٢ ٥٩' ٣٣° عرض شمالی واقع شده است. مساحت کل حوضه در حدود ٤٦٤ کیلومتر مربع می باشد. متوسط بارندگی سالانه در حوضه مورد مطالعه، ٥٨٢/٥ میلیمتر و میانگین دمای سالانه ١٦/٤ درجه سانتی‌گراد می باشد (نادری ١٣٨٧). بیشترین لغزش‌های رخ داده بر روی سازندهای حساس بختیاری و نهشه‌های کواترنری متمرکز گردیده‌اند. تصویر ١ موقعیت حوضه آبخیز چرداول را در استان ایلام و ایران نشان می‌دهد.



تصویر ١- موقعیت حوضه آبخیز چرداول در کشور، استان و شهرستان

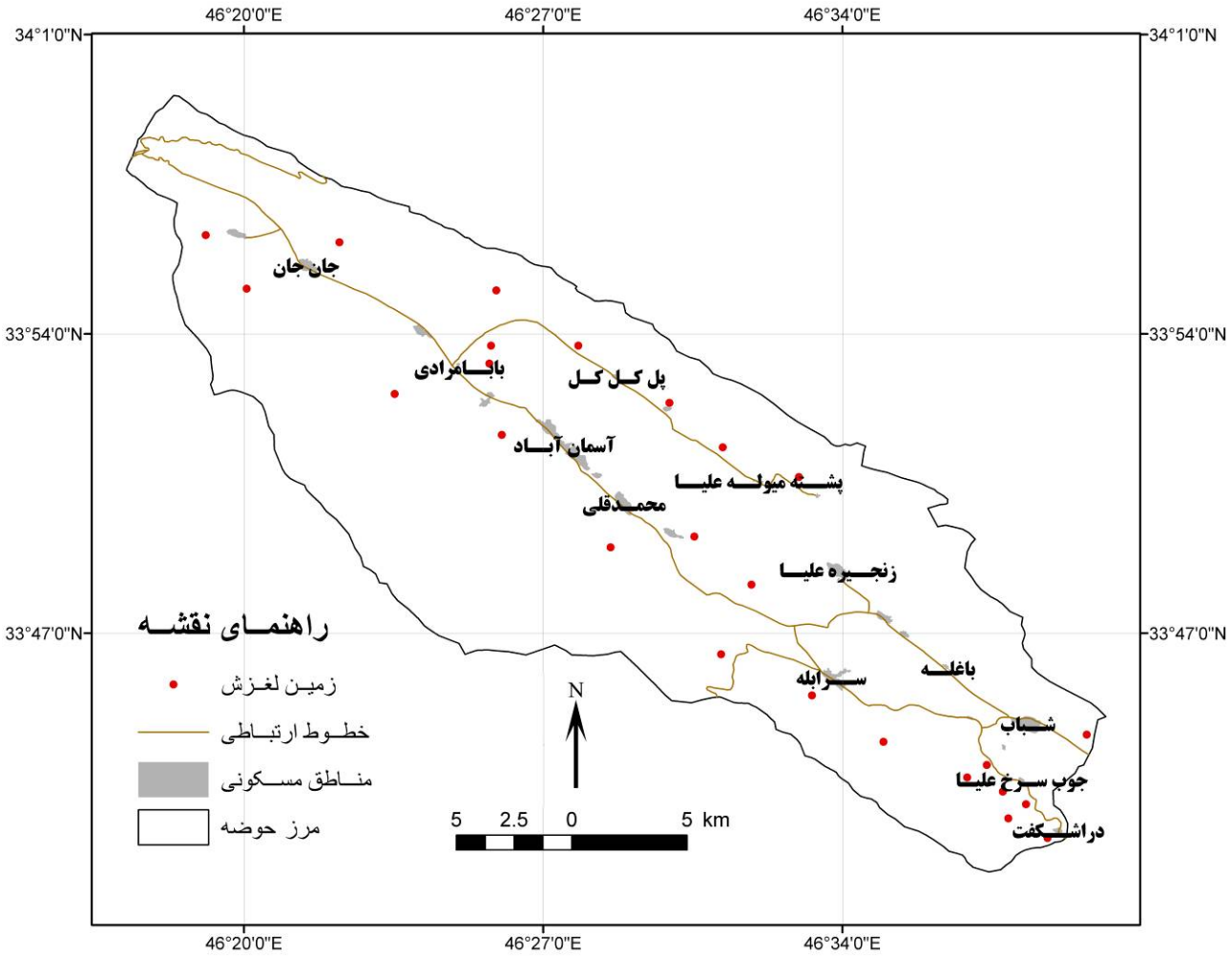
٣-روش تحقیق

٣-١-پراکنش زمین لغزش‌ها

حوضه آبخیز چرداول، از نظر زمین لغزش پتانسیل بالایی داشته و زمین لغزش‌های زیادی در آن به وقوع پیوسته است. جهت به نقشه در آوردن زمین لغزش رخ داده در حوضه مورد مطالعه، عکس‌های هوایی منطقه به روش استریوسکوپی تفسیر و مناطق مشکوک به لغزش تعیین گردید. سپس با بررسی‌های صحرایی و استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی جی‌پی‌اس (Global Positioning System, GPS) با دقت

www.SID.ir

بسیار بالا موقعیت دقیق زمین لغزش‌ها شناسایی شد و در نهایت ۲۸ زمین لغزش در منطقه ثبت گردید (تصویر ۲). با توجه به نتایج به دست آمده از پرسشنامه‌های تهیه شده توسط معاونت آبخیزداری استان ایلام و با استفاده از تجربیات افراد بومی منطقه نُه عامل شیب، جهت، ارتفاع، سنگ شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از شبکه هیدروگرافی به عنوان عوامل موثر اولیه تشخیص داده شدند. سپس در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای هر کدام از عوامل نُه‌گانه یک لایه اطلاعاتی تهیه گردید.



تصویر ۲- نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در حوضه آبخیز چرداول

۳-۲- روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

۳-۲-۱- روش ارزش اطلاعاتی

در روش ارزش اطلاعاتی (Information value) وزن هر کلاس از عوامل مؤثر از رابطه (۱) به دست می آید (حق‌شناس ۱۳۷٤).

$$WINF = LN\left(\frac{\frac{A}{B}}{\frac{C}{D}}\right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن WINF وزن مربوط به هر کلاس از عامل، A تعداد زمین لغزش در هر کلاس از عامل، B مساحت هر کلاس به کیلومتر مربع، C تعداد کل زمین لغزش‌های حوضه و D مساحت کل حوضه به کیلومتر مربع است. پس از تعیین وزن مربوط به هر کلاس از عوامل مؤثر، با روی هم انداختن و جمع ارزش عوامل مختلف، نقشه پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعاتی در سیستم اطلاعات جغرافیایی در طبقه تهیه می گردد.

۳-۲-۲- روش تراکم سطح

در روش تراکم سطح (Valuing area accumulation)، وزن مربوط به هر یک از کلاسه‌های عوامل مختلف از رابطه (۲) به دست می آید (حق‌شناس ۱۳۷٤).

$$Wa = 1000\left(\frac{A}{B}\right) - 1000\left(\frac{C}{D}\right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

www.SID.ir

در این رابطه Wa؛ وزن مربوط به هر کلاس از عوامل، A؛ تعداد زمین لغزش در هر کلاس، B؛ مساحت هر کلاس به کیلومتر مربع، C؛ تعداد کل زمین لغزش‌های حوضه و D؛ مساحت کل حوضه به کیلو متر مربع است. در این روش نیز بعد از تهیه نرخهای مربوط به کلاسه‌های عوامل مختلف، نقشه پهنه‌بندی با جمع بستن ارزش پیکسل‌های عوامل مختلف و طبقه‌بندی آن در سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه می گردد.

۳-۲-۳- روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها

روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (Analytical Hierarchy Process)، برای اولین بار توسط ساعتی (Saaty 1980) ارائه شد که بر پایه مقایسه زوجی عوامل مختلف استوار است. در این روش ابتدا به منظور تعیین اهمیت عوامل مختلف و تبدیل آنها به مقادیر کمّی، از قضاوتهای شفاهی (نظر کارشناسی) استفاده می‌شود (جدول ۱). نتیجه این مقایسات به صورت یک ماتریس در می آید.

جدول ۱- نحوه قضاوت شفاهی در روش تحلیل سلسله مراتبی

ترجیحات (قضاوت شفاهی)	مقدار عدد
کاملا مطلوب تر	۹
مطلوب خیلی قوی	۷
مطلوب قوی	۵
کمی مطلوب تر	۳
کمی مهمتر	۱
ترجیحات بین فواصل	۲،٤،٦،٨

در این روش محدوده اعداد کمی در ماتریس بین ۱ تا ۹ می باشد. پس از تشکیل ماتریس مورد نظر، برای تک تک عوامل جمع هر ستون در زیر آن نوشته می‌شود (جدول ۷). سپس برای محاسبه وزن هر عامل، مقادیر هر عنصر از ماتریس را به جمع کل ستون‌های همان لایه تقسیم کرده و در جدول دیگری نوشته می‌شود (جدول ۸). در این جدول، از اعداد موجود در هر کدام از سطرها میانگین گرفته و این عدد به عنوان وزن هر لایه در نظر گرفته می‌شود. پس از تعیین وزن هر لایه، نرخ هر کدام از کلاسه‌های عوامل مختلف (a) مشخص می‌شود (جدول ۹). برای انجام این عمل نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها را بر روی لایه‌های مختلف انداخته و درصد سطح لغزش یافته در هر کلاس محاسبه می‌شود و با در نظر گرفتن امتیاز ۱۰۰ برای طبقه ای که بیشترین درصد سطح لغزش یافته را دارا می‌باشد، برای سایر کلاسه‌ها متناسب با آن ارزش‌های متفاوتی داده می‌شود (فرجی سبکبار ۱۳۸٤).

بعد از امتیاز دهی به کلاسه‌های عوامل منطقه مورد مطالعه (a) مقادیر امتیازهای مربوط به عوامل در نظر گرفته شده را در ضریب وزنی به دست آمده (x) ضرب کرده و آنها را بر اساس رابطه (۳) با هم جمع می کنیم (فتاحی‌اردکانی ۱۳۷۹).

$$M = \alpha_1\chi_1 + \alpha_2\chi_2 + \alpha_3\chi_3 + \alpha_4\chi_4 + \dots \qquad \text{رابطه (۳)}$$

که درآن M؛ عامل حساسیت، فاکتور X؛ مربوط به عوامل مختلف و a؛ مربوط به مقادیر وزنی هر کدام از طبقات لایه‌های مختلف می‌باشد. بعد از آن که مدل به دست آمد، نقشه نهایی پهنه‌بندی بر اساس آن تهیه گردید و در نهایت برای تفکیک مقادیر M به کلاسه‌های مختلف حساسیت به ٤ قسمت مساوی تقسیم‌بندی گردید (جدول ۲).

جدول ۲-کلاسه بندی خطر زمین لغزش در روش تحلیل سلسله مراتبی

کلاس درجه بندی (M)	امتیاز	مقدار خطر
۱	۰-۲۵	خیلی کم خطر
۲	۲۵-۵۰	خطر کم
۳	۵۰-۷۵	خطر متوسط
٤	۷۵-۱۰۰	خطر زیاد

۳-۲-۴- روش گوپتا و جوشی

در روش گوپتا و جوشی (Landslide Nominal Risk Factor) برای بدست آوردن نرخ هر کلاس از عوامل مختلف از رابطه (٤) استفاده می گردد (Gupta & Joshi 1990).

رابطه (٤):

میانگین زمین لغزش در کل حوضه÷ تعداد زمین لغزش در هر طبقه =LNRF

که با توجه به رابطه (٤) برای هر یک از طبقات عوامل مختلف وزن آنها دست می آید (جدول۳).

جدول ۳- وزن مربوط به مقدار گوپتا و جوشی

مقدار LNRF	LNRF <1	۱< LNRF <2	LNRF >2
وزن (Weight)	0	1	2

بعد از پیدا کردن وزن مربوط به هر عامل با جمع کردن نقشه وزن‌های عوامل مختلف و کلاسه‌بندی آن در سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمد.

Archive of SID

www.SID.ir

۴- نتایج

بعد از تهیه عوامل مختلف دخیل در وقوع زمین لغزش‌های حوضه آبخیز چرداول این لایه‌ها کلاسه بندی گردید و هر کدام از کلاسه‌های آنها با کدهای نمایش داده شدند (جدول ٤). سپس با پنج روش ذکر شده نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه گردید.

۴-۱- پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعاتی

در روش ارزش اطلاعاتی نرخ مربوط به هر کلاس از عوامل از رابطه (۱) به دست می آید. نتایج مربوط به نرخ کلاسه‌های عوامل مختلف در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ٤- کد کلاسه‌های عوامل مختلف و مؤثر در زمین لغزش

عامل/ کلاس	۱	۲	۳	٤	۵
زمین‌شناسی	آبرفتهای کواترنری	بختیاری	گچساران	آغاجاری	آسماری
شیب	۰-٦	٦-۱٦	۱٦-۳۲	۳۲<	-
جاده	۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰<	-
کاربری	مرتع	جنگل	دیم	آبی	-
بارش	۰-۵۱۰	۵۱۰-۵۳۰	۵۳۰-۵۵۰	۵۵۰-۵۷۰	-
گسل	۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰<	-
ارتفاع (متر)	۹۲۰-۱۲۰۰	۱۲۰۰-۱٤۰۰	۱٤۰۰-۱٦۰۰	۱٦۰۰-۱۸۰۰	۱۸۰۰-۲۲۰۰
جهت دامنه	مسطح	شرق	غرب	جنوب	شمال
رودخانه	۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰<	-

جدول ۵- نرخ کلاسه‌های عوامل زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی

عامل/ کلاس	۱	۲	۳	٤	۵
زمین‌شناسی	۰/۹۹	۰/۹٤	٤/۲٦	۰/۵٦	۲/٤۵
شیب	۰/٦۸	۰/۷۸	۰/۹	۰/۹٤	-
جاده	۲/۰۱	۱/۸	۰/٦۱	۰/٤	-
کاربری	۰/۵۲	۰/۲۱	۱/٤۵	۰/۷۲	-
بارش	۰/۲۷	۱/۲٦	۱/۷۲	۱	-
گسل	۰/۵٤	۰/٦	۱/۱۸	-	-
ارتفاع (متر)	۱/۳	۳/۳	۱/٤	۰/۲	۰/۳
جهت دامنه	۰/۱۸	۱/۱۷	۱/۵	۲/۸٦	۲/٤۱
رودخانه	۲/۸	۱/۷	۱/۲	۰/۵	-

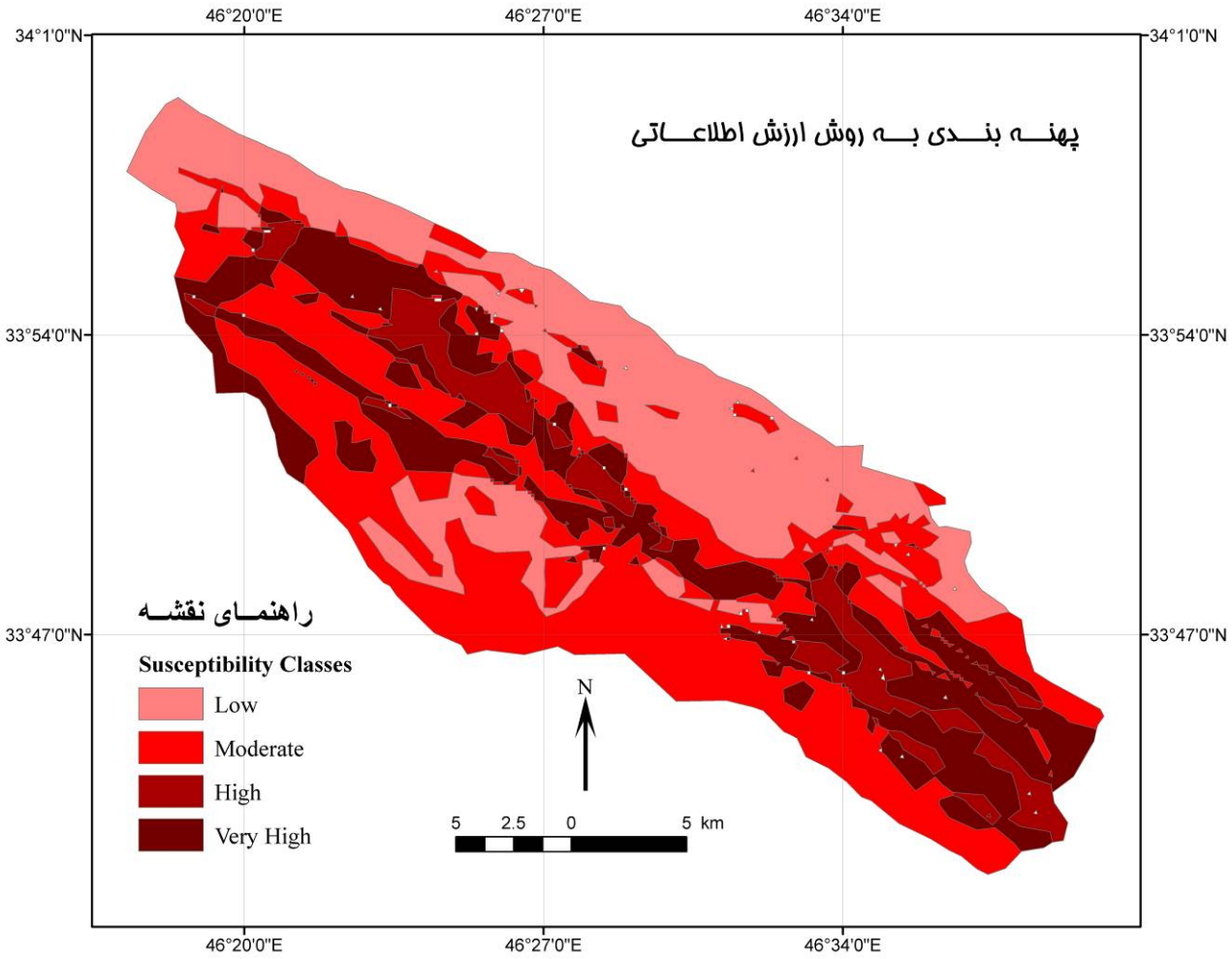
سپس بر اساس نرخ‌های به دست آمده از جدول (۲)، لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده و با روی هم اندازی و جمع کردن ارزش پیکسل‌ها برای عوامل مختلف، نقشه نهایی به دست می آید (یمانی ۱۳۸٤). برای کلاسه بندی، آن را به چهار قسمت مساوی تقسیم کرده و به این ترتیب نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی به دست آمد (تصویر ۳).

۴-۲- پهنه‌بندی به روش تراکم سطح

نرخ مربوط به هر یک از کلاسه‌های عوامل مختلف در این روش از رابطه (۲) به دست می آید و در جدول ٦ آورده شده است. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی در روش تراکم سطح مانند روش ارزش اطلاعاتی عمل می‌شود (تصویر ٤).

Archive of SID

www.SID.ir

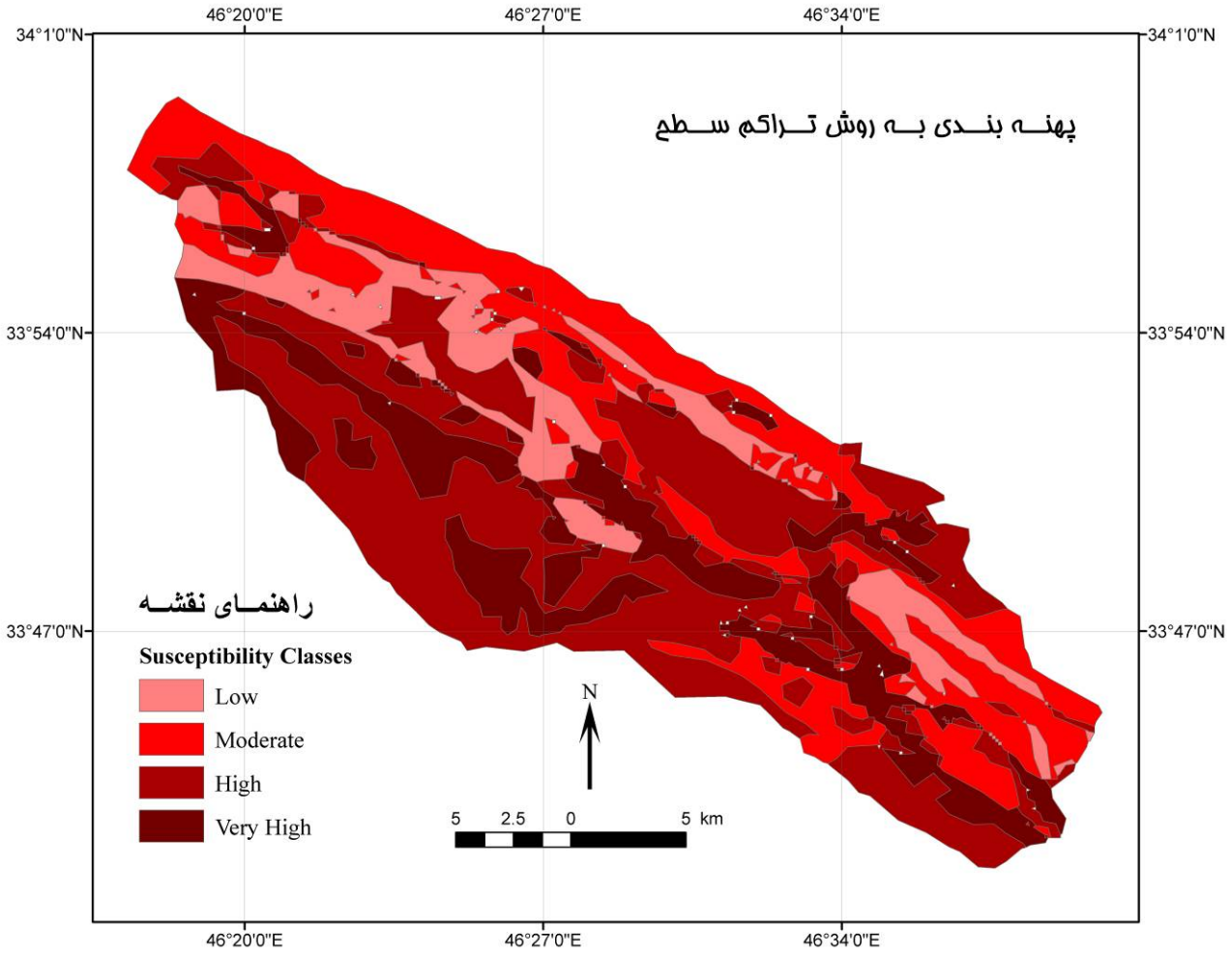


تصویر ۳-نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی

جدول ٦- نرخ کلاسه‌های عوامل وقوع زمین لغزش به روش تراکم سطح

عامل/ کلاس	۱	۲	۳	٤	٥
زمین‌شناسی	۳۲/٤	۱۳/۷	٤/۱	-۱/۳	-۸/۹
شیب	٤/۱۲	۱۳/٤	۱٥/۲	٦/٥	-
جاده	۹/٦	٥/۷	-۱٤/۱۱	-٤٦/٤۲	-
کاربری	٤/۷	-۱٥/٥	۱٤/٦۳	-۹٦/۰۱	-
بارش	-۱٦/۲	-٦/۳	۱/۲٥	۱۲	-
گسل	۳/۱۲	-۱٤/٤	-۲۹/۲	-	-
ارتفاع (متر)	٤/۰٥	۷/٦	۲٥	۹/۱۲	-۹/۱
جهت دامنه	-٦٥/۸	-۲/۲	٤/۲۳	۹/۲	-۲۳/۷
رودخانه	۷/٥	۲/٤	-۳/۱	-۱۲/٦	-

www.SID.ir



تصویر ٤- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش تراکم سطح

۴-۳- پهنه‌بندی به روش تحلیل سلسله مراتبی

در مرحله اول نتایج حاصل از مقایسات زوجی بین هر جفت از عوامل آورده می‌شود (جدول ۷) و در مرحله دوم اعداد موجود در هر ستون بر عدد مجموع آن ستون تقسیم می‌شود و سپس از اعداد موجود در هر کدام از ردیف‌ها میانگین گرفته و این عدد به عنوان وزن نهایی هر عامل در نظر گرفته می‌شود (جدول ۸).

جدول ۷- مقایسه زوجی عوامل در روش تحلیل سلسله مراتبی(مرحله اول)

عامل	زمین‌شناسی	شیب	ارتفاع	کاربری اراضی	بارش	جهت دامنه	فاصله جاده	فاصله رودخانه	فاصله گسل
زمین‌شناسی	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۷	۸
شیب	۰/٥	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸
ارتفاع	۰/۳۳	۰/٥	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷
کاربری	۰/۲٥	۰/۳۳	۰/٥	۱	۲	۳	٤	٥	٦
بارش	۰/۲	۰/۲٥	۰/۳۳	۰/٥	۱	۲	۳	٤	٥
جهت	۰/۱٦	۰/۲۰	۰/۲٥	۰/۳۳	۰/٥	۱	۲	۳	٤
جاده	۰/۱٤	۰/۱٦	۰/۲	۰/۲٥	۰/۳۳	۰/٥	۱	۲	۳
رودخانه	۰/۱٤	۰/۱٤	۰/۱٦	۰/۲	۰/۲٥	۰/۳۳	۰/٥	۱	۲
گسل	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱٤	۰/۱٦	۰/۲	۰/۲٥	۰/۳۳	۰/٥	۱
مجموع	۲/۸٤	٤/۷	۷/٥۸	۱۱/٤٤	۱٦/۲۸	۲۲/۰۸	۲۷/۸۳	۳٥/٥	٤٤

Archive
www.SID.ir

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

عامل	زمین‌شناسی	شیب	ارتفاع	کاربری اراضی	بارش	جهت دامنه	فاصله جاده	فاصله رودخانه	فاصله گسل	متوسط سطر
زمین شناسی	۰/٤۰	۰/٤۳	۰/٤۰	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۲٤	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۳۱
شیب	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲٦	۰/۲٦	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۲۲
ارتفاع	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱٦	۰/۱٦
کاربری	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱٤	۰/۱٤	۰/۱٤	۰/۱٤	۰/۱۱
بارش	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰٤	۰/۰٤	۰/۰٦	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۸
جهت	۰/۰٦	۰/۰٤	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۵
جاده	۰/۰٦	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰٦	۰/۰۷	۰/۰٤
رودخانه	۰/۰٦	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳
گسل	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲

وزن معیارهای نُه گانه زمین‌شناسی، شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، بارندگی، جهت دامنه، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل به ترتیب ۰/۳۱، ۰/۲۲، ۰/۱٦، ۰/۱۱، ۰/۰۸، ۰/۰۵، ۰/۰٤، ۰/۰۳ و ۰/۰۲ است. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که اثر زمین‌شناسی در منطقه از بقیه عوامل بیشتر بوده و بعد از آن به ترتیب شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، بارندگی، جهت دامنه، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل در اولویت‌های بعدی قرار دارند (جدول ۸). در مرحله بعد، لایه‌های اطلاعاتی نُه‌گانه با نقشه زمین لغزش حوضه آبخیز چرداول روی هم انداخته شدند و مساحت هر کدام از واحد ها، درصد آنها نسبت به مساحت کل معیار مورد نظر به دست آمد. به عنوان مثال اگر ۵۰ درصد از زمین لغزش‌های حوضه در فاصله ۰-۵۰۰ متری از رودخانه اتفاق افتاده اند، این طبقه دارای بالا ترین درصد وقوع زمین لغزش است. اثرگذاری این رده را در اشل ۰ تا ۱۰۰ عدد۱۰۰ قرار داده و سپس مقدار اثرگذاری سایر رده‌ها بر حسب درصد محاسبه شده و اشل تعریفی سنجیده می‌شود. برای سایر طبقه‌ها (۵۰۰-۱۰۰، ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ و ۱۵۰۰ به بالا که درصد وقوع زمین لغزش آنها (۲۲/۲، ۱٤/۸ و ۱۳) بوده باشد، به ترتیب اعداد آنها در اشل تعریف شده ٤٤/٤، ۲۹/٦ و ۲٦ خواهد بود.

به همین ترتیب اثرگذاری سایر معیارها برای سنجش شاخص‌های نُه گانه به دست می آید (جدول ۹ و ۱۰). بعد از انجام عملیات بالا نقشه نهایی پهنه‌بندی بر اساس رابطه (۵) تهیه می گردد.

رابطه (۵):

Final=زمین‌شناسی ×۰/۳۱ + شیب ×۰/۲۲ + ارتفاع ×۰/۱٦+...

در نهایت نقشه به دست آمده همانند روش‌های قبلی به ٤ طبقه مساوی تقسیم کرده و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمد (تصویر ۵).

جدول ۹- درصد زمین لغزش اتفاق افتاده در هر یک از کلاسه‌ها

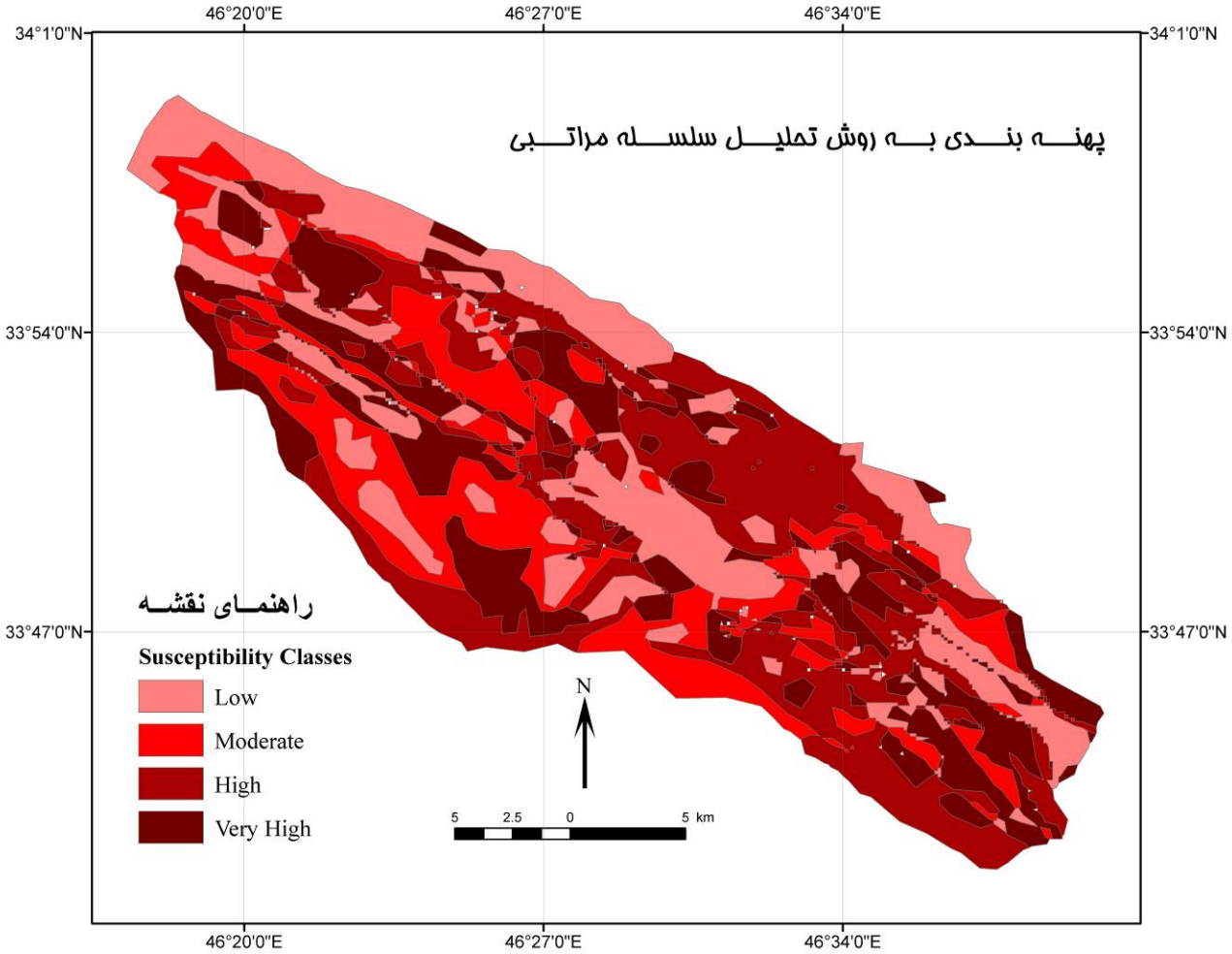
عامل / کلاس	۱	۲	۳	٤	۵
زمین‌شناسی	۲۰/٤	۷/٤	۱۱/۱	۹/۳	۳/۷
شیب	۷/٤	۲٤/۱	۱٤/۸	۵/٦	-
ارتفاع	۱٤/۸	۱۱/۱	۱٦/۷	۳/۷	۵/٦
کاربری	۱٤/۸	۳/۷	۲۵/۹	۷/٤	-
بارندگی	۱٤/۸	۳/۷	۱۳	۲۰/٤	-
جهت	۳/۷	۱٤/۸	۷/٤	۱٤/۸	۱۱/۱
جاده	۲٤/۱	۱٦/۷	۷/٤	۳/۷	-
رودخانه	۲۸/۳	۱۷/٤	۱۰/۹	۳/۷	-
گسل	۲۷/۸	۲۰/٤	۳/۷	-	-

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱۰- نرخ کلاسه عوامل زمین لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی

عامل / کلاس	۱	۲	۳	٤	٥
زمین‌شناسی	۱۰۰	۳٦/۳	٥٤/٤	٤٥/۱	۱۳/۲
شیب	۳۰/۷	۱۰۰	٦۱/٤	۲۳/۲	–
ارتفاع	۸۸/٦	٦٦/٥	۱۰۰	۱٦/۲	۳۳/٥
کاربری	٥۷/۱	۱۰/٤	۱۰۰	۲۸/٦	–
بارندگی	۷۲/٥	۲٦	٥۸/۸	۱۰۰	–
جهت	۱۸/۲	۱۰۰	٥۰	۱۰۰	۷٥
جاده	۱۰۰	٦۹/۳	۳۰/۷	۱۱/۲	–
رودخانه	۱۰۰	٦۱/۷	۳۸/۷	۱٤/۹	–
گسل	۱۰۰	۷۳/٤	۹/۷	–	–



تصویر ٥- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی

۴-۴- پهنه‌بندی به روش گوپتا و جوشی

نرخ هر کدام از عوامل مختلف در این روش در جدول ۱۱ آورده شده است. بر اساس نرخ‌های بدست آمده وزن هر کدام از عوامل بدست آمد (جدول ۱۲). بعد از تعیین وزن عوامل در سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش گوپتا و جوشی تهیه گردید (تصویر ٦).

www.SID.ir

۵- ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های پهنه‌بندی از حوضه آبخیز زنگوان در محدوده مختصاتی ″۱۴ ′۳۶ °۳۳ تا ″۴۰ ′۴۷ °۳۳ عرض شمالی و ″۵۲ ′۲۵ °۴۶ تا ″۲۱ ′۴۳ °۴۷ طول شرقی در جنوب غرب حوزه آبخیز چرداول با مساحتی حدود ۲۴۲ کیلومتر مربع که از نظر خصوصیات اقلیمی، سنگ شناسی، کاربری اراضی و ... مشابه حوضه مورد مطالعه است، به عنوان منطقه آزمایش مدل‌های پنجگانه استفاده گردید. به این صورت که ابتدا نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه آبخیز زنگوان با انجام بازدیدهای صحرایی تهیه و رقومی گردید. سپس نقشه عوامل موثر نهایی که برای حوضه آبخیز چرداول تهیه گردیده بود، به همان روش برای حوضه آبخیز زنگوان نیز تهیه گردید. سپس وزن‌های به دست آمده از پنج روش بالا در حوضه آبخیز چرداول بر روی نقشه‌های حوضه آبخیز زنگوان اعمال گردید و کلاس‌های حساسیت مشابه حوضه آبخیز چرداول تعریف گردید و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز زنگوان به دست آمد. در پایان نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها و نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده در حوضه آبخیز زنگوان روی هم انداخته شدند و تعداد لغزش در هر یک از کلاسه‌های حساسیت محاسبه گردید. مدلی کارآمدتر است که تعداد بیشتری زمین لغزش در کلاسه‌های با خطر بالا اتفاق افتاده باشد. در روش ارزش اطلاعاتی ۷۵ درصد لغزش‌های رخ داده در کلاسه‌های خطر زیاد و بسیار زیاد اتفاق افتاده اند و در روش تراکم سطح ۵۰ درصد لغزش‌ها در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد اتفاق افتاده اند (جدول ۱۳ و تصویر۷). بنابراین از بین پنج روش مورد استفاده به ترتیب مدلهای ارزش اطلاعاتی و تراکم به دلیل توانایی در تفکیک کلاسه‌های خطر و انطباق زمین لغزش‌ها با پهنه‌های خطر مناسب ترین روش‌ها برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول تشخیص داده شده اند.

جدول ۱۱- نرخ عوامل مختلف در روش گوپتا و جوشی

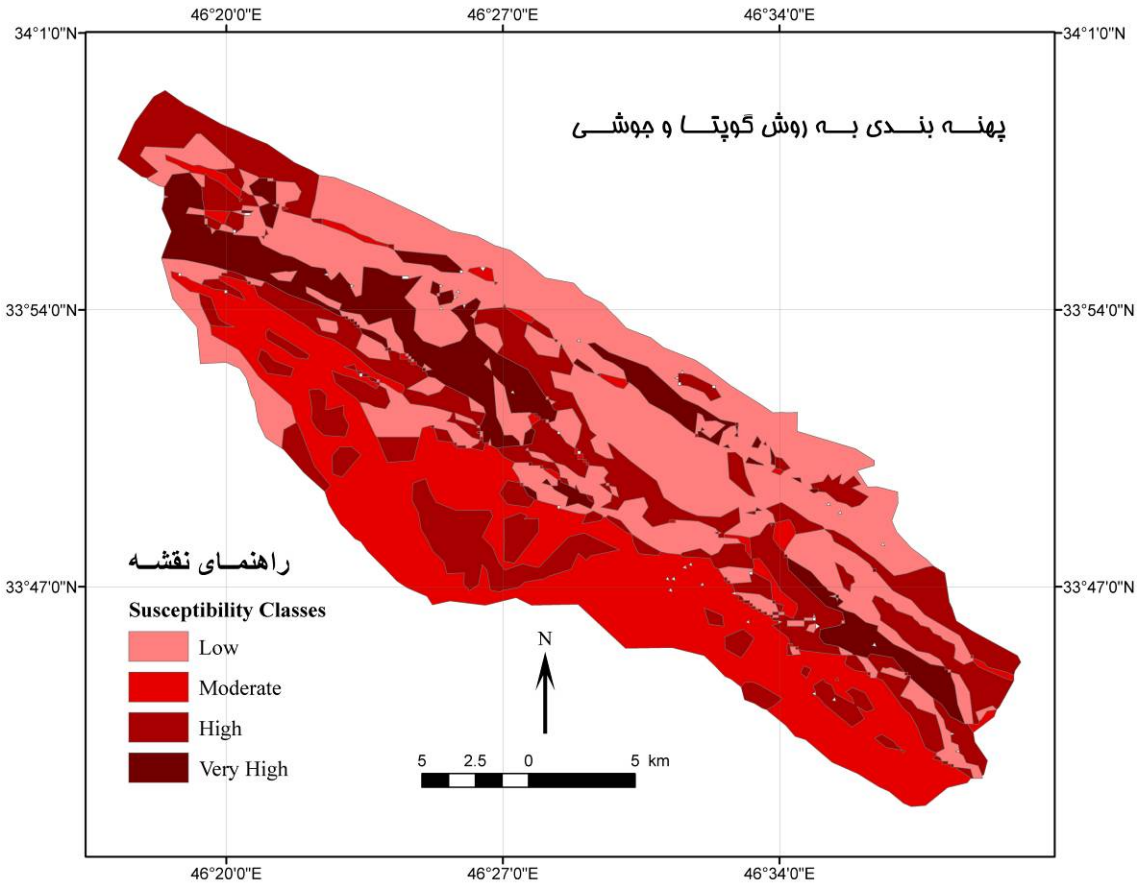
عامل/ کلاس	۱	۲	۳	٤	٥
زمین‌شناسی	۲/٤۱	۱/۱٤	۰/۸۹	۰/٥٥	۰/۲۳
شیب	۰/۳۳	۱/٤۸	۱/۹٦	۲/۲۳	–
جاده	۲/٥٥	۱/۱۱	۰/۸۲	۰/۲۳	–
کاربری	۰/۸۹	۰/٤٤	۲/۳۷	۰/۳۰	–
بارش	۰/۸۹	۱/۳۳	۱/٦۳	۲/۲۳	–
گسل	۲/۱۲	۱/٥٤	۰/۲۳	–	۰/۲۸
ارتفاع	۱/۱۱	۱/۳۰	۲/۰٤	۱/۲۸	–
جهت	۰/۰۱	۱/۳۰	۰/٦٥	۱/۲۰	۱/٥۷
رودخانه	۲	۰/۸۹	۰/٥۹	۰/٥۲	–

جدول ۱۲- وزن طبقات عوامل مختلف در روش گوپتا و جوشی

عامل/ کلاس	۱	۲	۳	٤	٥
زمین‌شناسی	۲	۱	۰	۰	۰
شیب	۰	۱	۱	۲	–
جاده	۲	۱	۰	۰	–
کاربری	۰	۰	۲	۰	–
بارش	۰	۱	۱	۲	–
گسل	۲	۱	۰	–	–
ارتفاع	۱	۱	۲	۱	–
جهت	۰	۱	۰	۱	۱
رودخانه	۲	۰	۰	۰	–

Archive of SID

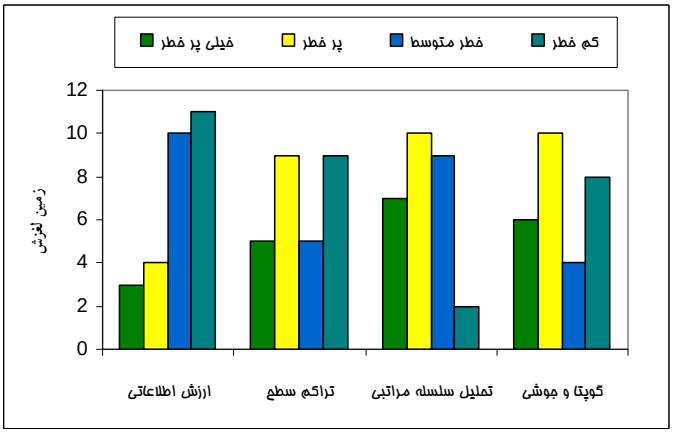
www.SID.ir



تصویر ٦- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش گوپتا و جوشی

جدول ١٣- تعداد زمین لغزش‌ها در کلاسه های خطر

پهنه خطر	ارزش اطلاعاتی	تراکم سطح	تحلیل سلسله مراتبی	گوپتا و جوشی
خیلی پر خطر	٣	٥	٧	٦
پر خطر	٤	٩	١٠	١٠
خطر متوسط	١٠	٥	٩	٤
کم خطر	١١	٩	٢	٨



تصویر ٧- فراوانی زمین لغزش‌ها در کلاسه های خطر

Archive
www.SID.ir

۶- نتیجه‌گیری

در مورد پهنه‌بندی با چهار روش ذکر شده در حوضه آبخیز چرداول چنین برمی‌آید روش‌های ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح مناسب‌تر از سایر روش‌ها می‌باشند. سفیدگری (۱۳۸۱) در تحقیق که در حوزه آبخیز دماوند بیان نمودند از بین روش‌های مورد استفاده برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، روش ارزش اطلاعاتی نتایج قابل قبول و رضایت‌بخشی نسبت به سایر روش‌ها ارائه نموده است.

فانیولیو (Fanyu liu 2007) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای منطقه لانگنن در استان گانسو چین تهیه کردند و به این نتیجه رسیدند که در روش ارزش اطلاعاتی مکان‌های را که دارای زمین لغزش‌های فعالی بوده اند، بهتر نشان داده می شوند.

فتاحی اردکانی (۱۳۷۹) در حوزه سد لتیان در ارزیابی چهار روش پهنه‌بندی بیان کردند که روش ارزش اطلاعاتی نسبت به سایر روش‌ها دارای جواب قابل قبول تری را ارائه نموده است. در مجموع با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق و مقایسه آن با نتایج تحقیقات انجام شده قبلی می توان گفت که روش ارزش اطلاعاتی نسبت به دیگر روش‌های پهنه‌بندی در حوضه آبخیز چرداول از کارایی نسبی بهتری برخوردار بوده و می‌تواند به عنوان روش بهینه برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز مورد بررسی معرفی گردد.

با توجه به نتایج ارزیابی روش‌ها، روش تحلیل سلسله مراتبی و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی کمترین جواب قابل قبول در منطقه را ارائه نمودند. با توجه به نقشه پراکنش و تراکم زمین لغزش‌ها حدود ٤٦/٤ درصد زمین لغزش‌ها در فاصله ۵۰۰-۰ متری از رودخانه اصلی می توان گفت که در بین عوامل خطی جاده، رودخانه و گسل عملکرد رودخانه بیشترین تاثیر را بر روی زمین لغزش‌های رخ داده داشته است.

همچنین از بین دیگر پارامترها مورد بررسی عامل زمین‌شناسی بیشترین تاثیر را داشته است، چون که بیش از ٤۰ درصد زمین لغزش‌ها با در نظر گرفتن سطح هر کلاس، در آبرفت‌های کواترنری که نسبت به زمین لغزش بسیار حساس اند، رخ داده است.

با توجه به اینکه روستای دراشکفت بر روی یک توده لغزشی قرار گرفته است و عامل جاده سازی و عملکرد رودخانه چرداول آن را تشدید نموده است. بنابراین اولویت اول در کارهای عمرانی و زیربنایی این روستا، پایدار سازی این توده لغزشی با استفاده از روش‌های مکانیکی و زیستی است. در غیر این صورت جابجایی این روستا به طرف مقابل رودخانه با در نظر گرفتن پیامدهای مختلف ضروری به نظر می رسد.

تشکر و قدردانی

از اداره کل منابع طبیعی و معاونت آبخیزداری استان ایلام به خاطر مساعدت های فراوان تشکر و قدردانی می شود.

مراجع

احمدی، ح. و محمدخان، ش. و س.، فیض‌نیا و ج.، قدوسی، ۱۳۸٤، "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، شماره ۵۸ (۱): ۱٤-۳.*

حق‌شناس، ا.، ۱۳۷٤، "پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در حوضه آبخیز طالقان"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۷ ص.*

رامشت، م. ح.، ۱۳۷۵، "کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی"، *چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۲۵٤ ص.*

سفیدگری، ر.، ۱۳۸۱، "ارزیابی روشهای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز دماوند"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۵۹ ص.*

سیارپور، م.، ۱۳۷۸، "پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش در جنوب خلخال در استان اردبیل"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۷۳ ص.*

شادفر، ص. و نوروزی، ع.، ج.، قدوسی و ج.، غیومیان، ۱۳۸٤، "پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز لاکتراشان"، *نشریه علمی ترویجی حفاظت آب و خاک، سال ۱ (۱): ۱۰-۱.*

شریعت جعفری، م.، ۱۳۷۵، "مبانی واصول پایداری شیب‌های طبیعی"، *انتشارات سازه: ۱٤۹-۱٤۸.*

فتاحی اردکانی، م. ع.، ۱۳۷۹، "بررسی و ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز سد لتیان"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرکز آموزش امام خمینی، ۱۹۸ ص.*

فرجی سبکبار، ح.، ۱۳۸٤، "مکان‌یابی واحدهای خدمات بازرگانی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها"، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی دانشگاه تهران، شماره ۵۱، ۳۷ ص.*

کلارستاقی، ع.، ۱۳۸۱، "بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز شیرین رود ساری"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱٤۱ ص.*

مهدویفر، م.، ۱۳۷٦، "پهنه‌بندی 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، ج ۱.*

میرصانعی، س. و کاردان، ر.، ۱۳۷۸، "نگرشی تحلیلی بر ویژگیهای زمین لغزش کشور"، *مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی محیط زیست ایران، چاپ اول، دانشگاه تربیت معلم تهران: ۸٤-۸۳.*

نادری، ف.، ۱۳۸۷، "بررسی میزان فرسایش و تخمین رسوب در

Archive of SID
www.SID.ir

حوزه آبخیز چرداول استان ایلام با استفاده از GIS"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران ، دانشکده علوم زمین، ۱۳۰ ص.*

نیک‌اندیش، ن.، ۱۳۸۵، "نگرشی بر اهمیت حرکات توده ای زمین در ایران"، *نشریه جهاد کشاورزی، سال ۱۲ (۱۵۵): ۹۵-۸٤*

یمانی، م.، ۱۳۸٤، "پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدلهای ارزش اطلاعاتی"، *تراکم سطح و گوپتا و جوشی در حوضه چالکرود، نشریه علمی-پژوهشی آب و آبخیز: ۲۰-۱۲.*

Brabb, E., Pampegan, E. H. & Bonilla, M. G., 1972, "Landslide susceptibility in Sanmateo county, California", *U.S Geological Survey map, Miscellaneous field studies, map MF-360, scale 1:62,500.*

Komac, M., 2006, "A landslide suscepility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia", *Geomorphology, Vol. 24:17-28.*

Fanyu liu, Z., 2007, "Study on landslide susceptibility mapping based GIS and with bivariate statistics", *a Case Study in Longnan Area Highway 212, Science paper online.*

Gupta, R. P. & Joshi, B. C., 1990, "Landslide hazard zoning using the GIS approach", *A case study from the Ramganga catchment, Himalayas, Engineering Geology, No. 28(1): 119-131.*

Khullar, V. K., Sharam, R. P., Paramanik, K., 2000, "A GIS approach in the landslide zone of lawngthlia in southern mizoran, landslide", *proceeding of the 8th International Symposium on Landslides, Vol.3: 1461-1472.*

Pachauri, A. k. & Pant, M., 1992, "Landslide hazard mapping based on geological attributes", *Eng Geological, Vol 32 (1-2): 81-100.*

Saaty, T. L., 1980, "Analytical Hierarchy Process", *Planning, Priority, Resource Allocation. SUA: RWS Publications, USA.*

Safavi, S. M., 1997, "Landslide hazard zonation in Damavand region", *MSc Thesis, ITC Netherlands.*

Van Westen, C. J. & Soeters, R., 1998, "Workshop on GIS in landslide Hazard mapping, the Kakani Area (Nepal)", *Theory, Version, ITC.*

Yalcin, A. 2008, "GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations", *Catena, Vol. 72 (1): 1-12.*

Archive of SID

www.SID.ir