



مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد نوزدهم، شماره اول، ۱۳۹۱

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره مکانی (SMCE) (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سلمانرود)

\*محمد حسن زاده نفوتی<sup>۱</sup>، مسلم چابک‌بلداجی<sup>۲</sup> و زهره ابراهیمی خوسفی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری،

<sup>۲</sup>دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مدیریت مناطق بیابانی

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۱۰

### چکیده

زمین‌لغزش‌ها از جمله بلایای طبیعی هستند که سالانه خسارت‌های مالی و جانی زیادی را در کشور ایجاد می‌کنند. شناخت مناطق پرخطر می‌تواند در کاهش خسارت‌ها و تصمیم‌گیری در سیاست‌های توسعه اراضی مؤثر باشد. در این پژوهش از روش ارزیابی چندمعیاره مکانی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شد. نقشه عوامل مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های موضوعی و بازدیدهای صحرائی تهیه شده و درخت‌واره عوامل و محدودیت‌ها در نرم‌افزار ILWIS طراحی گردید. نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب، جهت دامنه، کاربری اراضی و فاصله از جاده، رودخانه و گسل به‌عنوان عوامل و نقشه شیب و رودخانه به‌عنوان محدودیت به سیستم معرفی شدند. پس از وزن‌دهی به عوامل و زیرعوامل، نقشه حساسیت به زمین‌لغزش منطقه به صورت ارزش ۱-۰ به دست آمد. سپس نقشه نهایی به ۵ طبقه از حساسیت خیلی کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی شد و برای بررسی صحت آن، با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه که از طریق بازدیدهای میدانی تهیه شده بود، قطع داده شد. نتایج نشان داد که بیش از ۸۵ درصد از زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در طبقه حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است بنابراین صحت نقشه پهنه‌بندی تأیید شد.

**واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، ارزیابی چندمعیاره مکانی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و حوضه آبخیز سلمانرود

\* مسئول مکاتبه: [hasanzadeh.m@maybodiau.ac.ir](mailto:hasanzadeh.m@maybodiau.ac.ir)

## مقدمه

زمین‌لغزش نوعی حرکت توده‌ای است که در اثر عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی و یا هر دو در مناطق شیب‌دار به‌وجود می‌آید و در آن حجم زیادی از مواد تشکیل‌دهنده دامنه به سمت پایین جابه‌جا می‌شود. زمین‌لغزش‌ها هر ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را در نقاط مختلف دنیا به بار می‌آورند. تلفات انسانی، تخریب اراضی کشاورزی، باغ‌ها، سازه‌های مهندسی و راه‌های ارتباطی و هدررفت سریع خاک، از آثار زمین‌لغزش‌ها به‌شمار می‌روند. با توجه به وسعت خسارات ذکر شده، می‌توان به صراحت بیان نمود که هزینه بررسی و مطالعه چنین پدیده‌ای برای شناخت و برنامه‌ریزی بهتر به‌منظور پیش‌گیری یا کاهش خسارات ناشی از آن، به مراتب کم‌تر از خسارات آن است. بنابراین شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و تشخیص مناطق مختلف از نظر حساسیت به وقوع آن، یکی از مهم‌ترین و ضروری‌ترین اقدامات برای دوری جستن یا کاهش صدمات زمین‌لغزش می‌باشد (حسن‌زاده‌نقوتی، ۲۰۰۰).

روش‌های متعددی در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش وجود دارد. بسیاری از این روش‌ها ابتکاری کیفی هستند و در آن‌ها متخصص بر پایه تجربه به هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش امتیاز می‌دهد و سپس نقشه پهنه‌بندی براساس مجموع امتیازها به‌دست می‌آید (شریعت‌جعفری، ۱۹۹۶). قابلیت اعتماد به نقشه پهنه‌بندی تا حد زیادی به کیفیت داده‌های در دسترس، مقیاس مطالعه و انتخاب یک روش مناسب بستگی دارد (نیلسون و همکاران، ۱۹۷۹).

به‌عنوان مثال حائری و سمیعی (۱۹۹۷) در استان مازندران اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ نمودند. در مدلی که آن‌ها استفاده کردند ۵ عامل لیتولوژی، شیب، گسل، راه و رودخانه و میزان بارندگی به‌عنوان فاکتورهای مؤثر در استعداد گسیختگی دامنه قرار دادند. به‌علاوه دو عامل زمین‌لرزه و شدت بارندگی نیز به‌عنوان عوامل محرک در نظر گرفته شدند. در نهایت با ۷ کلاس، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را تهیه نمودند.

کورکی‌نژاد و همکاران (۲۰۰۵) اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه سیاه رودبار گرگان با ۲ روش حائری-سمیعی و مورا وارسون نمودند. آن‌ها با بررسی لغزش‌های موجود از طریق مشاهدات زمینی به این نتیجه رسیدند که مدل حائری-سمیعی بین نقشه پهنه‌بندی محاسبه شده و لغزش‌های موجود همبستگی بیش‌تری را نشان داده و برای منطقه مناسب‌تر است.

اما در روش‌های آماری که می‌تواند دومتغیره یا چندمتغیره باشد، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها نقش کلیدی را بازی می‌کند. در این روش‌ها وزن عوامل و طبقات مربوط به هر عامل براساس میزان وقوع

زمین لغزش در آن، تعیین می‌شود و میزان حساسیت به زمین لغزش از مجموع وزن‌ها در هر یک از واحدهای کاری مشخص می‌گردد (ماگیولو و همکاران، ۲۰۰۸؛ حسن زاده نفوتی، ۲۰۱۰).

مثلاً فیض‌نیا و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از روش آماری چندمتغیره منطقه شلمانرود واقع در استان گیلان را در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با استفاده از سیستم GIS<sup>۱</sup> پهنه‌بندی نمودند. لایه‌های به‌کار رفته شامل: شیب، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و بارندگی می‌باشد. صحت نقشه پهنه‌بندی تهیه شده با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها و همچنین انجام مدل تهیه شده در حوضه آبخیز مجاور منطقه و تهیه نقشه پهنه‌بندی و کنترل کردن آن با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن رضایت‌بخش بود.

اونو (۲۰۰۵) پتانسیل خطر زمین لغزش آبخیز زیارت را با دو مدل وزنی پارامتری استاتیک و دینامیک پهنه‌بندی نمود و میزان انطباق دو نقشه خطر را از طریق شاخص کاپا محاسبه و با نقشه تراکم زمین لغزش مقایسه کرد و نتیجه گرفت که مدل استاتیک برای این آبخیز مناسب‌تر است.

عظیم‌پور و همکاران (۲۰۰۹) اقدام به ارزیابی نتایج مدل AHP<sup>۲</sup> برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز اهرچای نمودند. نتیجه به‌دست آمده از پژوهش نشان داد که عامل زمین‌شناسی بیش‌ترین و عامل انسانی کم‌ترین نقش را در ایجاد لغزش در این منطقه دارند.

احمدی و همکاران (۲۰۰۳) پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای حوضه آبخیز گرمی‌چای را با دو روش رگرسیون چندمتغیره و تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند و نتیجه گرفتند که روش تحلیل سلسله مراتبی به‌دلیل برخورداری از متغیرهای بیش‌تر و کلاسه‌بندی اصولی نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره از دقت بیش‌تری برخوردار است.

شادفر و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه در حوضه آبخیز چالکروند تنکابن روش تحلیل سلسله مراتبی را به‌دلیل استوار بودن بر مبنای مقایسه زوجی موجب سهولت و دقت در انجام محاسبات لازم می‌شود و ارایه نتایج مطلوب به‌دلیل دخالت دادن تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مناسب‌تر دانستند.

در سال‌های اخیر از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی و ارزیابی چندمعیاره مکانی در حل مسایل مختلف به‌منظور کمک به مدیران و تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌شود. ارزیابی چندمعیاره مکانی یک روش مفید برای شناسایی و مقایسه راه‌حل‌ها برای مکان‌یابی براساس ترکیب فاکتورهای چندگانه است

1- Geographical Information System  
2- Analytical Hierarchical Processing

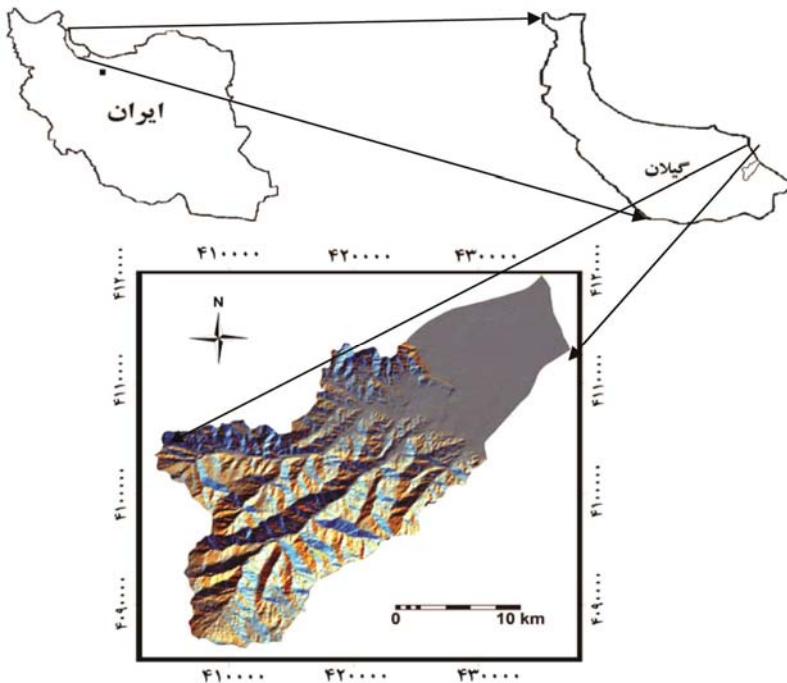
که می‌تواند در حداقل زمان به وسیله لایه‌های اطلاعاتی نشان داده شود. این روش بیانگر قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مدیریت و پردازش اطلاعات مکانی، انعطاف‌پذیری ارزیابی چندمعیاره مکانی برای ترکیب کردن اطلاعات مکانی (مانند نوع خاک، شیب و...) با اطلاعات کارشناسی براساس وزن‌دهی متغیرهای مختلف می‌باشد. ارزیابی چندمعیاره مکانی روشی است برای تشخیص و ارایه راه‌حل‌های قیاسی در مسایل مکانی بر پایه ترکیب عوامل چندگانه که در نهایت با نقشه نشان داده می‌شود (مالچوسکی، ۲۰۰۶). در تعیین معیارهای تصمیم نیز ناگزیر از نظر کارفرما و مسئولان امر باید استفاده کرد و همواره استانداردهای خاصی در این‌باره نباید جست. این موضوع در رشته‌های گوناگونی مثل مدیریت بازرگانی، ارتباطات بین‌الملل، توسعه سیاسی، مباحث مشارکت و به‌طور فزاینده‌ای در مدیریت منابع طبیعی کاربرد یافته است (نش و همکاران، ۲۰۰۶؛ یانی، ۲۰۰۷).

برای مثال عوامل و محدودیت‌های متعدد مکانی برای برنامه‌ریزی صحیح و دقیق در احداث سد حاکی باید دخالت داده شود و این امر با فنون سستی به‌علت پیچیده شدن زیاد برنامه‌ریزی، قابل انجام نیست. یعنی فنون سستی و معمولی تصمیم‌گیری چندمعیاره بیش‌تر غیرمکانی بوده‌اند، آن‌ها توابع میانگین یا مجموع را که برای تمام منطقه مناسب به‌نظر می‌رسند را به‌کار می‌گیرند (تی‌کیچ و سیمونوویچ، ۱۹۹۷). در صورتی‌که برای شناختن مکان‌های مناسب و پیشنهاد برنامه‌ها بر روی یک نقشه، کاربرد فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی ضروری است. مهم‌ترین تفاوت تصمیم‌گیری چندمعیاره و تحلیل چندمعیاره مکانی، ارایه واضح اجزا مکانی می‌باشد. برای به‌دست آوردن اطلاعات در فرآیند تصمیم‌گیری، داده‌ها با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره و فن و دانش سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی پردازش می‌شوند. تجزیه و تحلیل مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی نیاز به داده‌های مکانی و جدول‌های توصیفی برای هر عامل دارد که برای به‌دست آوردن این داده‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری، اطلاعات با استفاده از فن و دانش سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی پردازش می‌شوند. تجزیه و تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فرآیندی است که داده‌های جغرافیایی (ورودی) را با یکدیگر تلفیق کرده و به یک تصمیم (خروجی) تبدیل می‌کند. این فرآیند شامل بهره‌برداری از داده‌های جغرافیایی، الویت‌های تصمیم‌گیری، دست‌کاری داده‌ها و الویت‌ها طبق قوانین ویژه تصمیم است (شریفی و رتسیوس، ۲۰۰۴).

هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی مدل ارزیابی چندمعیاره مکانی در شناسایی مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه است تا با ارایه راه‌حل‌ها، روش‌های کنترل و مدیریت مناسب از خسارات ناشی از وقوع آن پیش‌گیری نمود.

## موارد و روش‌ها

حوضه آبخیز شلمانرود در شرق استان گیلان و بین شهرستان‌های لنگرود و رودسر و همچنین با مختصات جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۵ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۱۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۱۳ دقیقه و ۲۵ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. مساحت حوضه آبخیز شلمانرود ۴۹۵/۵ کیلومتر مربع می‌باشد و بخشی از دامنه‌های شمالی البرز مرکزی است که از قسمت کوهستانی و دشتی تشکیل شده است. شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز شلمانرود را در استان گیلان و ایران نمایش می‌دهد. ارتفاع متوسط حوضه ۵۲۳/۵ متر و اقلیم منطقه از نوع بسیار مرطوب معتدل تا سرد است. براساس رابطه بین ارتفاع (H) و بارندگی (P)، مقدار متوسط بارندگی سالیانه حوضه ۱۳۰۲/۹ میلی‌متر می‌باشد. از نظر سنگ‌شناسی نیز از واحدهای مربوط به دوران‌های زمین‌شناسی اول و دوم و دوره کواترنر تشکیل یافته است. تغییر کاربری اراضی جنگلی به چای‌کاری، مسکونی و جاده‌سازی عامل وقوع بسیاری از زمین‌لغزش‌های منطقه است (شکل‌های ۲ و ۳).



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه آبخیز شلمانرود در استان گیلان و ایران.



شکل ۲- تغییر کاربری جنگل به باغات چای یکی از عوامل وقوع زمین لغزش است.



شکل ۳- جاده‌سازی عامل دیگر زمین لغزش در منطقه است.

به طور خلاصه مراحل روش کار در این پژوهش به شرح زیر می باشد:

**مرحله اول:** گردآوری همه اطلاعات منطقه از جمله آمار، نقشه ها و جدول های اطلاعاتی مورد نیاز و آماده سازی آن ها مانند ایجاد حریم اطراف عوامل مکانی و رستری کردن تمامی داده ها برای ورود به نرم افزار ILWIS<sup>۱</sup>.

**مرحله دوم:** طراحی مدل تحلیل چندمعیاره مکانی به شکل درخت وارده معیارها در محیط SMCE<sup>۲</sup> نرم افزار ILWIS.

**مرحله سوم:** استانداردسازی عوامل در محیط SMCE نرم افزار ILWIS و وزن دهی عوامل و معیارها در محیط نرم افزار.

**مرحله چهارم:** تلفیق اطلاعات آماده شده و تولید نقشه شاخص ترکیبی.

**مرحله پنجم:** پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از نقشه شاخص ترکیبی و براساس نمودار ستونی ارزش پیکسل های نقشه.

**مرحله ششم:** بررسی درستی نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش از طریق قطع دادن با نقشه پراکنش زمین لغزش های موجود در منطقه.

استفاده از لایه های اطلاعاتی مناسب، در پهنه بندی خطر زمین لغزش اهمیت زیادی دارد. بنابراین به این منظور در منطقه مطالعاتی با توجه به بررسی های میدانی و مطالعات کتابخانه ای عوامل مکانی اصلی و عوامل محدودیت دخیل در وقوع زمین لغزش شناسایی گردید این عوامل شامل جهت دامنه، شیب منطقه، نوع کاربری اراضی، واحدهای زمین شناسی، بارندگی و فاصله از گسل، جاده و رودخانه می باشند. از سوی دیگر برای بالا بردن دقت نقشه خروجی، عوامل محدودکننده حوضه شامل شیب های کم تر از ۱۵ درصد و بستر رودخانه تا حریم ۱۰ متری که زمین لغزش در آن مشاهده نشده به عنوان محدودیت در برنامه اعمال گردید.

برای تهیه نقشه عوامل، ابتدا نقشه های توپوگرافی سازمان نقشه برداری کشور مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مطالعاتی تهیه شد. سپس همه لایه های عوارض خطی، نقطه ای و پلی گونی مورد نیاز استخراج شدند. از نقشه توپوگرافی رقومی شده، مدل رقومی ارتفاع منطقه با اندازه سلولی<sup>۳</sup> ۱۰ متر ساخته و

- 1- Integrated Land and Water Information System
- 2- Spatial Multi Criteria Evaluation
- 3- Pixel size

با استفاده از آن، نقشه شیب با ۵ کلاس و جهت با ۸ کلاس طبقه‌بندی و تهیه شد. سپس براساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز تهیه و مرز واحدها با بازدیدهای صحرائی تدقیق گردید. برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه، از تصاویر ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup> که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور زمین مرجع شده بود، و نقشه کاربری اراضی وزارت جهاد کشاورزی استفاده گردید. به این ترتیب که ابتدا تصویر رنگی کاذب<sup>۱</sup> با ترکیب باندی ۵۴۳ از منطقه تهیه شد. سپس از روی نقشه کاربری اراضی وزارت جهاد کشاورزی نمونه‌هایی از هر کاربری به صورت پلی‌گون تهیه و به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی<sup>۲</sup> به نرم‌افزار معرفی گردید. سپس با متد حداکثر تشابه<sup>۳</sup>، نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شد. در انتها نقشه کاربری اراضی با فرمت kml فراهم و به نرم‌افزار گوگل ارث منتقل و مرز کاربری‌ها تدقیق گردید. نقشه‌های حریم<sup>۴</sup> گسل، رودخانه و جاده با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه تهیه شد. نقشه پراکنش بارندگی حوضه مطالعاتی با استفاده از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی و محاسبه رابطه بین ارتفاع و بارش (P=۱۳۵۰/۵-۰/۲۸ H) به دست آمد (حسن‌زاده‌نفتی، ۲۰۰۰).

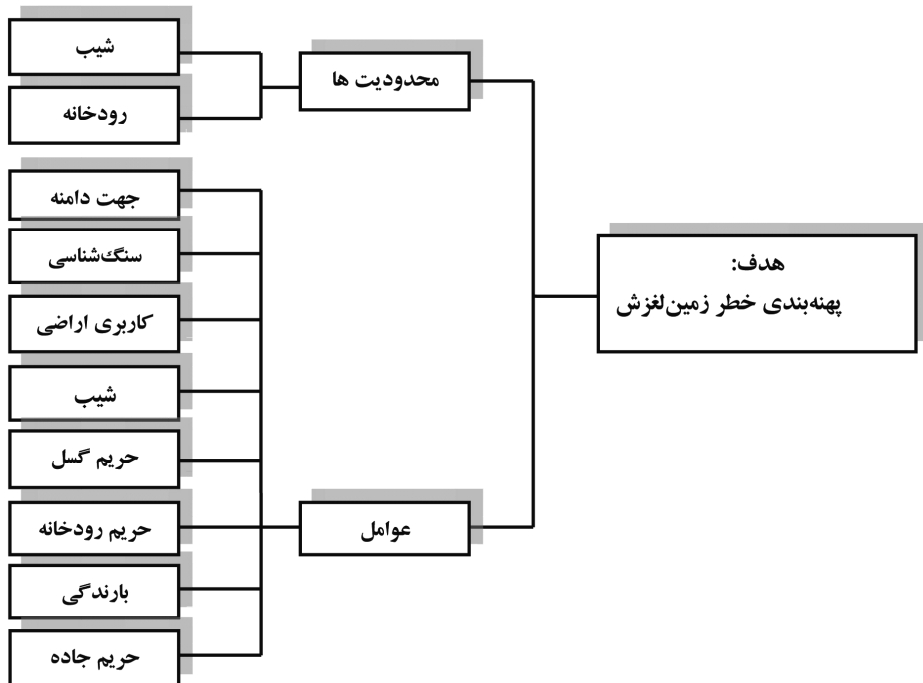
از مدل تحلیل چندمعیاره مکانی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شد و شکل درخت‌واره عوامل مکانی برای حوضه آبخیز شلمانرود براساس هدف اصلی طرح که پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بود طراحی گردید و همه نقشه‌های تهیه شده به صورت خطی، نقطه‌ای و چندضلعی پس از شبکه‌ای<sup>۵</sup> شدن در مدل طراحی شده اعمال گردید که در شکل ۴ درخت‌واره طراحی شده نشان داده شده است.

با توجه به این‌که نقشه‌های ورودی می‌توانند محتوا و خصوصیات مختلفی داشته باشند و تعدادی ممکن است خصوصیات توصیفی چون دوری و نزدیکی را شامل شوند و یا تعدادی دیگر ارقامی چون صفر یا ۱ یا ۱۰ و... را شامل می‌گردند، بنابراین لازم است نقشه‌ها استاندارد شوند. در این سامانه تمامی خصوصیات نقشه‌ها به مقادیر بین ۰-۱ استاندارد می‌گردند. برای استاندارد کردن نقشه‌های ورودی در محیط SMCE می‌توان از یکی از روش‌های استاندارد کردن نرم‌افزار شامل روش مقداری<sup>۶</sup>،

- 1- False Color Composite
- 2- Training Area
- 3- Maximum Likelihood
- 4- Buffer
- 5- Raster
- 6- Value Input



روش بولین<sup>۱</sup> و روش خصوصیات کیفی<sup>۲</sup> استفاده کرد. در این پژوهش برخی نقشه‌ها مثل فاصله از گسل به دلیل مقداری بودن با روش استاندارد کردن مقداری و برخی دیگر از نقشه‌ها به دلیل توصیفی بودن با روش استاندارد کردن توصیفی استاندارد گردید (شکل‌های ۵ و ۶). در این روش استاندارد کردن به وسیله یک تابع خطی با استفاده از مقادیر حداقل و حداکثر مورد نظر صورت می‌گیرد. مقادیر بین حداقل و حداکثر مقادیری بین صفر و ۱ را می‌گیرند. در این رابطه مقدار حداقل صفر و مقدار حداکثر ۱ بوده است. به عنوان مثال برای استانداردسازی نقشه گسل از روش مقداری و از متد هدف<sup>۳</sup> استفاده گردید به طوری که هرچه فاصله از گسل زیادتر شود به صفر نزدیک می‌شود که در شکل ۵ نشان داده شده است.

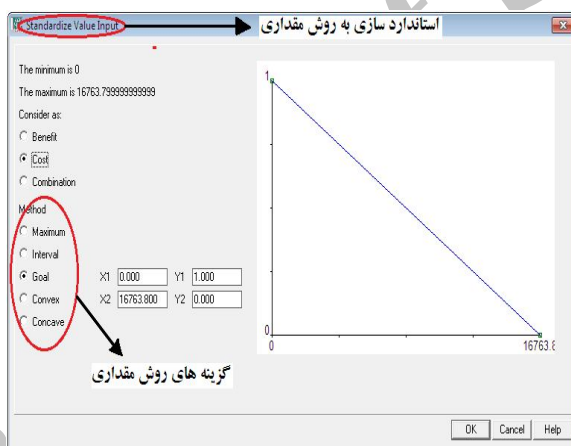


شکل ۴- درخت‌واره تحلیل چندمعیاره مکانی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز شلمانرود.

- 1- Boolean
- 2- Class Input
- 3- Goal



شکل ۵- استانداردسازی نقشه سنگ‌شناسی به روش جدول توصیفی.



شکل ۶- استانداردسازی نقشه گسل به روش مقداری.

برای وزندهی نقشه‌های استاندارد شده (عوامل و زیرعامل‌ها) از روش‌های مقایسه زوجی<sup>۱</sup> و رتبه‌بندی مستقیم<sup>۲</sup> استفاده شد. مقصود از وزندهی (هدف عینی یا صفت) بیان اهمیت هر معیار نسبت به معیارهای دیگر می‌باشد. روش‌های مستقیم و مقایسه زوجی که نوعی تحلیل سلسله مراتبی است، در وزندهی عوامل به کار برده شد. در تحلیل سلسله مراتبی، عوامل به صورت جفتی مقایسه می‌شوند و

- 1- Pairwise Comparison
- 2- Direct Ranking

اهمیت نسبی عوامل در تعیین مناسب بودن یک پیکسل برای نوع خاصی از تصمیم برای تصمیم‌گیرنده ارزیابی می‌شود و فقط دو معیار، در یک زمان مقایسه می‌شود که البته ارزش‌های نسبی در مقیاس پیوسته‌ای از ۹-۱ است. دسته‌بندی‌ها در یک ماتریس مربعی متقابل قرار می‌گیرد. تحلیل‌ها و بررسی‌ها در نرم‌افزار انجام می‌شود و وزن‌ها از ماتریس با بالاترین سازگاری به دست می‌آید و گروه‌بندی انجام می‌شود. باید دقت کرد که نرخ ناسازگاری در وزن‌دهی نباید بیش‌تر از ۰/۱ باشد (ساعتی، ۱۹۸۰). نرخ ناسازگاری عوامل وزن داده شده در این پژوهش مقدار ۰/۰۲۹۴ می‌باشد که نشان‌دهنده سازگاری و منطقی بودن زوجی در روش یاد شده بوده است. برای وزن‌دهی به عوامل از نظرات کارشناسان و مقالات منتشر شده محققان مختلف که در دهه اخیر در این زمینه فعالیت نمودند استفاده شده است. جدول ۷ ماتریس وزن‌دهی به معیارهای اصلی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

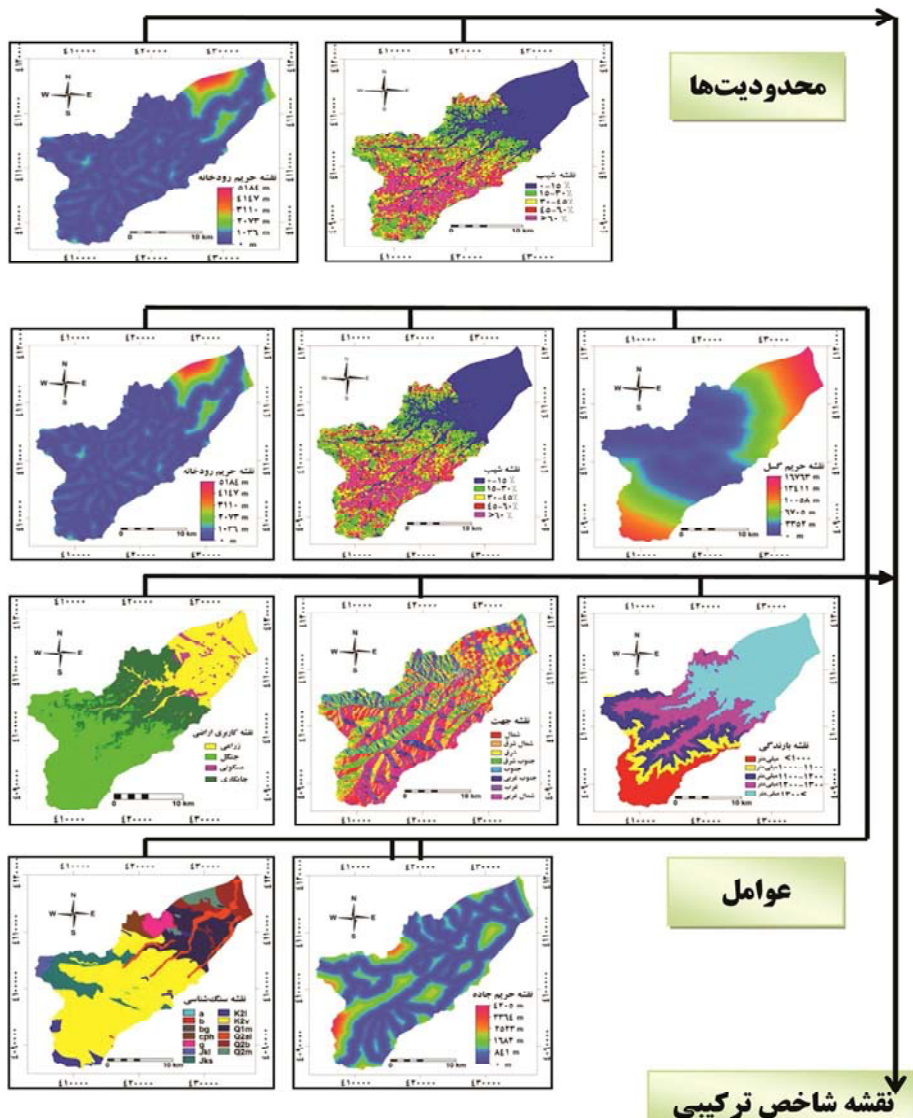
جدول ۱- ماتریس مقایسه زوجی عوامل اصلی.

جهت	بارش	رودخانه	جاده	گسل	شیب	سازند	کاربری	مقایسه معیارها
کاربری							۱	
سازند						۱	۰/۵۰	
شیب					۱	۰/۵۰	۰/۳۳	
گسل				۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۰	
جاده			۱	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۷	
رودخانه		۱	۰/۵۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۱۴	
بارش	۱	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۳	
جهت	۱	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۱	
وزن نسبی	۰/۰۳۳	۰/۰۵۴	۰/۰۷۹	۰/۱۱۱	۰/۱۵۲	۰/۲۱۵	۰/۳۴	

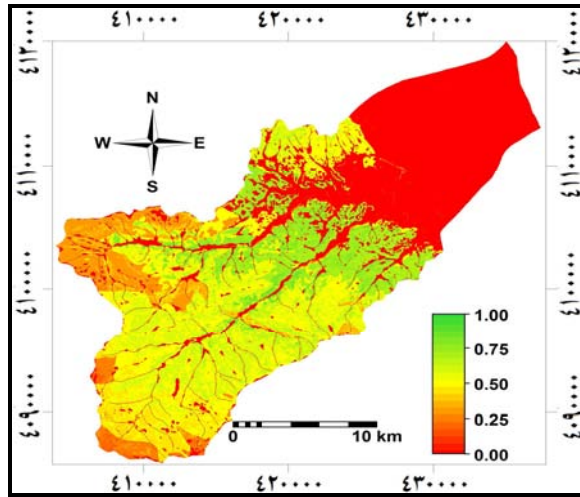
برای تهیه نقشه حساسیت مناطق به زمین‌لغزش حوضه آبخیز شلمانرود نقشه شاخص ترکیبی تهیه شده که شامل تجمع نسبت‌ها از همه معیارهای استاندارد و وزن داده شده آن‌چنان‌که در درخت معیار مشخص شده است، می‌باشند.

پیکسل‌های نقشه خروجی مقادیر بین صفر و ۱ دارد. پیکسل‌ها با مقادیر نزدیک صفر به نواحی غیرحساس و پیکسل‌های با مقادیر نزدیک ۱ به نواحی با حساسیت زیاد به وقوع زمین‌لغزش اشاره دارد. نقشه خروجی، ترکیبی از همه نقشه‌های ورودی است. به عبارت دیگر نقشه خروجی نتیجه رابطه‌های وزن‌دهی تجمع، و رابطه‌های استانداردسازی است. اما نواحی که در نقشه شاخص مرکب به عنوان

محدودیت‌ها در برنامه قرار دارند، از نظر مناسب بودن ارزش صفر را خواهند گرفت. شکل ۷ نقشه عوامل و محدودیت‌ها و شکل ۸ نقشه شاخص ترکیبی (حساسیت مناطق مختلف نسبت به وقوع زمین‌لغزش) را که از ترکیب نقشه‌های ورودی از جمله محدودیت و عوامل به دست آمده، را نشان می‌دهد.



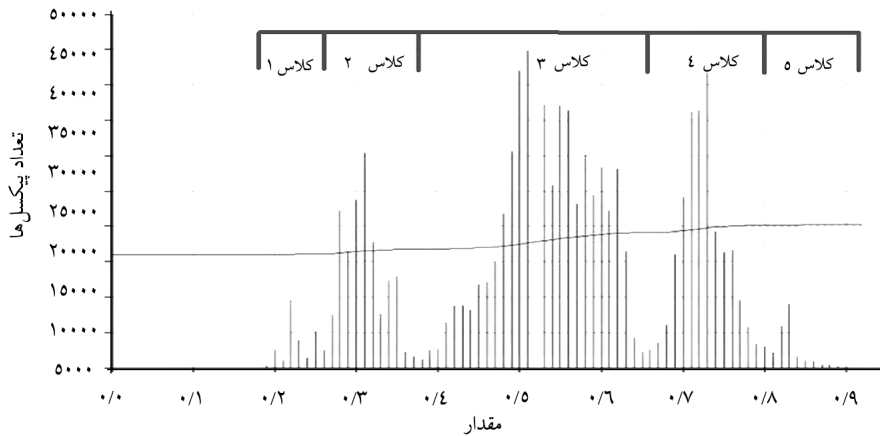
شکل ۷- نقشه عوامل و محدودیت‌ها.



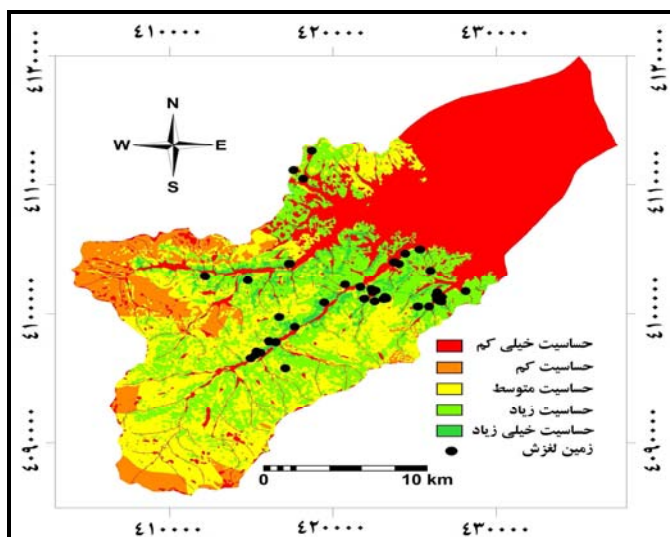
شکل ۸- نقشه شاخص ترکیبی حوضه آبخیز شلمانرود.

### نتایج و بحث

پس از تهیه نقشه شاخص مرکب، براساس هیستوگرام فراوانی ارزش پیکسل‌های آن (شکل ۹)، منطقه به ۵ کلاس حساسیت به زمین لغزش طبقه‌بندی شد. به منظور بررسی میزان درستی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمده، نقشه پراکنش زمین لغزش‌هایی که تاکنون در منطقه وقوع یافته بود با آن تطابق داده شد (شکل ۱۰) که مساحت هر طبقه و تعداد زمین لغزش آن در جدول ۲ آمده است.



شکل ۹- هیستوگرام فراوانی ارزش پیکسل‌های نقشه شاخص مرکب.



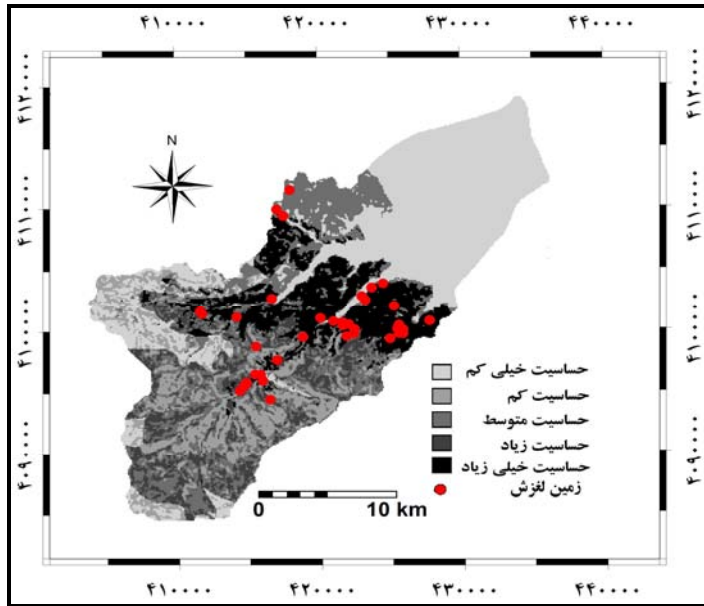
شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز شلمانرود به روش SMCE و پراکنش زمین‌لغزش‌ها.

جدول ۲- مساحت مناطق مختلف از نظر حساسیت به زمین‌لغزش و تعداد زمین‌لغزش مشاهده شده.

درصد وقوع زمین‌لغزش	تعداد زمین‌لغزش مشاهده شده	مساحت (کیلومتر مربع)	حساسیت به زمین‌لغزش	ردیف
۰	۰	۳۹۱/۹	خیلی کم	۱
۵	۲	۱۸/۱	کم	۲
۱۰	۴	۳۷/۲	متوسط	۳
۲۵	۱۰	۳۸/۵	زیاد	۴
۶۰	۲۴	۹/۸	خیلی زیاد	۵
۱۰۰	۴۰	۴۹۵/۵	جمع	

نتایج نشان داد از مجموع ۴۰ زمین لغزش وقوع یافته ۳۴ مورد (۸۵ درصد) در پهنه با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت که مدل ارزیابی چندمعیاره مکانی به خوبی توانسته مناطق مختلف را از نظر حساسیت به زمین‌لغزش تفکیک نماید.

برای مقایسه مدل ارزیابی چندمعیاره مکانی با نتایج به دست آمده از روش رگرسیون چندمتغیره که توسط حسن‌زاده‌نفتی (۲۰۰۰) در این حوضه مورد استفاده قرار گرفته بود، نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه با نقشه پهنه‌بندی روش رگرسیون چندمتغیره نیز تطابق داده شد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز شلمانرود به روش رگرسیون چندمتغیره.

نتیجه به‌دست آمده بیان نمود که روش ارزیابی چندمعیاره مکانی از درستی بیش‌تری نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره (۷۶ درصد) برخوردار است. همچنین در روش ارزیابی چندمعیاره مکانی می‌توان به‌طور مستقیم مناطقی را که امکان وقوع زمین‌لغزش در آن صفر یا نزدیک به صفر است از مدل با اعمال محدودیت حذف نمود. از آنجا که در بسیاری از روش‌های آماری امتیاز عوامل و طبقات آن براساس روی هم‌گذاری نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و نقشه عوامل به‌دست می‌آید ممکن است یک واحدکاری، با توجه به کاربری خاص، سنگ‌شناسی خاص و بارندگی مشخص و... امتیاز بالایی را کسب نماید حال آن‌که این واحدکاری در شیب نزدیک به صفر قرار داشته باشد که در عمل احتمال وقوع زمین‌لغزش در آن در حد صفر است. این مسأله برای مناطقی مثل شلمانرود که مناطق چای‌کاری که امتیاز بالایی به‌خاطر وقوع زمین‌لغزش در آن کسب می‌نماید وجود دارد چون هم در مناطق کوهستانی و هم در دشت وجود دارد. این مسأله در این روش برطرف شده و کارشناس می‌تواند مناطقی را که در آن زمین‌لغزش مشاهده نشده و احتمال وقوع آن در حد صفر است را از مدل حذف نماید که در این پژوهش برای شیب و رودخانه اعمال شد.

ارزیابی چندمعیاره مکانی توانایی جمع‌بندی اثرات عوامل و بررسی اثرات تجمعی آن‌ها را دارا می‌باشد و هیچ‌گونه محدودیتی در تعداد لایه‌های ورودی و تلفیق آن‌ها ندارد. آن‌چنان که شریفی (۲۰۰۶) برای مکان‌یابی پخش سیلاب دشت ورامین و شریفی و رتسیوس (۲۰۰۴) برای مکان‌یابی دفع زباله از این روش استفاده نمودند و نتایج مطلوبی کسب کردند.

روش ارزیابی چندمعیاره مکانی پتانسیل زیادی را به‌منظور کاهش هزینه و زمان و بالا بردن دقت تصمیم‌گیری مکانی در زمینه شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش دارا می‌باشد و چارچوب مناسبی را در اختیار مدیران برای سیاست‌گذاری‌های توسعه اراضی قرار می‌دهد تا از تغییر کاربری اراضی در مناطق پرخطر جلوگیری نمایند و با انجام اقدامات اصلاحی (مانند زه‌کشی، شمع‌کوبی و...) در مناطق پرخطر از بروز خسارات جانی و مالی پیش‌گیری کنند.

تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز با این روش و تطبیق آن با زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته در این منطقه نشان داد که این روش به‌خوبی توانسته مناطق حساس به زمین‌لغزش را شناسایی نماید. از سوی دیگر بیانگر این است که عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها به درستی و به‌خوبی شناسایی و به مدل معرفی شده است. در منطقه مورد مطالعه تغییر کاربری اراضی از جنگل به باغات جای و جاده در مناطق شیب‌دار از دلایل عمده وقوع زمین‌لغزش‌ها است. بنابراین مسئولان محلی باید براساس نقشه پهنه‌بندی ارایه شده، از تغییر کاربری در مناطق جنگلی پرخطر جلوگیری نمایند و برای پیش‌گیری از بروز خسارات در مناطق پرخطر که به‌طور عمده در کنار جاده‌ها و باغات جای قرار دارد تمهیداتی ببانندیشند.

## منابع

1. Azimpoor, A., Sadogh, H., Dalal Oghli, A., and Servati, M. 2009. Evaluation AHP model for landslide hazard zonation. case study: Ahar Chai watershed. J. Geograph. Space, 9:26. 71-87.
2. Feiznia, S., Ahmadi, H., and Hassanzadeh Nafuti, M. 2001. Landslide hazard zonation. Iranian J. Natur. Res. 54:3. 207-219.
3. Haeri, S.M., and Samiei, A.H. 1997. The slope of the meer zones based on the risk of landslides zonation studies in Mazandaran Province. J. Earth Sci. 6:23. 2-16.
4. Hassanzadeh Nafuti, M. 2000. Landslide hazard zonation in Shlmanrood Watershed. Tehran University M.Sc. Thesis. (In Persian)
5. Hassanzadeh Nafuti, M. 2010. Multiple model for landslide hazard zonation. Proceedings of Indian Geotechnical Conference. 16-18 December 2010.



6. Ianni, E. 2007. Integrated assessment of eco-social systems: the case study of Aysen watershed (Chile) and Marano lagoon (Italy): Ph.D. Thesis, Dept. of Biology, University of Trieste.
7. Korki Nezhad, M., Ownegh, M., and Sepehri, A.S. 2005. Landslide hazard zonation in Golestan watershed Rudbar black. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 12:3. 91-99.
8. Magliulo, P., Di Lisio, A., Russo, F., and Zelano, A. 2008. Geomorphology and landslide susceptibility assessment using GIS and bivariate statistics: a case study in southern Italy. *Springer Science. Natural Hazards. (Natural Hazards)*, 47: 411-435.
9. Malczewski, J. 2006. Gis-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *I. J. Geographic Information Sci.* 20:7. 703-726.
10. Nash, R., Hudson, A., and Luttrell, A. 2006. Mapping Political Context A Toolkit for Civil Society Organization. Overseas Development Institute, London.
11. Nielsen, T.H., Wriugh, R.H., Vlasic, T.C., and Spangle, W.E. 1979. Relative slope stability and land-use planning in the San Francisco Bay region, California. *US Geological Survey Professional*, 944p.
12. Ownegh, M. 2005. Landslide hazard zonation and damage watershed pilgrimage Gorgan, research projects, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
13. Saaty, T. 1980. *The analytical hierarchy process*. New York, McGraw-Hill.
14. Shariat Jafari, M. 1996. *Landslide (Foundation and Principal of the Natural Slope Stability)*. Sazeh Publication, 218p.
15. Shadfar, S., Yamani, M., Ghoddusi, J., and Ghayoumian, J. 2007. Landslide Hazard Zonation Using Analytical Hierarchy Method A Case Study: Chalkrood Catchment. *Pajouhesh and Sazandegi*, 75: 118-126.
16. Sharifi, M.A., and Retsios, V. 2003. Site selection for waste disposal through spatial multiple criteria decision analysis. In: *Proceedings of the 3rd International conference on decision support for telecommunications and information society DSTIS*, 4-6 September 2003, Warsaw, Poland, 15p.
17. Tkach, R.J., and Simonovic, S.P. 1997. A new approach to multi-criteria decision making in water resources. *J. Geographic Information and Decision Analysis*. 1:1. 25-43.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(1), 2012*

*<http://jwfst.gau.ac.ir>*

## **Landslide Hazard Zonation Using Spatial Multi Criteria Evaluation Method (SMCE) (Case Study: Shalmanrood Watershed)**

**\*M. Hassanzadeh Nafoti<sup>1</sup>, M. Chabok Boldaje<sup>2</sup> and Z. Ebrahimi Khosfi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Islamic Azad University, Maybod Branch, <sup>2</sup>M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Islamic Azad University, Maybod Branch, <sup>3</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Desert Region Management

Received: 2011/01/17; Accepted: 2011/10/02

### **Abstract**

Landslides are natural disasters that cause a lot of financial and life losses in the country, annually. Identifying high risk areas can reduce the damages and be effective on land development policies. In this research, spatial multi criteria evaluation method was used for landslide hazard zonation. Maps of various factors were made using image satellite, thematic maps and field observation. Criteria tree was designed for factors and constraints in ILWIS software. Geology, slope, aspect, land use and proximity to roads, rivers and faults maps as factors and the slope map and the river as constraint were introduced to the model. After weighting the factors and sub factors the landslide susceptibility map was obtained as a value from 0 to 1 respectively. The final map was classified from very low to very high susceptibility category and was crossed with landslide distribution map to check its accuracy. The results showed that over 85 percent of landslides locate in high and very high susceptibility classes so map accuracy was confirmed.

**Keywords:** Landslide hazard zonation, Spatial multi criteria evaluation, Geographical information system, Shalmanrood Watershed

---

\* Corresponding Author; Email: [hasanzadeh.m@maybodiau.ac.ir](mailto:hasanzadeh.m@maybodiau.ac.ir)