

ارائه‌ی مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از ژئومورفولوژی کمی

(مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی سانج یزد)

مهدی تازه^{۱*}، روح‌الله تقی‌زاده‌مهرجردی^۱، ابوالحسن فتح‌آبادی^۲، سعیده کلانتری^۱
^۱ گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد
^۲ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گلستان

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت:

۹۳/۰۶/۲۹

اصلاح:

۹۴/۰۱/۳۰

پذیرش:

۹۵/۰۷/۷

واژگان کلیدی:

پهنه‌بندی

زمین‌لغزش

ژئومورفومتری

درخت تصمیم

زمین‌لغزش را می‌توان به عنوان یکی از چالش‌های مهم طبیعی و انسانی در نظر گرفت که هم عرصه‌های طبیعی و هم جوامع بشری متأثر از آن است. عوامل متعددی همچون ویژگی‌های فیزیکی حوزه‌ی آبخیز، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، هواشناسی و هیدرولوژی از جمله مهم‌ترین عوامل طبیعی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش است. پهنه‌بندی زمین‌لغزش، در مدیریت این پدیده و برنامه‌ریزی برای کاهش خسارت‌های ناشی از آن نقش قابل توجهی دارد. تاکنون روش‌های مختلفی برای این پهنه‌بندی زمین‌لغزش استفاده و بررسی شده‌است. در این مطالعه برای پهنه‌بندی این خطر، از پارامترهای ژئومورفومتری که در مدل‌سازی رقومی عوارض سطح زمین به کار می‌رود، استفاده شده‌است؛ بدین منظور ابتدا با استفاده از تفسیر چشمی عکس‌های هوایی، موقعیت زمین‌لغزش‌های واضح، مشخص و نقشه‌ی آن، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. سپس با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، پارامترهای ژئومورفومتری در محدوده‌ی زمین‌لغزش‌ها، با یک شبکه‌ی نمونه‌برداری تصادفی متراکم استخراج و در تحلیل اهمیت این پارامترها، از درخت تصمیم استفاده شد. سپس با استفاده از نقشه‌ی پارامترهای ژئومورفومتری در کل منطقه، نقشه‌ی زمین‌لغزش برای کل محدوده‌ی مورد مطالعه تعمیم داده شد. ارزیابی نتایج به دست آمده، نشان می‌دهد که پهنه‌بندی رقومی زمین‌لغزش با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتری، دارای دقت ۸۸/۲ درصد است. از بین داده‌های مورد استفاده، ۲۰ درصد داده‌ها برای آزمون کنار گذاشته شد. دقت ارزیابی نتایج به دست آمده‌ی مدل بر روی داده‌های آزمون، ۷۴/۴ درصد است. از بین پارامترهای مورد استفاده، پارامترهای شیب به صورت ۱۰۰ درصد، انحنای کل با ۷۹ درصد و انحنای عمومی با ۱۱ درصد از بیشترین تأثیر و اهمیت در مدل برخوردار است.

۱- مقدمه

بلاایای طبیعی هر ساله در سطح جهان، خسارات مالی و جانی فراوانی به جوامع انسانی وارد می‌سازد. در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵، حرکت‌های توده‌ای به‌عنوان یکی از گسترده‌ترین انواع بلاایای طبیعی، ۴/۸۹ در صد این بلایا را به خود اختصاص داده‌است (Kanungo et al, 2006). حرکت‌های توده‌ای، سالانه باعث مرگ ۱۰۰۰ نفر در سطح جهان می‌شود

(Lee and Pradhan, 2007). خطر حرکت‌های توده‌ای را می‌توان به عنوان احتمال وقوع زمین‌لغزش، بر اساس ارتباط بین فاکتورهای مؤثر در حرکت توده‌ای هر منطقه تعریف کرد (Guzzetti et al, 2005). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نیز شامل جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل و تفسیر مقادیر زیادی از داده‌های زمینی، برای تعیین خطر زمین‌لغزش در هر نقطه می‌باشد (Conforti et al., 2014).

به سبب طبیعت پیچیده‌ی زمین لغزش‌ها، تعیین خطر زمین‌لغزش و تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی ساده نیست؛ بدین‌منظور تاکنون روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی این خطر گسترش یافته‌است. روش‌هایی را که در این زمینه وجود دارد، می‌توان به دو دسته‌ی کلی کمی و کیفی تقسیم‌بندی کرد. روش‌های کیفی براساس دانش و تجربه‌ی متخصص می‌باشد و اجرای آن در مناطق مختلف، دشوار است. همچنین صحت نقشه‌های به دست آمده از این روش، به شناخت و تجربه‌ی متخصص از فرایند و عرصه‌ی مورد مطالعه بستگی دارد. در حالی که در روش‌های کمی، نظر متخصص تأثیر کمتری دارد و برای مجموعه داده‌های مشابه، نتایج مشابهی ارائه می‌شود. روش‌های کمی نیز خود به سه دسته تقسیم می‌شود: روش‌های آماری، احتمالاتی و روش‌های تعیینی. روش‌های آماری نیز به دو صورت روش‌های دو و چند متغیره دیده می‌شود (Kanungo et al, 2006). در روش‌های دو متغیره برای هر پارامتر مؤثر در زمین‌لغزش، نقشه‌های کلاسه‌بندی تهیه می‌شود و با مقایسه‌ی این نقشه‌ها با نقشه‌ی زمین لغزش‌های منطقه، وزن‌هایی که نشان‌دهنده‌ی اهمیت هر یک از پارامترها در وقوع زمین لغزش در منطقه می‌باشد، محاسبه می‌گردد. در این روش فرض می‌شود که فاکتورهای مختلف با یکدیگر همبستگی ندارند (Suzen and Doyuran, 2004). در روش‌های چند متغیره، نقشه‌های عوامل مؤثر بر زمین لغزش نسبت به حالت وجود زمین لغزش یا فقدان آن مقایسه می‌گردد. سپس سهم نسبی هر پارامتر و تأثیر متقابل آنها در شکل‌گیری این پدیده در یک منطقه تعیین می‌شود (Kanungo et al, 2006). در طی دهه‌ی ۱۹۷۰، مهندسان زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیست‌ها برای تهیه‌ی نقشه‌های حساسیت به زمین‌لغزش، به طور گسترده از روش‌های کیفی استفاده نموده‌اند. در طی دهه‌های اخیر با پیشرفت سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و بهبود قابلیت مدل‌سازی با کامپیوتر، از روش‌های کمی برای تهیه‌ی این نقشه‌ها استفاده شده‌است (Wang et al, 2013 and Bai et al, 2010). در این زمینه، روش رگرسیون لجستیک در تحقیقات سوزن و دویورا^۱ (۲۰۰۴)، لیبی و پرادهان^۲ (۲۰۰۷)، پرادهان^۳ و همکاران (۲۰۱۰)، بوی^۴ و همکاران (۲۰۱۰)، وانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۳) و پرادهان^۶ (۲۰۱۰)؛ روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی در تحقیقات کانوگو^۷ و همکاران (۲۰۰۶)، کانفورتی^۸ و همکاران (۲۰۱۴) و بوی^۹ و همکاران (۲۰۱۲)؛ روش نوروفازی و درخت تصمیم در تحقیقات تسای^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۳) و وانگ و نیو^{۱۱} (۲۰۰۹)، پانگ^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۲)، برای پهنه‌بندی

¹ Suzen and Doyura

² Lee and Pradhan

³ Pradhan

⁴ Bui

⁵ Wang

⁶ Pradhan

⁷ Kanungo

⁸ Conforti

⁹ Bui

¹⁰ Tsai

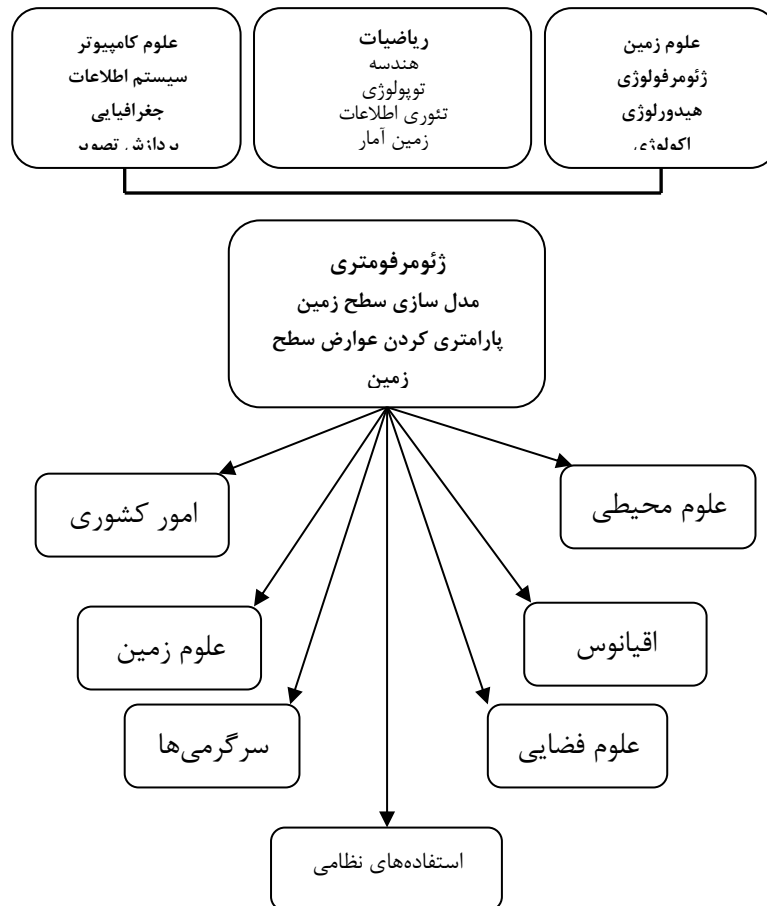
¹¹ Wang and Niu

¹² Pang et

حرکت‌های توده‌ای استفاده شده است. وانگ و نیو (۲۰۰۹)، قابلیت روش درخت تصمیم در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در چین ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده از این تحقیق، نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر این روش نسبت به ۷ روش دیگر شامل حداقل فاصله، فاصله‌ی ماهالانوبیس، درست‌نمایی حداکثر، حداقل فاصله، IsoData, K-means, Parallelepiped و Information Content Model بوده است. بوی و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از سه روش درخت تصمیم، ماشین بردار تصمیم و روش بیز، خطر وقوع زمین لغزش در استان هواپین ویتنام را بررسی کردند. در این تحقیق، با تقسیم داده به دو دسته‌ی آموزش (۷۰ درصد) و تست (۳۰ درصد) و در نظر گرفتن ده متغیر مستقل، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تهیه شد. با توجه به داده‌های تست، روش بردار پشتیبان، عملکرد بهتری نسبت به دو روش دیگر داشت.

از طرف دیگر مطالعات ژئومورفومتری در دنیا و به خصوص در ایران، از مباحث بسیار جدید در ژئومورفولوژی کمی و تجزیه و تحلیل عوارض سطح زمین به شمار می‌رود. پیشرفت سیستم اطلاعات جغرافیایی در کنار شبیه‌سازی‌های ریاضی و آماری، سبب شده است که قابلیت‌های استفاده از مدل‌های رقومی زمین در مطالعات مختلف از جمله حرکت‌های توده‌ای افزایش یابد.

پارامترهای ژئومورفومتری بر مبنای استخراج اطلاعات از مدل‌های رقومی ارتفاع، بر پایه‌ی معادلات ریاضی و اشکال هندسی می‌باشد. ژئومورفومتری، دانش کمی کردن عوارض سطح زمین است (Pike, 2000; Rasemann et al, 2004). این رویکرد نوین، در زمینه‌ی تحلیل‌های کارتوگرافیک عوارض سطح زمین بر پایه‌ی محاسبات کامپیوتری و تغییرات ارتفاعی عوارض سطح زمین می‌باشد. این دانش، به نوعی تلفیقی در زمینه‌ی علوم مختلفی همچون ریاضیات، علوم زمین و کامپیوتر است و زمینه‌ی ارتباط علوم مختلفی مثل ژئومورفولوژی و جغرافیا را با مدل‌های عددی و ریاضی برقرار کرده است (Pike, 2000). شکل زیر ارتباط علوم مختلف را با ژئومورفومتری، همچنین کاربردهای این دانش را در سایر علوم نشان می‌دهد.



شکل ۱- ژئومورفومتری و ارتباط آن با کاربر نهایی

مدل‌های مختلف ژئومورفومتری، اولین بار توسط ایوانز^۱ (۱۹۷۲) به صورت خلاصه در زمینه‌ی تحلیل ریاضی عوارض سطح زمین، در حالت کلی و در تفکیک عوارض سطح زمین، به صورت خاص استفاده شد. مورفومتری عوارض سطح زمین نیز در قالب ژئومورفولوژی کمی بررسی شد. منظور از عوارض سطح زمین، سطح تماس بین آتمسفر و لیتوسفر است. ارائه‌ی مدل‌های عددی (لی^۲ و همکاران، ۲۰۰۵)، در قالب مدل‌های رقومی ارتفاع یا تجزیه و تحلیل ارتفاع و علوم توپوگرافی مطرح می‌باشد (Smith, 2004).

بخشی از مطالعات مربوط به تجزیه و تحلیل کمی عوارض سطح زمین، در قالب مطالعات ژئومورفومتری است که شامل مدل سازی سطح زمین، کمی کردن عوارض و تجزیه و تحلیل آن می‌باشد. علوم مختلف مرتبط با این مباحث، شامل علوم زمین، ریاضیات و کامپیوتر است. در بخش علوم زمین زیربخش‌های ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و اکولوژی؛ در بخش ریاضیات زیربخش‌های هندسه، توپولوژی، نظریه‌ی اعداد و زمین آمار؛ و در بخش علوم کامپیوتر زیربخش‌های ژئوانفورماتیک، پردازش تصویر و تشخیص الگوها مطرح می‌باشد (Pike, 2000).

پارامتری کردن ناهمواری‌ها و آنالیز مکانی داده‌ها، به منظور یافتن ارتباط بین اشکال واقعی و مقادیر عددی است. وود^۳ (۱۹۹۶) الگوریتم‌های عددی را برای توصیف کمی ناهمواری‌ها، با استفاده از تعداد محدودی عدد و رقم برای

¹ Evans

² Li

³ Wood

طبقات مورفومتری و اشکال آن ارائه کرد. قواعد تعریف شده برای هر کلاس مورفومتری، بر پایه‌ی مقدار شیب و تقعر آن بنا شده بود که هر دو از مدل رقومی ارتفاع استخراج می‌شد. رویکرد وی بر پایه‌ی نظریه‌ی ایوانز (۱۹۷۲) است که سطح زمین را به عنوان یک سطح پیوسته فرض می‌کند که می‌توان بر اساس یک معادله‌ی چندجمله‌ای درجه‌ی ۲ آن را تعریف کرد.

$$f = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f$$

در این معادله، x و y موقعیت یا مختصات جغرافیایی و حروف A تا F ، ضرایب چندجمله‌ای هستند که از ویژگی‌های ناهمواری قابل استخراج می‌باشد. طبقات مورفومتری پیشنهاد شده توسط وود، شامل لبه‌ها، کانال‌ها، سطوح، حفره‌ها، رئوس و گردنه‌ها است؛ البته بعدها طبقات دیگری توسط فلیسی^۱ (۱۹۹۹) اضافه شد؛ از قبیل مناطق پلکانی و پرتگاه. استفاده از پارامترهای مورفومتری، بیانگر پیشرفت در توصیف ویژگی‌های هر یک از اجزای مدل‌های رقومی ارتفاعی است. این پارامترها به طور کامل، بیان‌کننده‌ی ترکیب و ارتباط پیکسل‌ها در بیان لندفرم‌های مختلف می‌باشد. (Bolongaro et al, 2005).

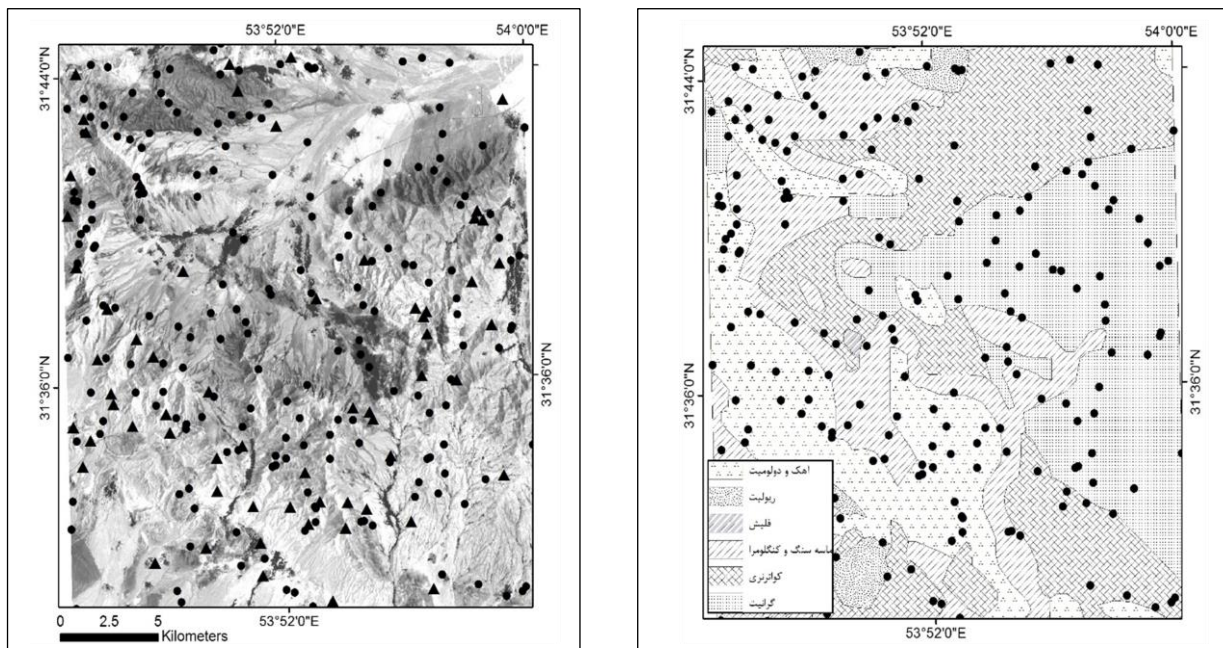
اهداف موردنظر در این تحقیق، در گام اول جمع‌آوری اطلاعات مربوط به زمین لغزش‌ها و عوامل ایجادکننده‌ی آنها در منطقه‌ی مورد مطالعه، سپس تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از درخت تصمیم و در نهایت برآورد کارایی این روش، نسبت به روش‌های مرسوم در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه مربوط به نقشه‌ی توپوگرافی سانچ با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، توسط سازمان نقشه‌برداری کشور به شماره‌ی ۶۷۵۳-۲ تهیه شده است که مختصات آن، طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۴ درجه طول شرقی و عرض جغرافیایی آن، ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی است. منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ زمین‌شناسی، در چهارگوش زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ منطقه‌ی خضرآباد و در بخش جنوب شرقی آن واقع شده است. بخش عمده‌ی تشکیلات زمین‌شناسی این منطقه با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰، از نوع تشکیلات آذرین، گرانیت و ریولیت، آهک کرتاسه تفت و دولومیت، کنگلومرا و شیل و ماسه‌سنگ سنگستان است. شکل ۲، نقشه‌ی شبکه‌ی نقاط مورد استفاده را به همراه نقشه‌ی زمین‌شناسی خلاصه شده‌ی منطقه نشان می‌دهد.

^۱ Felici



شکل ۲- نقشه‌ی شبکه‌ی نقاط مورد استفاده (نقاطی که با نماد مثلثی نشان داده شده‌اند، ۲۰ درصد مربوط به آزمون مدل می‌باشند) در سمت چپ و نقشه‌ی زمین شناسی منطقه در سمت راست

۲-۲- روش کار

در تهیه‌ی نقشه‌ی واقعیت زمینی، ابتدا با استفاده از فتواندکس مربوطه بیش از ۳۰ قطعه عکس‌های هوایی در محدوده‌ی جغرافیایی مذکور استخراج گشت و پس از تفسیر استریوسکوپي، مرز لغزش‌های قابل تشخیص بر روی آن تفکیک شد. سپس در مناطقی که لغزش‌ها به وضوح قابل تشخیص نبودند، به عملیات بازدید زمینی پرداختند و در نهایت مرز لغزش‌های موجود در منطقه به صورت یک نقشه در محیط GIS وارد شد. بدین ترتیب بخشی از داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰,۰۰۰ از سازمان نقشه‌برداری کشور و بخش دیگر، مدل‌های رقومی ارتفاعی^۱ SRTM با ابعاد ۳۰ متری است. محاسبات ژئومورفومتری نیز با استفاده از ابزار Dem Surface صورت گرفت که ابزاری الحاقی به نرم‌افزار ArcGIS است. اغلب الگوریتم‌های مورد استفاده در محاسبه‌ی پارامترهای ژئومورفومتری، در قالب یک پنجره‌ی متحرک و تعریف رابطه‌ی همسایگی بین پیکسل‌های مجاور هم استوار می‌باشد؛ به طور مثال، یک پنجره‌ی ۳*۳ پیکسلی یا ۵*۵ پیکسلی بر روی داده‌های رستری حرکت می‌کند و نسبت‌ها و روابط بین پیکسل‌های مجاور یکدیگر، محاسبه و با حرکت این پنجره بر روی داده‌های اولیه و انجام محاسبات بر روی آنها، داده‌های جدید تولید می‌شود. پارامترهای ژئومورفومتری، از مشتقات مدل رقومی ارتفاعی است و می‌توان با استفاده از پنجره‌های با الگوریتم‌های مختلف، محاسبات ژئومورفومتری را انجام داد.

در مورد پنجره‌های با ابعاد بزرگتر، روش کار به همین صورت می‌باشد و تنها محاسبات در پنجره‌هایی با ابعاد ۵*۵ پیکسل صورت می‌گیرد. مهمترین الگوریتم‌های مورد استفاده در ژئومورفومتری، شامل محاسباتی است که بر روی

^۱ Shuttle Radar Topography Mission

مشتق اول و دوم داده‌های ارتفاعی در پنجره‌ها یا فیلترهایی با ابعاد مختلف اعمال می‌شود (Shary, 1995 ; Evans, 1972) ; (Zevenbergen and Thorne, 1987). بعدها توسط Young - Evans تغییراتی بر روی آنها ایجاد شد (Shary et al, 2002). الگوریتم‌های ایوان - یانگ شامل توابع چند جمله‌ای، بدین منظور می‌باشد (Pennock et al, Young, 1978, Evans, 1972) (2001).

که در این معادلات p, q, r, s, t و z_0 ضرایبی هستند که با استفاده از فرمول‌های زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$p = \frac{z_3 + z_6 + z_9 - z_1 - z_4 - z_7}{6. \Delta s}$$

$$q = \frac{z_1 + z_2 + z_3 - z_7 - z_8 - z_9}{6. \Delta s}$$

$$r = \frac{z_1 + z_3 + z_4 + z_6 + z_7 + z_9 - 2. (z_2 + z_5 + z_8)}{3. \Delta s^2}$$

$$s = \frac{-z_1 + z_3 + z_7 - z_9}{4. \Delta s^2}$$

$$t = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_7 + z_8 + z_9 - 2. (z_4 + z_5 + z_6)}{3. \Delta s^2}$$

$$z_0 = \frac{5. z_5 + 2. (z_2 + z_4 + z_6 + z_8) - (z_1 + z_3 + z_7 + z_9)}{9}$$

که بر طبق فرمول توابع چندجمله‌ای مورد استفاده، مقادیر p, q, r, s, t تقریباً مشتق‌های نسبی زیر است:

$$p = \frac{\partial z}{\partial x}$$

$$q = \frac{\partial z}{\partial y}$$

$$r = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$$

$$s = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}$$

$$t = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$$

در معادلات چندجمله‌ای ایوان - یانگ، داشتن ۶ ضریب ضروری نیست؛ اگرچه تمام این معادلات جزو معادلات اصلی می‌باشند، معمولاً بسیار به یکدیگر نزدیک هستند. در الگوریتم‌های ارائه شده توسط Shary (۱۹۹۵)، توابع چند جمله‌ای زیر مورد استفاده قرار گرفته‌است:

$$z = \frac{r. x^2}{2} + s. x. y + \frac{t y^2}{2} + p. x + q. y + z_5$$

که در آن p, q, r, s, t ضرایبی هستند که باید تعریف شوند و z_5 مقدار ارتفاع مشاهده شده در نقطه‌ی مرکزی است.

برازش این معادله به یک پنجره‌ی ۳ * ۳ با کمترین توان‌ها، به صورت زیر خواهد بود:

$$p = \frac{z_3 + z_6 + z_9 - z_1 - z_4 - z_7}{6. \Delta s}$$

$$q = \frac{z_1 + z_2 + z_3 - z_7 - z_8 - z_9}{6. \Delta s}$$

$$r = \frac{z_1 + z_3 + z_7 + z_9 - 2 \cdot (z_2 + z_8) + 3(z_4 + z_6) - 6 \cdot z_5}{5 \cdot \Delta s^2}$$

$$s = \frac{-z_1 + z_3 + z_7 + z_9}{4 \cdot \Delta s^2}$$

$$t = \frac{z_1 + z_3 + z_7 + z_9 - 2 \cdot (z_4 + z_6) + 3(z_2 + z_8) - 6 \cdot z_5}{5 \cdot \Delta s^2}$$

با توجه به معادلات فوق، محاسبات ژئومرفومتري با استفاده از روابط زیر قابل اجرا می‌باشد.

جدول ۱: معادلات مربوط به محاسبه‌ی پارامترهای ژئومرفومتري

پارامتر	معادله‌ی ریاضی
Profile Curvature	$-\frac{p^2 r + 2pqs + q^2 t}{(p^2 + q^2)(\sqrt{1 + p^2 + q^2})^3}$
Plan Curvature	$\frac{q^2 r - 2pqs + p^2 t}{(\sqrt{p^2 + q^2})^3}$
Tangential Curvature	$-\frac{q^2 r - 2pqs + p^2 t}{(p^2 + q^2)(\sqrt{1 + p^2 + q^2})^3}$
Longitudinal Curvature	$-2 \left(\frac{p^2 r + pqs + q^2 t}{p^2 + q^2} \right)$
Cross-Sectional Curvature	$2 \left(\frac{q^2 r - pqs + p^2 t}{p^2 + q^2} \right)$
Total Curvature	$r^2 + 2s^2 + t^2$
General Curvature	$-2(r + t)$

همان‌طور که گفته شد، برای انجام این محاسبات بر روی مدل‌های رقومی ارتفاعی و استخراج پارامترهای ژئومرفومتري، از ابزار Dem Surface استفاده شد. این ابزار به عنوان یک بسته‌ی الحاقی به نرم‌افزار ArcGIS قابل استفاده می‌باشد.

۲-۳- درخت تصمیم

مدل درختی طبقه‌بندی و رگرسیون، یک روش ناپارامتری الگوریتمی است که به پیش‌بینی متغیرهای کمی یا متغیرهای طبقه‌بندی شده براساس مجموعه‌ای از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی کمی و کیفی می‌پردازد. در این روش مجموعه‌ای از شرط‌های منطقی^۱ به صورت یک الگوریتم با ساختار درختی، برای طبقه‌بندی یا پیش‌بینی کمی یک متغیر به کار می‌رود. ایجاد درخت تصمیم شامل دو مرحله است. مرحله‌ی اول، مرحله‌ی ایجاد و رشد درخت است. این مرحله شامل پیوند^۲ و انشعاب^۳ می‌باشد. مرحله‌ی دوم، مرحله‌ی توقف و هرس^۴ است. هدف از این مرحله، به حداقل رساندن خطای پیش‌بینی است. در تحقیق حاضر از نرم‌افزار See5 برای ساختن درخت تصمیم و در نهایت، پیش‌بینی زمین‌لغزش

^۱ if-then

^۲ Merging

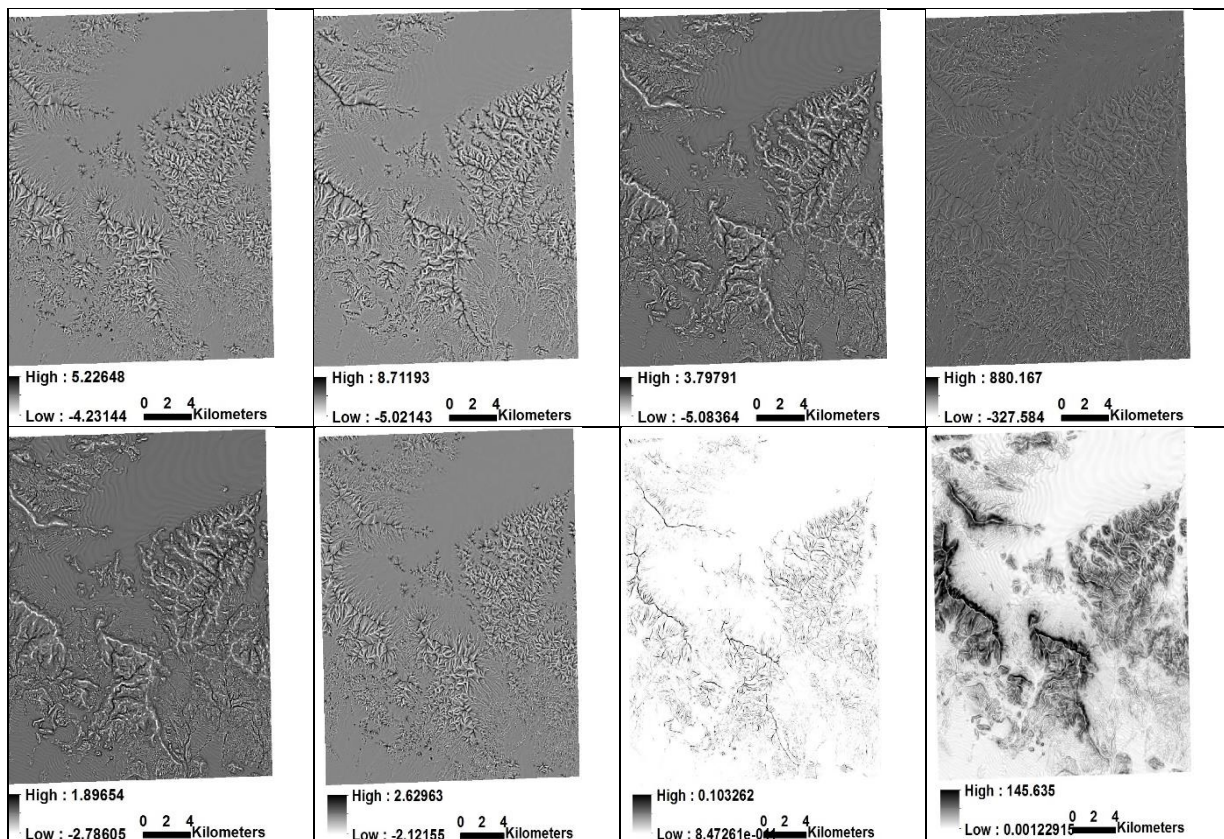
^۳ Splitting

^۴ Pruning

استفاده شد. متغیرهای مورد استفاده در این مدل، شامل متغیر مستقل و یک متغیر وابسته‌ی صفر و یک است که نشان‌دهنده‌ی عدم حضور و یک نشان‌دهنده‌ی وجود زمین لغزش در هر پیکسل می‌باشد. همچنین برای بررسی عملکرد مدل در برآورد متغیرهای وابسته (دو کلاس)، از ماتریس خطا و دقت کلی استفاده شد. توضیح این نکته لازم است که داده‌ها به طور تصادفی به دو دسته‌ی آموزش (۸۰ درصد از داده‌های نمونه‌برداری شده) و آزمون (۲۰ درصد از داده‌های نمونه‌برداری شده) تقسیم شدند.

۳- یافته‌ها (نتایج)

در ابتدا، نقشه‌های پایه با استفاده از نرم‌افزارهای سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تهیه و پارامترهای ژئومورفومتری محاسبه شد. بدین منظور مدل رقومی ارتفاعی به ابزار الحاقی dem Surface وارد و تک تک پارامترهای ژئومورفومتری، محاسبه و استخراج شد. این محاسبات، بر اساس معادلات موجود در بخش مواد و روش‌ها می‌باشد. ذکر این نکته لازم است که نحوه‌ی اعمال معادلات در ابزار الحاقی مذکور، بدین صورت است که به طور مثال پنجره‌ی ۳*۳ سلولی از ۹ پیکسل اول مدل رقومی ارتفاعی، انتخاب می‌شود و به هر یک از سلول‌ها یک کد از z1 الی z9 اختصاص می‌یابد. این پنجره به طور لغزان، کل سلول‌های مدل رقومی ارتفاعی را طی می‌کند و نقشه‌ی تمام پارامترهای ژئومورفومتری تهیه می‌شود. نقشه‌ی پارامترهای ژئومورفومتری تهیه شده، به صورت زیر می‌باشد:

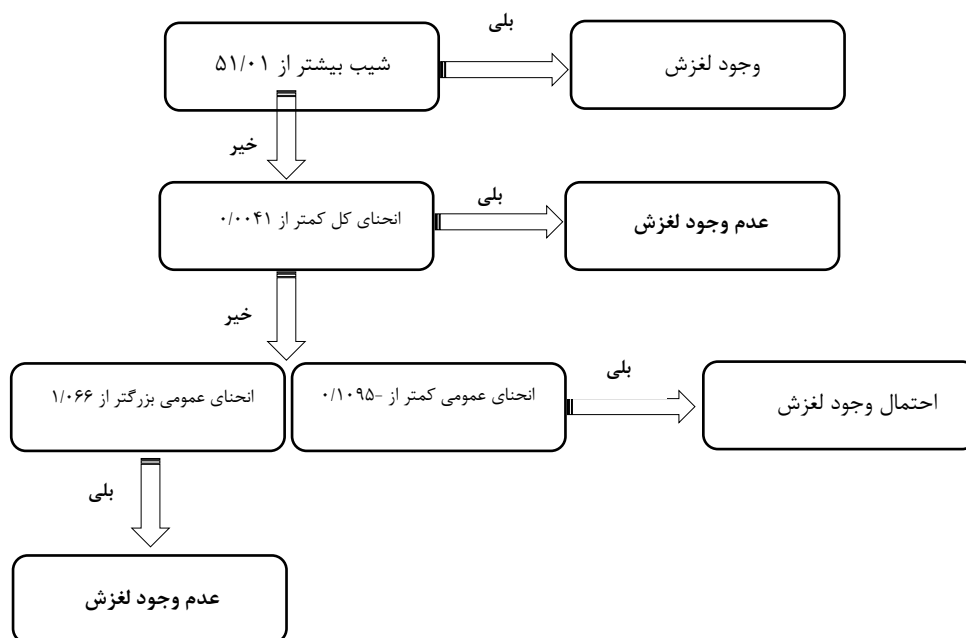


شکل ۳- نقشه‌ی پارامترهای ژئومورفومتری (به ترتیب در ردیف اول از چپ به راست شامل نقشه‌های **General Cross Sectional Curvature**،

Plan Curvature، **Longitudinal Curvature**، **Curvature** و در ردیف دوم از چپ به راست شامل **Tangential Profile Curvature**،

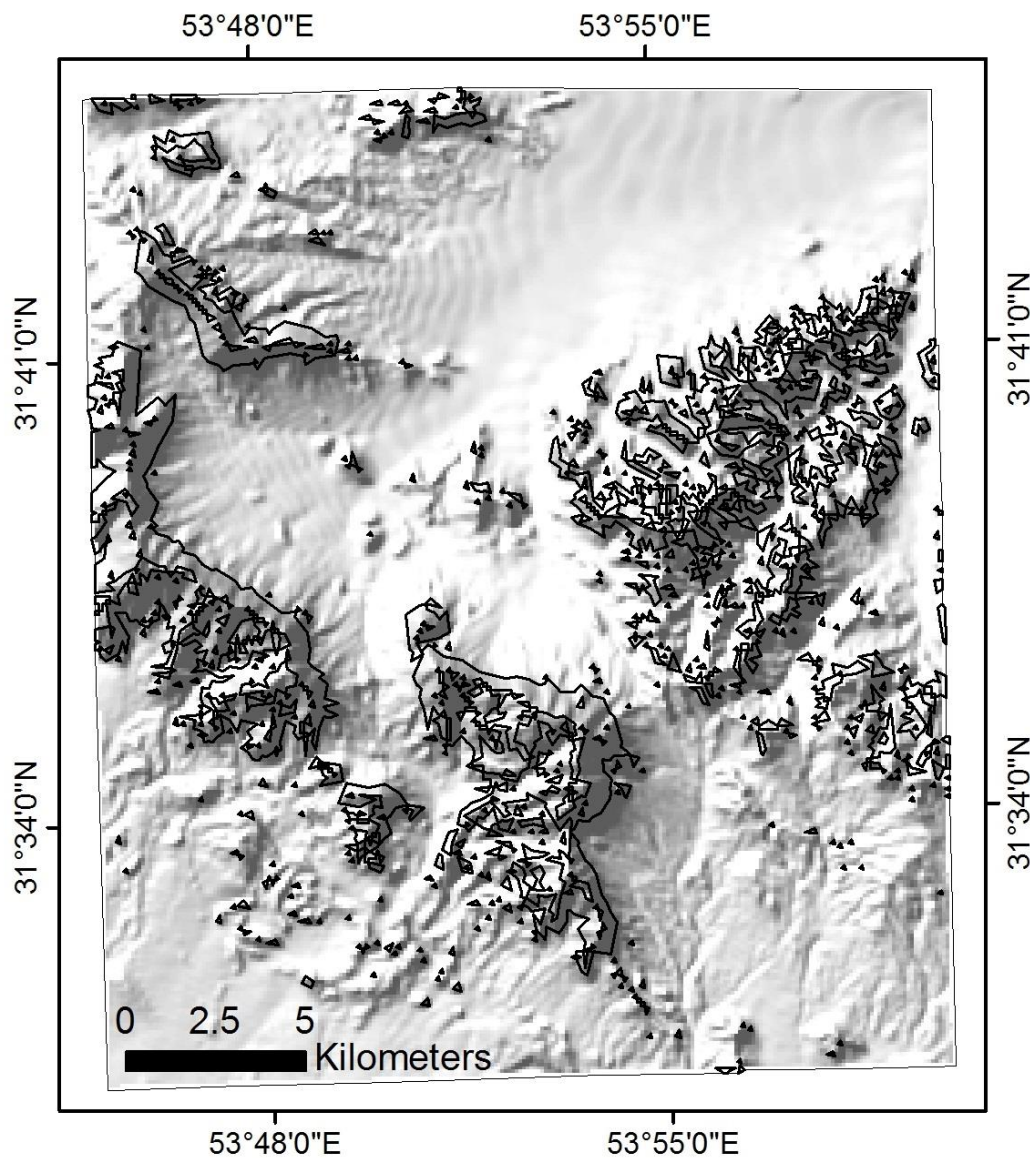
Curvature، **Total Curvature** و نقشه‌ی شیب می‌باشد).

پس از تهیه نقشه‌های پایه، آنها را به صورت رستر در آورده و با استفاده از روش درخت تصمیم، به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود. نتایج این قسمت نشان داد که استفاده از پارامترهای ژئومورفومتری، به میزان قابل توجهی امکان تشخیص وجود زمین‌لغزش یا فقدان آن را فراهم می‌آورد؛ بدین ترتیب که پارامترهای شیب به صورت ۱۰۰ در صد، انحنای کل با ۷۹ در صد و انحنای عمومی با ۱۱ در صد از بیشترین تأثیر و اهمیت در مدل برخوردار است. نتایج ارزیابی مدل مورد استفاده بر روی داده‌های آموزش، دارای دقت ۸۸/۲ در صد بوده است. از بین داده‌های مورد استفاده، ۲۰ در صد داده‌ها برای آزمون کنار گذاشته می‌شود. ارزیابی نتایج مدل بر روی داده‌های آزمون، دارای دقت ۷۴/۴ است. با توجه به اهمیت پارامترهای ژئومورفومتری، نتایج به دست آمده از درخت تصمیم را می‌توان به صورت نمودار جریان زیر بیان کرد. این نمودار را می‌توان به منظور تشخیص زمین‌لغزش‌ها از سایر مناطق به کار برد.



شکل ۴- نتایج به دست آمده از درخت تصمیم در منطقه مورد مطالعه

با استفاده از نتایج به دست آمده از درخت تصمیم و نقش مهم‌ترین پارامترهای کسب شده برای تشخیص زمین‌لغزش، به پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از لحاظ وقوع این پدیده پرداخته شد. محاسبات انجام‌شده بر روی نقشه‌های استخراج شده در مورد پارامترهای ژئومورفومتری، با استفاده از ابزارهای آنالیز رستر در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. نتایج این کار به صورت نقشه‌ی زیر، شامل پیش‌بینی محدوده‌های لغزشی است.



شکل ۵- پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از درخت تصمیم و پارامترهای ژئومورفومتری (محدوده‌هایی که با خطوط تیره مشخص شده‌است، مستعد زمین لغزش می‌باشند)

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از روش درخت تصمیم، به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه‌ی سانچ یزد پرداخته شد. نتایج به دست آمده در این پژوهش، قابلیت مناسب این روش را در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. بدین صورت که با استفاده از مقادیر مختلف پارامترهای ژئومورفومتری و نقشه‌های به دست آمده از اعمال معادلات، می‌توان به نقشه‌های پیش‌بینی زمین لغزش دست یافت. بدین ترتیب با تهیه‌ی نقشه‌ی شیب، انحنا و انحنا‌ی عمومی و به کارگیری نتایج به دست آمده در این تحقیق، می‌توان سطح محتمل برای وقوع زمین لغزش را شناسایی کرد. در تفسیر نتایج به دست آمده از درخت تصمیم، می‌توان چنین گفت که بخش اعظم زمین لغزش‌ها در شیب‌های بالای ۵۱ درصد اتفاق افتاده‌است. در صورتی که شیب کمتر از این مقدار باشد؛ چنانچه مقدار انحنا‌ی کل کمتر از ۰/۰۰۴۱ باشد زمین لغزش رخ نمی‌دهد. اما چنانچه مقدار انحنا‌ی کل بیشتر از مقدار مذکور باشد، دو حالت اتفاق خواهد

افتاد؛ در صورتی که مقدار انحنای عمومی از ۰/۱۰۹۵ - کمتر باشد، احتمال رخ دادن زمین‌لغزش وجود دارد و در صورتی که مقدار این انحنا از ۱/۰۶۶ بیشتر باشد، زمین‌لغزشی به همراه نخواهد داشت. در این تحقیق، صحت نتایج به دست آمده از این مدل ۷۴/۴ درصد بود. این میزان صحت به دست آمده در مقایسه با تحقیقات وانگ و نیو (۲۰۰۹) با مقدار صحت ۹۹/۱۵ و بوی و همکاران (۲۰۱۲) با مقدار صحت ۹۲/۹ در صد — که به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش درخت تصمیم پرداخته‌اند — پایین می‌باشد؛ به این دلیل که در تحقیقات دیگر به غیر از خصوصیات ژئومتری، از خصوصیات دیگری مانند نوع کاربری، نوع سازند و ... نیز در پهنه‌بندی این خطر استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد، در بین پارامترهای ژئومورفومتری به ترتیب شیب، انحنای کل و انحنای عمومی مهمترین پارامترهای وقوع زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه است. در تحقیق بوی و همکاران (۲۰۱۲)، فاکتورهای فاصله از جاده، شیب و کاربری زمین به عنوان مهمترین فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش انتخاب شد. در تحقیق Tsai و همکاران (۲۰۱۳)، فاکتورهای شیب، کاربری و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده مهم‌ترین عوامل بودند. قابلیت روش درخت تصمیم در مقایسه با روش‌های متداول دیگر از قبیل رگرسیون لجستیک، شبکه‌ی عصبی و غیره از این قابلیت برخوردار است که به رتبه‌بندی اهمیت عوامل مختلف در وقوع زمین‌لغزش در یک منطقه می‌پردازد. این امر به ما این امکان را می‌دهد که برای تعیین نقشه‌های پهنه‌بندی و کنترل زمین‌لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه، به مقایسه‌ی فاکتورهای مؤثر در زمین‌لغزش و تمرکز بیشتر در فاکتور مورد نظر بپردازیم.

منابع

1. Atkinson, P. M. & R. Massari, "Generalized Linear modelling of Landslide Susceptibility in the Central Apennines, Italy", *Computer Geoscience*, 24, Pp. 373- 385, 1998.
2. Bai, S. B.; Wang, J.; Lü, G. N.; Zhou, P. G.; Hou, S. S. & S. N. Xu, 2010. GIS - based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China. *Geomorphology* 115. 23- 31.
3. Bohner, J. & O. Antonic, (2009). Land-surface parameters specific to topo-climatology. In: Hengl, T., Reuter, H. I. (Eds), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Elsevier, Amsterdam, pp. 192-226.
4. Bolongaro-Crevenna, A.; Torres-Rodríguez, V.; Sorani, V.; Frame, D. & M. A. Ortiz, 2005. Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico. *Geomorphology* 67, 407-422.
5. Bui, D. T.; Pradhan, B.; Lofman, O. & I. Revhaug, 2012. Landslide Susceptibility Assessment in Vietnam Using Support Vector Machines, Decision Tree, and Naive Bayes Models. *Mathematical Problems in Engineering* Volume 2012, Article ID 974638,
6. Bui, D. T.; Pradhan, B.; Lofman, O.; Revhaug, I. & O. B. Dick, 2012. Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and *GIS Computers & Geosciences* 45 199-211.
7. Conforti, M.; Pascale, S.; Robustelli, G. & F. Sdao, 2014. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy). *Catena* 113 236-250.
8. Dahal, R. K.; Hasegawa, S.; Nonomura, A.; Yamanaka, M.; Dhakal, S & P. Paudyal, 2008. "Predictive Modelling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence", *Geomorphology*, 102, Pp. 496- 510.
9. Evans, I. S., 1972. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: Chorley, R.J. (Ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology*. Methuen, London, pp. 17-90.

10. Felicísimo, A. M., 1999. Modelos Digitales Del Terreno. Curso Introductorio. <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>.
11. Gorsevski, P. V.; Jankowski, P. & P. E. Gessler, 2006. "Heuristic Approach for Mapping Landslide Hazard Integrating Fuzzy Logic with Analytic Hierarchy Process", *Control and Cybernetics*, Vol. 35, No. 1, Pp. 121- 146.
12. Gökçeoglu, C. & H. Aksoy, (1996), "Landslide Susceptibility Mapping of the Slopes in the Residual Soils of the Mengen Region (Turkey) by Deterministic Stability Analyses and Image Processing Techniques", *Engineering Geology*, 44, Pp. 147- 161.
13. Guzzetti, F.; Carrara, A.; Cardinali, M & P. Reichenbach, 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy. *Geomorphology*, vol. 31, no. 1-4, pp. 181-216.
14. Guzzetti, F.; Reichenbach, P.; Cardinali, M.; Galli, M. & F. Ardizzone, 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology* 72, 272-299
15. Li, Zhilin. Zhu, Qing. Gold, Christopher, Digital Terrain Modeling, Principles and Methodology, *CRC PRESS*, 2005.
16. Lee, S. & Pradhan, B, 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides* 4, 33-41.
17. Kanungo, D. P.; Arora, M. K.; Sarkar, S. & R. P. Gupta, 2006. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology* 85, 347-366.
18. Neuhauser, B. & B. Terhorst, "Landslide Susceptibility Assessment Using "Weights-of-evidence" Applied to a Study Area at the Jurassic Escarpment (SW- Germany)", *Geomorphology*, 86, Pp. 12- 24, 2007.
19. Pike, R. J., 2000. Geomorphometry - diversity in quantitative surface analysis. *Progress in Physical Geography* 24 (1), 1-20.
20. Pennock, D. J. & M. D. Corre, 2001. Development and application of landform segmentation procedures. *Soil & Tillage Research* 58, 151-162.
21. Pradhan, B. & S. Lee, 2010, Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Environmental Modelling & Software* 25, 747-759.
22. Schmidt, J. & A. Hewitt, 2004. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. *Geoderma* 121 (3-4), 243-256.
23. Shary, P. A., 1995. Land surface in gravity point's classification by a complete system of curvatures. *Mathematical Geology* 27, 373-390.
24. Suzen, M. L. & V. Doyuran, 2004. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. *Environmental Geology* 45, 665-679.
25. Tsai, F.; Lai, J. S.; Chen, W. W. & T. H. Lin, 2013. Analysis of topographic and vegetative factors with data mining for landslide verification. *Ecological Engineering* 61P, 669- 677.
26. Van Westen, C. J., "The Modelling of Landslide Hazards Using GIS", *Survey in Geophysics*, 21, Pp. 241- 255, 2000.
27. Wang, H.; Gangjun, L.; Weiya, X. & W. Gonghui, 2005. GIS-based landslide hazard assessment: an overview, *Progress in Physical Geography* ,vol. 29, no. 4, pp. 548-567.
28. Wang, L. J.; Sawada, K. & SH. Moriguch, 2013., Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based on FCM sampling strategy. *Computers & Geosciences* 81-92.
29. Wati, S.; Hastuti, T.; Wijoyo, S., & F. Pinem, "Landslide Susceptibility Mapping with Heuristic Approach in Mountainous Area, A Case Study in Tawangmangu Sub District, Central Java, Indonesia", *Int Arch Photo RS Spat InfSci*, Vol. 38, No. 8, Pp. 248-253, 2010.
30. Wood, J. D., 1996. The geomorphologic characterization of digital elevation models. PhD Dissertation, University of Leicester, UK.

31. Wu, W. M. & R. C. Sidle, "A Distributed Slope Stability Model for Steep Forested Basins", *Water Resources Research*, 31, Pp. 2097- 2110, 1995.
32. Gruber, S.; Huggel, C. & R. Pike, *Geomorphometric-Developments in Soil Science*.

Model of landslide hazard zonation and its effective factors using quantitative geomorphology (Case Study: Sanich region, Yazd)

Tazeh, M.^{1*}, Taghizadeh, R.¹, Fathabadi, A.², Kalantari, S.¹

1. *Combating Desertification Department, Faculty of Natural Resources, Ardakan University*
2. *Rangeland & Watershed Management Department, Faculty Natural Resources, Gonbad Kavous University*

Article History:**Received:**

September 20, 2014

Revised:

April 04, 2015

Accepted:

September 28, 2016

Keywords:

Zoning

Landslide

geomorphometry

decision tree

Abstract

Landslide can be considered as one of the important challenges of nature that affects natural areas and human societies. Several factors such as physical characteristics of the watershed, geology, soil structure, meteorology and hydrology are the most important environmental factors affecting in the landslide event. In order to reduce damage, landslide zoning have significant role in management of this phenomenon and planning. Many methods have been studied and used for landslide zoning. For landslide hazard zoning, geomorphometry parameters used in surface digital modeling, are applied in this study. For this purpose, by using visual interpretation of aerial photographs and clear landslide position; map was made in the GIS. Then, by using a digital elevation model, geomorphometry parameters of landslides area, were extracted with a dense random sampling network. The decision tree is used to analysis of these parameters importance. Then, by using the geomorphometry parameters, landslide maps were extended for all the area. The results evaluation shows that the landslide digital zonation using the geomorphometry parameters have 88.2% accuracy. 20% of the data were abandoned for the test. Model results accuracy evaluation on the test data was 74.4 percent. Among the used parameters, parameters slope with 100 percent, total curvature with 79% and a general curvature with 11% have greatest impact and it can be most important in the model.

* Corresponding Author: mtazeh@ardakan.ac.ir