

## کاربرد شاخص‌های کمی ژئومورفومتریک در شناسایی پهنه‌های مستعد زمین لغزش با استفاده از مدل SVM (مطالعه موردی: آزادراه خرم‌آباد - پل زال)

علی احمدآبادی\* - استادیار دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی  
مریم رحمتی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۲۲      تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۱/۲۸

### چکیده

شناخت و نحوه پراکنش فضایی لندفرمی به منظور درک و ارزیابی تحول آن‌ها، مطالعات پایدار دامنه‌ای و برنامه‌ریزی منطقه‌ای آن‌ها در آینده، از نیازهای اساسی در علم ژئومورفولوژی کاربردی است. اهمیت مطالعه لندفرم‌ها به حدی است که امروزه موضوع مطالعه ژئومورفومتری به‌عنوان زیررشته‌ای از ژئومورفولوژی ارائه می‌شود. ژئومورفومتری به اندازه‌گیری کمی سطوح و لندفرم‌ها بر اساس تغییرات ارتفاعی تحت تأثیر تابع فاصله می‌پردازد. شاخص‌های ژئومورفومتریک، ویژگی‌های شکل عوارض زمینی را به صورت کمی بیان می‌دارند. این تحقیق با تأکید بر استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک و الگوریتم SVM به شناسایی سطوح مستعد زمین لغزش در آزادراه خرم‌آباد - پل زال به عنوان یکی از راه‌های ارتباطی مهم کشور می‌پردازد. شاخص‌های مورد استفاده شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، وضعیت گسل‌ها، شبکه زهکشی و کاربری اراضی است که به همراه شاخص‌های ژئومورفومتریک شامل انحنای پروفیل، انحنای پلان و انحنای کلی با استفاده از رویکرد هوش مصنوعی و توابع خطی و چندجمله‌ای الگوریتم SVM در شناسایی سطوح مستعد لغزش استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک، انحنای پلان، پروفیل و کلی توانسته ویژگی‌های شکلی سطوح را به صورت کمی مشخص نماید و در نتیجه نقش مهمی در افزایش دقت شناسایی سطوح مستعد لغزش داشته است. با توجه به به هم ریختگی و زبری سطوح لغزشی شاخص‌های ژئومورفومتریک کارایی خوبی در شناسایی پهنه‌های لغزشی داشته‌اند. ارزیابی دقت با استفاده از داده‌های پیمایش زمینی ضمن تأکید این مطلب نشان می‌دهد تابع چندجمله‌ای در شناسایی سطوح مستعد لغزش، دقت بیشتری نسبت به تابع خطی الگوریتم SVM داشته است که علت آن می‌تواند رفتار غیرخطی وقوع لغزش در منطقه مطالعاتی است و بنابراین تابع غیرخطی الگوریتم بهتر توانسته احتمال وقوع لغزش را مشخص نماید.

واژگان کلیدی: ژئومورفومتری، زمین لغزش، انحنای سطح، الگوریتم SVM، آزادراه خرم‌آباد - پل زال

## مقدمه

زمین‌لغزش‌ها از پدیده‌های مخرب طبیعی هستند که هرساله خسارات سنگینی به بار می‌آورند. گاهی جبران این خسارت‌ها ممکن نیست و یا به‌وقت و هزینه بسیار زیاد نیاز دارد. وقوع حرکات توده‌ای از جمله زمین‌لغزش تأثیری منفی بر زندگی و فعالیت‌های اقتصادی بشر دارد ( ندیم و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۶۱، ۲۰۰۶؛ پورقاسمی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲، ۱۶۰). حیطه فعالیت این نوع مخاطره، که از مهم‌ترین و گسترده‌ترین مخاطرات در جاده‌های کوهستانی است؛ از تپه‌های ملایم تا کوهستان‌های شیب‌دار است (گروبر و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹، ۵۲۹). گزارش فاجعه ۲۰۱۲ جهان (۲۰۰۲-۲۰۱۱) نشان می‌دهد که زمین‌لغزش در میان هفت بلایای طبیعی جهان قرار گرفته است (IFRCRCS<sup>۴</sup>، 2012). از طرفی گام برداشتن در مسیر توسعه و دستیابی به توسعه پایدار نیازمند برخورداری از جاده مناسب و پایدار است (نظری، ۱۳۸۶، ۱۹). بنابراین، شناسایی قابلیت وقوع زمین‌لغزش برای برنامه‌ریزی و فعالیت‌های توسعه‌ای جاده‌ها ضروری است (کانونگو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶، ۳۴۷). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از جمله راهکارهای مفید برنامه‌ریزی برای جلوگیری از این خسارت‌ها در جاده‌ها است. باین‌حال، زمین‌لغزش‌ها معمولاً سیستم‌های پیچیده‌ای هستند و پیش‌بینی حساسیت وقوع آن‌ها نیاز به داده‌های مختلف ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، کاربری اراضی و سایر داده‌های مربوط به عوامل محیطی دارند (لینگ پنگ و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۴، ۲۸۷). بیش از چند دهه، ژئومورفولوژیست‌ها از روش‌های کیفی برای بررسی ناپایداری دامنه‌ای استفاده می‌کردند. لیکن در اوایل دهه ۱۹۶۰ روش‌های کمی وارد مطالعات تغییرات لندفرمی شدند. به‌طور کلی دستورالعمل مشخص و یکپارچه که بین همه محققین، مورد قبول باشد، برای انتخاب عوامل مؤثر در تهیه نقشه حساسیت لغزش وجود ندارد (یلسین<sup>۷</sup>، ۲۰۰۸، ۲). مطالعات در این زمینه معمولاً با مدل‌های مختلف و عملکرد و دقت متفاوتی بوده است (گوزتی و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۶، ۱۷۰؛ فراتینی و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۰، ۶۵) که برخی از این مدل‌ها به علت عدم به‌کارگیری معیارهای فرمی سطح زمین نتایج چندان رضایت بخشی نداشته و در استفاده از نتایج این تحقیق‌ها محدودیت‌هایی وجود دارد (چانگ و فابری<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۳، ۴۵۴). به همین خاطر ضرورت استفاده از روش‌های جدید با معیارهای شکلی کمی برای شناسایی پهنه‌های مستعد زمین‌لغزش در راستای امر برنامه‌ریزی محیطی مورد نیاز است. پارامترهای ژئومورفومتری در این راستا می‌تواند بیانگر مشخصات فرم دامنه‌ها و فرآیندهای تغییردهنده شکل آن‌ها باشند. بخشی مهمی از این فرآیندها شامل زمین‌لغزش‌هاست.

ژئومورفومتری علم مطالعه کمی شکل زمین است که مبتنی بر مدل‌های رقومی ارتفاعی است. هدف از ژئومورفومتری استخراج ویژگی‌های سطح زمین (ویژگی‌های مورفومتری، هیدرولوژیکی، اقلیمی و...) و عوارض موجود در آن (حوضه‌های آبریز، شبکه‌های جریانی، لندفرم‌ها و...) با استفاده از مدل‌های رقومی سطح زمین (مدل رقومی ارتفاع) و نرم‌افزارهای پارامتر سازی است. که در این تحقیق به‌عنوان یک رویکرد نوین، برای شناسایی پهنه‌های لغزشی در کنار معیارهای مرسوم پهنه‌بندی لغزش بکار رفته است.

با توجه به احداث آزادراه خرم‌آباد - پل‌زال که نقش مهمی در تبادلات کالا و مسافر در غرب کشور دارد، تاکنون ارزیابی دقیقی از پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در آن انجام نشده است. یادآوری این نکته ضرورت دارد که لغزش‌های به وقوع

1 . Nadim et al

2 . Pourghasemi et al

3 . Gruber et al

4. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies

5 . Kanungo et al

6 . Ling Peng et al

7 . Yelcin

8 . Guzzetti et al

9 . Frattini et al

10 . Chung and Fabbri

پیوسته در آزادراه خرم‌آباد - پل زال واقع در جنوب غربی ایران (شکل ۱) که نزدیک زمین لغزش تاریخی سیمره واقع شده‌اند، تهدیدی جدی برای ثبات اجتماعی و اقتصادی منطقه به شمار می‌روند؛ چراکه به دنبال احداث این جاده اصلی که مناطق مرکزی و غربی ایران را به دشت خوزستان و سواحل خلیج فارس متصل می‌کند؛ ایجاد ترانشه‌های جدید در سازندهای زمین‌شناسی مستعد، پتانسیل وقوع زمین لغزش را بالا برده و ناپایداری شیب را به یک مشکل جدی و اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۳، ۴۲). به همین دلیل پیش‌بینی زمین لغزش برای پیشگیری از وقوع لغزش‌های جدید و فعال شدن زمین لغزش‌های قدیمی‌تر در جهت کاهش خطرپذیری منطقه امری مهم و ضروری است. هدف از این مطالعه ارزیابی نقش پارامترهای ژئومورفومتریک در شناسایی پهنه‌های مستعد لغزشی با استفاده از یک مدل جدید ترکیبی، تحت عنوان SVM است.

### مبانی نظری

پهنه‌بندی به تعبیری رتبه‌بندی سطح زمین بر اساس درجه واقعی یا پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین لغزش است (شریعت جعفری و غیومیان، ۱۳۸۷، ۱۳۷). چندین روش برای ارزیابی نقشه حساسیت لغزش پیشنهاد شده است که می‌توان آن‌ها را به دودسته گسترده، کیفی (ذهنی) و کمی (عینی) طبقه‌بندی کرد (فل و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸) با توجه به بهبود روش‌های داده‌کاوی و ابداع تکنیک‌های فنی - هنری از قبیل شبکه‌های عصبی مصنوعی (لی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴؛ یسیلناکار و توپال<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵؛ نفسلیوگلو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸)، منطق فازی (ارکانوگلو و گوکیوگلو<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴؛ پرادهان و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۹؛ اکگن و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۲)، عصبی - فازی (اوه و پرادهان، ۲۰۱۱؛ بو و همکاران، ۲۰۱۲)، درخت تصمیم‌گیری (سیتو و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۹؛ وان<sup>۹</sup>، ۲۰۰۹؛ نفسلیوگلو و همکاران، ۲۰۱۰؛ یئین و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۰) و الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان (یائو و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۸؛ یلماز<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۹؛ مرجانویک و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۱؛ پرادهان، ۲۰۱۳) محققان قادر به استفاده از این تکنیک‌ها برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش هستند. در پژوهشی توانائی مدل SVM در وقوع زمین لغزش‌های ناشی از زلزله با استفاده از نرم‌افزار GIS در حوضه آبخیز جیان جیانگ<sup>۱۴</sup> چین مطالعه شد. نتایج حاکی از مناسب‌تر بودن تابع شعاعی الگوریتم SVM نسبت به سایر توابع، در پیش‌بینی وقوع زمین لغزش بوده است (چانگ سو و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۲، ۷۱). طی پژوهشی دیگر، حساسیت به وقوع زمین لغزش در منطقه تری گورج<sup>۱۶</sup> چین با استفاده از مدل SVM بررسی شده است. در این پژوهش با استفاده از ۲۰ پارامتر محیطی ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، کاربری اراضی و داشتن موقعیت جغرافیایی ۲۰۲ نقطه زمین لغزش به وقوع پیوسته در منطقه

<sup>1</sup> . Fell et al

<sup>2</sup> . Lee et al

<sup>3</sup> . Yesilnacar and Topal

<sup>4</sup> . Nefeslioglu et al

<sup>5</sup> . Ercanoglu and Gokceoglu

<sup>6</sup> . Pradhan et al

<sup>7</sup> . Akgun et al

<sup>8</sup> . Saito et al

<sup>9</sup> . Wan

<sup>10</sup> . Yeon et al

<sup>11</sup> . Yao et al

<sup>12</sup> . Yilmaz

<sup>13</sup> . Marjanovi'c et al

<sup>14</sup> . Jianjiang

<sup>15</sup> . Chong Xu et al

<sup>16</sup> . Three Gorges

به‌پیش بینی خطر لغزش پرداخته شد. نتایج اجرای مدل و صحت سنجی این مطالعه نشان داده است مدل SVM مدلی جامع و قدرتمند در برآورد وقوع زمین‌لغزش بوده به طوری که حدود ۸۹.۵٪ منطقه دارای حساسیت بالا و ۱۹.۷٪ دارای پتانسیل متوسط زمین‌لغزش می‌باشند (لینگ پنگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴، ۲۸۷).

از اولین مطالعات مربوط به ژئومورفولوژی جاده‌ای با تأکید بر حرکات دامنه‌ای؛ پژوهشی است که روی رانش و ناپایداری دامنه‌ای در طول مسیر سندیج - سروآباد صورت گرفته است؛ این مسافت به طول ۶۰ کیلومتر از لحاظ توزیع فضایی و عوامل به وجود آورنده این حرکات مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داده است که بافت رسوبات و وجود بارش‌های فراوان و عوامل زمین‌شناختی (سنگ‌شناسی) در این منطقه در بروز حرکات دامنه‌ای نقش به‌سزایی داشته‌اند (محمودی، ۱۳۷۸). مناطق متأثر از خطر زمین‌لغزش در طول جاده تبریز مرند پهنه‌بندی شده است که از دیگر پژوهش‌های صورت گرفته ژئومورفولوژی جاده‌ای با تأکید بر حرکات توده‌ای است. در این مطالعه با استفاده از متغیرهای لیتولوژی، شیب دامنه، کاربری اراضی، پوشش زمین، فاصله از اراضی خطی (جاده، رود، گسل) و هم‌پوشانی آن‌ها این نتایج حاصل شده است که ساختار خاص زمین‌شناسی، شرایط اقلیم محلی و تراکم نهشته‌های کواترنری در کنار گرا دیان شیب از عوامل اصلی بروز زمین‌لغزش منطقه شمار می‌روند (روستایی و احمدزاده، ۱۳۹۱، ۴۷). از محدود پژوهش‌های انجام گرفته در بررسی مخاطرات موجود در جاده خرم‌آباد - پل دختر (جاده قدیم خرم‌آباد - پل زال) می‌توان به پژوهش کوشکی در قالب پایان‌نامه اشاره کرد. در این مطالعه مهم‌ترین مخاطرات محیطی این جاده از جمله سیلاب و حرکات دامنه‌ای در قالب مدل وزن دهی کارشناسی بدون اعتبارسنجی و صحت وزن‌های داده‌شده به متغیرها مورد توجه قرار گرفته است و حرکات دامنه‌ای از نوع ریزش بیشترین امتیاز را به خود گرفته است (کوشکی، ۱۳۸۵).

بررسی حرکات توده‌ای با استفاده از مدل SVM در ایران چندان مورد توجه قرار نگرفته است به جزء مطالعه‌ای در حوضه آبخیز درکه، که پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از چهار تابع الگوریتم SVM<sup>۲</sup> پرداخته است. نتایج برازش نشان داده است تابع حلقوی این الگوریتم بهترین انطباق با واقعیت را در راستای شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش در منطقه دارد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۲۵). مطالعات کمی درباره دخالت دادن شاخص‌های ژئومورفومتری دامنه و تأثیر آن در وقوع زمین‌لغزش انجام شده است. از جمله این مطالعات محدود، پژوهشی است که با استناد به نتایج آن‌ها می‌توان گفت که شیب‌های محدب و واگرا عموماً پایدارتر از شیب‌های مقعر و همگرا هستند؛ همچنین شیب‌های صاف، حد واسط دو نوع دیگر هستند. در این خصوص طالبی و همکاران (۲۰۰۸) با ترکیب سه نوع پروفیل طولی (مقعر، صاف و محدب) و سه نوع پلان (همگرا، موازی و واگرا) دامنه مدلی برای پایداری دامنه‌های مرکب ارائه کردند. در این مدل تأثیر شکل پلان و پروفیل دامنه در ناپایداری و وقوع زمین‌لغزش بررسی شد.

به‌طور کلی مطالعات در خصوص ارزیابی شاخص‌های ژئومورفومتری و تأثیر آن‌ها در ناپایداری دامنه‌ای، کمتر مورد توجه قرار گرفته؛ عمده مطالعات انجام شده به‌منظور کاربرد شاخص‌های ژئومورفومتری برای استخراج شبکه آبراهه‌ها (تازه و همکاران، ۱۳۹۴؛ مایکل<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸؛ جنسون و دومینگو<sup>۴</sup>، ۱۹۸۸) و طبقه‌بندی لندفرم‌های مناطق بیابانی همچون برخان، کلوت و دشت‌سر (شایان و همکاران، ۱۳۹۱؛ تازه و همکاران، ۱۳۹۳؛ ناپرالسکی و نالپا<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰؛ احسانی و کوپیل<sup>۶</sup>، ۲۰۱۰) می‌باشد.

1. Ling Peng et al

2. Support Vector Machine

3. Michele, D. i

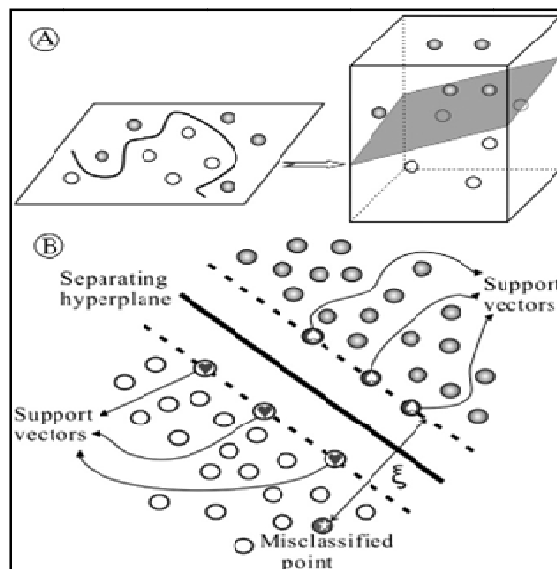
4. Jenson, S.K & Domingue, J. O

5. Napieralski, J, Nalepa, N

6. Ehsani, A. H, Quiel, F. A

### مبانی نظری الگوریتم SVM

الگوریتم آموزشی SVM برای ارزیابی و آزمون مجموعه‌ای از داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (یائو و همکاران، ۲۰۰۸، ۵۷۸). این الگوریتم در سال‌های اخیر، توجه زیادی را به دلیل عملکرد خوب طبقه‌بندی و قابلیت تحمل خطا و تعمیم مناسب، به خود جلب کرده است. در واقع SVM تکنیکی مبتنی بر نمونه‌گیری تصادفی است که می‌تواند پیچیدگی شناختی مسئله را با حفظ اطلاعات اصلی کاهش دهد. الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) که توسط واپنیک<sup>۱</sup> (۱۹۹۵) ارائه گردیده؛ بر اساس نظریه ابعادی و تئوری یادگیری آماری بنا شده است و شامل یک مرحله آموزشی همراه با ورودی و ارزش‌های اهداف خروجی است. بر اساس این نظریه یادگیری آماری، می‌توان کران نرخ خطای ماشین یادگیری را برای داده‌های طبقه‌بندی نشده، به عنوان نرخ خطای تعمیم‌یافته، در نظر گرفت. این کران‌ها به عنوان تابعی از مجموع نرخ خطاهای آموزشی هستند که میزان پیچیدگی طبقه‌بندی کننده‌ها را نشان می‌دهند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۲، ۱۳۰). به منظور کمینه کردن نرخ خطاهای تعمیم‌یافته، باید نرخ خطای آموزش و پیچیدگی طبقه بندی کننده کاهش یابد. این کار را می‌توان با بیشینه کردن حاشیه جداسازی انجام داد.



شکل ۲. تصویری از اصول SVM (A) صفحه n بعدی تفاوت دو کلاس با حداکثر فاصله (B) موارد غیرقابل تفکیک و متغیرهای غیر دقیق ε

جزئیات دو کلاس مدل‌سازی SVM به صورت خلاصه از این قرار است (یائو و همکاران، ۲۰۰۸، ۵۷۸):

در نظر گرفتن مجموعه‌ای از سلول‌های آموزشی مجزای خطی

$$fX_i (i = 1, 2, \dots, n)$$

سلول‌های آموزشی شامل دو کلاس بوده که به عنوان  $y_i = \pm 1$  مشخص می‌شوند. هدف مدل SVM جستجوی یک فراطرح افتراق  $-N$  ابعادی در دو کلاس بوده که به وسیله شکاف حداکثری آن‌ها مشخص می‌شود. از نظر ریاضی این مفهوم می‌تواند با این عبارت آورده شود:

$$\frac{1}{2} \|W\|^2$$

<sup>۱</sup>. Vapnik

که منوط به محدود کردن زیر است:

$$Y_i ((W \cdot X_i) + b) \geq 1$$

$\|W\|$  قاعده‌ای از فراطرح نرمال یک‌پایه عددی بوده و ( . ) مشخص‌کننده عمل تولید عددی است. با استفاده از چند ضریبی لاگرانژیان ارزش محاسبه عملکردی می‌تواند به‌عنوان زیر تعریف شود:

$$L = \frac{1}{2} \|W\|^2 - \sum_{i=1}^n \lambda_i (y_i ((W \cdot X_i) + b) - 1)$$

$\lambda_i$  چند ضریبی لاگرانژیان است. این راه‌حل می‌تواند از طریق کمینه‌سازی دوتائی معادله ۳ محاسبه شود. ارزش‌گذاری متغیرهای  $B$  و  $W$  در طی روش‌های استاندارد صورت گرفته است:

$$\lambda_i (y_i ((W \cdot X_i) + b)) \geq 1 - \xi_i.$$

$$L = \frac{1}{2} \|W\|^2 - \frac{1}{vn} \sum_{i=1}^n \xi_i$$

که معادله ۱ می‌شود:

که  $V(0, 1)$  معرفی به حساب شده برای طبقه‌بندی. به‌علاوه واپنیک (۱۹۹۵) یک عملکرد هسته‌ای به شمارش برای مرز تصمیم غیرخطی معرفی کرد. انتخاب عملکرد هسته‌ای در مدل SVM خیلی مهم است. اگرچه توابع هسته‌ای  $K(X_i, X_j)$  زیادی قبلاً پیشنهاد و استفاده شده‌اند. تنها بعضی از آن‌ها برای کار در طیف گسترده‌ای از کاربردها مفید شناخته می‌شوند. آن‌هایی که این مهارت‌ها را در این پژوهش نشان می‌دهند عبارتند از:

$$K(X_i, X_j) = X_i^T \cdot X_j \quad \text{تابع خطی:}$$

$$K(X_i, X_j) = (\gamma X_i^T \cdot X_j + r)^d, \gamma > 0 \quad \text{تابع چندجمله‌ای:}$$

$d$  و  $r, \gamma$  پارامترهای توابع هسته‌ای هستند و به‌صورت دستی وارد می‌شوند. بعضی مواقع توابع هسته‌ای به‌عنوان پارامتر زیر استفاده می‌شوند:

$$\gamma = \frac{1}{2} \sigma^2$$

$\sigma$  در این رابطه یک پارامتر قابل تنظیم بوده و حاکمیت انجام هسته‌ای را دارد. اگر بالاگرفته شوند، رفتار نمایی تقریباً خطی و آن‌جائی که امکان از دست‌دادن غیرخطی در طرح‌های بزرگ ابعاد وجود دارد، درحالی‌که اگر پائین گرفته شوند، مرز تصمیم برای خطا در داده‌های آموزشی محسوس می‌شود. در پژوهش حاضر  $+1$  و  $-1$ ، به ترتیب زمین‌لغزش و پایداری شیب دامنه را ارائه می‌دهند.

### شاخص‌های ژئومورفومتریک دامنه

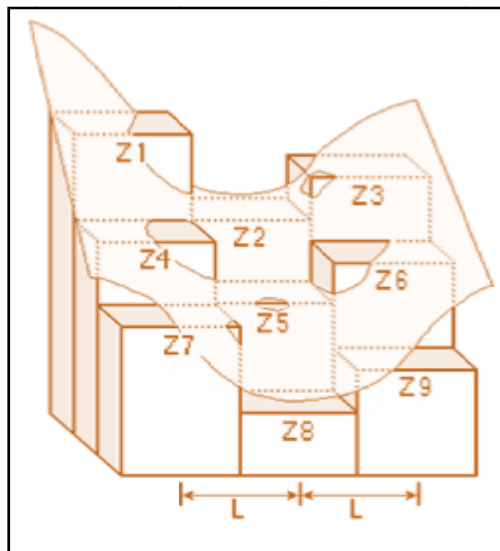
شاخص‌های ژئومورفومتریک ویژگی شکل دامنه‌هایی که مستعد لغزش هستند را به‌صورت کمی بیان می‌کند. با استفاده از مقادیر عددی و مشتقات به‌دست‌آمده از DEM از قبیل شیب، انحنا، پروفیل، انحنا پلان، انحنا عرضی و

انحنای کلی دامنه، ویژگی‌های مرفومتري لندفرم‌ها (زمین‌لغزش) استخراج می‌گردد ( فیشر و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴، ۱۱۵؛ پایک<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰، ۹؛ وود<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶، ۱۶۶).

مشتقات درجه دوم در ارتباط با تحدب و تقعر و به‌طور کلی شکل سطوح هستند که با نام انحناء شناخته می‌شوند و می‌توان از انحناء برای اندازه‌گیری میزان ناهمواری سطح زمین استفاده نمود. محاسبه انواع انحناء در مدل رقومی ارتفاع رستری به‌صورت پیکسل به پیکسل محاسبه و برای هر سلول از یک معادله چندجمله‌ای درجه چهار استفاده می‌شود (روابط ۱-۲، ۲-۲ و ۳-۲). در یک پنجره با ابعاد ۳\*۳ محاسبه می‌شود (شکل ۳). با توجه به اینکه محاسبه انحناء در یک پنجره متحرک و با استفاده از هشت همسایه یک سلول انجام می‌گیرد امکان تشخیص سلول‌ها و سطوح محدب و مقعر وجود دارد.

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$

رابطه ۱-۲: انحناء کلی



شکل ۳. نمایش شماتیک پارامترهای مورد استفاده در محاسبه انحناء کلی

از بین انواع انحناء می‌توان به انحنای پروفیل و پلان به‌عنوان دو شاخص ژئومورفولو متریک اشاره کرد. انحنای پروفیل معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان، در طول مسیر جریان است و بنابراین انحنای پروفیل نشان‌دهنده شدت جریان آب و فرآیندهای حمل و رسوب‌گذاری می‌باشد. به‌طوری‌که مقدار منفی این انحناء سطوح محدب (کوژ) و مقدار مثبت آن سطوح مقعر (کاو) را نشان می‌دهد (پایک<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰، ۸).

$$n * g * (a * d^2 + b * e^2 + c * d * e) / (d^2 + e^2) (1 + (d^2 + e^2))^{1.5}$$

رابطه ۲-۲: انحناء پروفیل

از طرف دیگر انحنای پلان، بیانگر تغییرات جهت در طول یک منحنی می‌باشد و بنابراین نشان‌دهنده واگرایی و همگرایی توپوگرافیکی است. مقادیر منفی انحنای پلان، واگرایی جریان را نشان داده؛ که دربرگیرنده خط‌الرأس‌ها و

<sup>۱</sup> . Fisher et al

<sup>۲</sup> . Pike

<sup>۳</sup> . Wood

<sup>۴</sup> . Pike

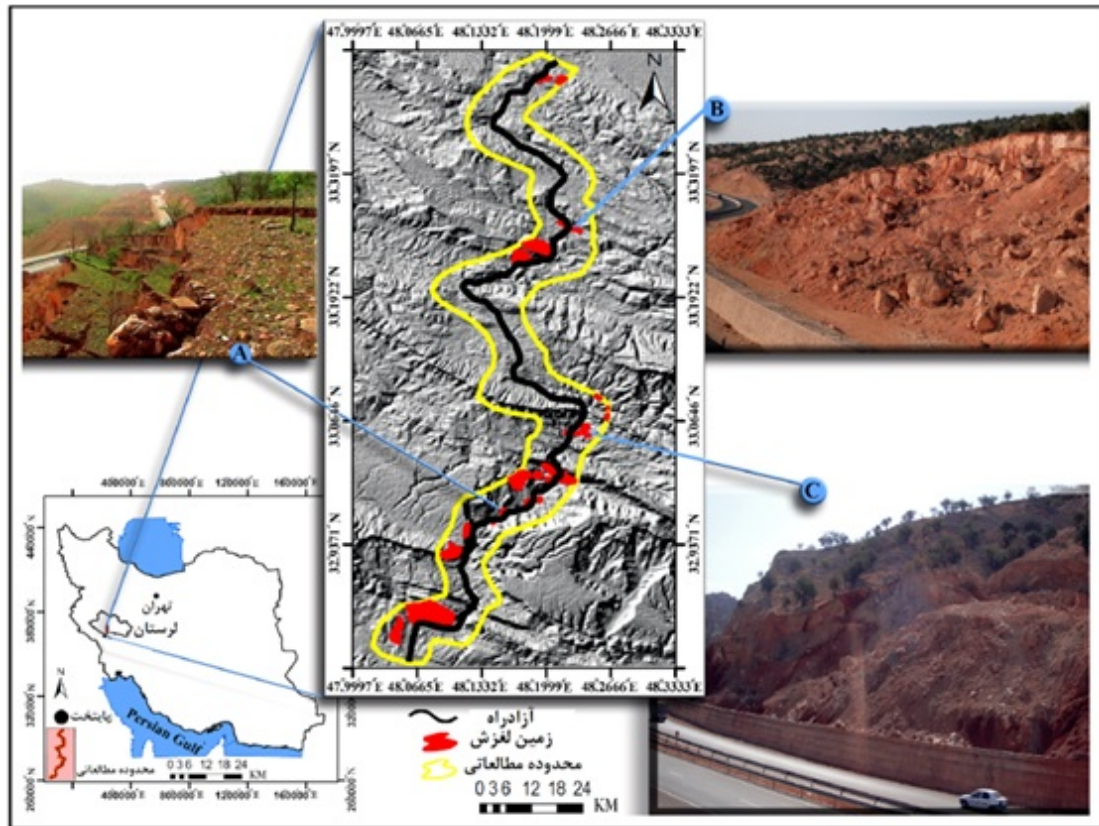
ستیغ‌ها است و مقادیر مثبت آن همگرایی جریان (دره‌ها) را نشان می‌دهد. قابل ذکر است سطوح صاف دارای انحنا صفر می‌باشند. واحد اندازه‌گیری انحنا برحسب رادیان بر متر یا درجه بر متر (درجه در ۱۰۰ متر) بیان می‌گردد.

رابطه ۲-۳: انحنا پلان  $n * g * (b * d^2 + a * e^2 - c * d * e) / (d^2 + e^2)^{1.5}$   
 در کلیه این روابط  $g$ : قدرت تفکیک مدل رقومی ارتفاع،  $n$ : ابعاد پنجره متحرک می‌باشد.

### محدوده مورد مطالعه

آزادراه جدید الاحداث خرم‌آباد - پل زال با طول ۱۰۴ کیلومتر، شهرستان خرم‌آباد را به اندیمشک وصل می‌کند. ابتدای مسیر از عرض جغرافیائی ۲۶° ۳۳' شمالی و طول جغرافیائی ۴۸° ۱۲' شرقی و انتهای مسیر نیز از عرض جغرافیائی ۴۸.۵' ۳۲° شمالی و طول جغرافیائی ۴۸° ۰۴' شرقی می‌گذرد. این محدوده از زاگرس چین‌خورده با روند شمال غربی - جنوب شرقی بخشی از کمربند تصادمی آلپ هیمالیاست که از هم‌گرایی کرتاسه بالائی - سنوزوئیک پلاتفرم عربستان و اوراسیا به وجود آمده است (تالوت و علوی، ۱۹۹۶). مسیر مورد نظر با مساحت حدود ۴۸۰ / ۹۶۸ کیلومتر مربع، نواری است با پهنای متغیر ۵ تا ۷ کیلومتر که بر مبنای تأثیری که رخداد لغزش می‌تواند بر سطح دامنه‌های مسلط به جاده داشته باشد، انتخاب شده است. غالباً جاده به صورت بغل‌بری (ترانشه) در دل کوه احداث شده و در محل تلاقی با دره‌ها، راه از روی خاکریزها یا پل‌های ساخته شده عبور می‌کند. نقطه شروع مسیر که از ارتفاعات زاگرس چین‌خورده با امتداد تقریبی شمالی - جنوبی می‌گذرد، در ارتفاع حدود ۱۲۰۰ متر، نقاط میانی این جاده، با ارتفاعی معادل ۲۳۱۵ متر واقع در کوه اثر و انتهای راه به ارتفاع ۳۲۰ متر ختم می‌شود. با توجه وجود اختلاف ارتفاع نسبتاً زیاد، منطقه در چند اقلیم متفاوت قرار گرفته است. به طوری که بر پایه طبقه‌بندی دومارتن دارای چهار طبقه اقلیمی مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه خشک است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۳، ۹۳). میانگین بارش سالانه منطقه بین ۳۲۲ - ۵۷۸ میلی‌متر از شمال به جنوب متغیر است. از لحاظ ژئومورفولوژی ساختمانی منطقه را می‌توان به دو بخش شمالی - جنوبی که به وسیله گسل تراستی ریت - سلطان از هم جدا می‌شوند، تقسیم کرد. اختلاف در میزان و شدت چین‌خوردگی و وجود گسل‌های فعال در نتیجه تکتونیزه بودن منطقه شمالی تفاوت بارز دو بخش شمالی و جنوبی است.





شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه در استان لرستان و پراکندگی نقاط لغزشی

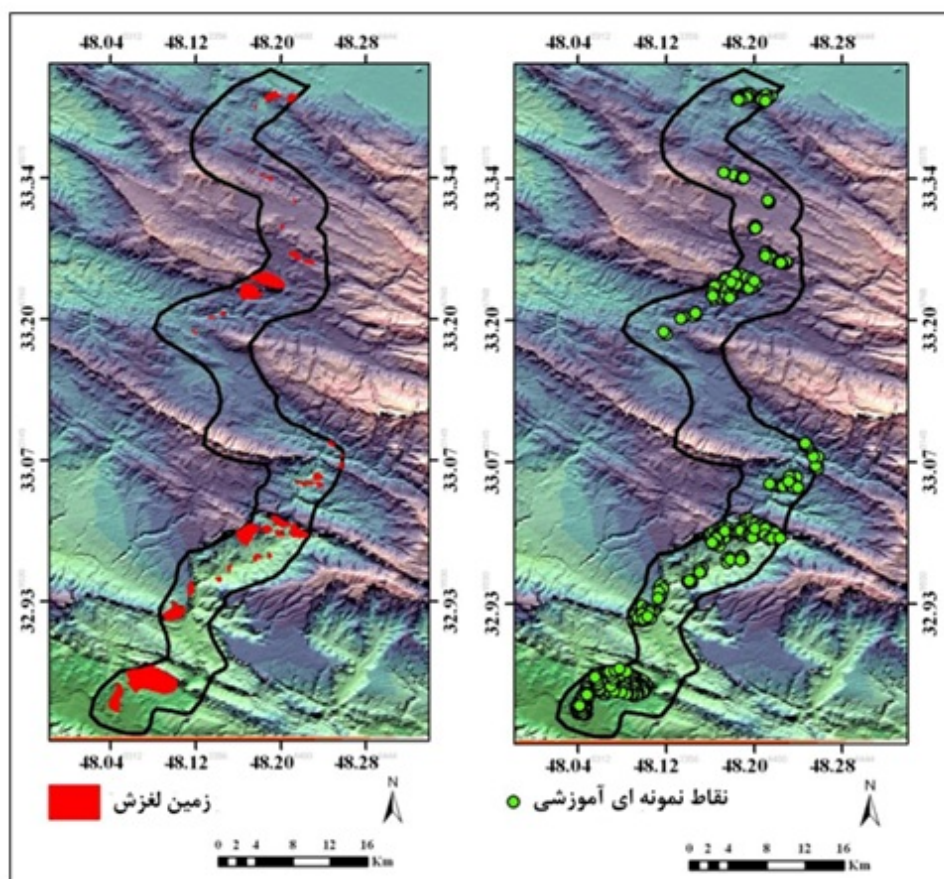
### داده و روش تحقیق

در این پژوهش، از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ خرم‌آباد، بیدروبه و خلیل‌اکبر به‌منظور به دست آوردن شاخص‌های ژئومورفومتریک و نقشه‌های زمین‌شناسی شرکت نفت به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد و بالارود به‌منظور تهیه نقشه سنگ‌شناسی و نوع و موقعیت گسل‌ها استفاده شده است. تصاویر TM ماهواره لندست (۲۰۱۲) جهت تهیه لایه کاربری اراضی و تصاویر IRS (PAN) با شماره‌های (A۴۸/۶۶)، (C۴۷/۶۶) برای شناسایی زمین‌لغزش‌های قبل از احداث جاده انتخاب شده است. لازم به ذکر است که جدیدترین تصاویر موجود پانکروماتیک سنجنده IRS با قدرت تفکیک مکانی بالا که قادر به تشخیص نقاط لغزشی از این منطقه است؛ مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ می‌باشد که قابلیت استفاده در این پژوهش را داشته‌اند. علاوه بر این، برای تکمیل لایه پراکنش زمین‌لغزش‌ها در کارهای میدانی با استفاده از دستگاه GPS ارتفاع و موقعیت زمین‌لغزش‌های جدیدی که بعد از عملیات راه‌سازی در روی زمین، ثبت شده و با نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای تطبیق داده شده است. شاخص‌های ژئومورفومتریک با استفاده از رابطه محاسباتی در قسمت تحلیل‌های ژئومورفومتریک نرم‌افزار LANDSERF محاسبه گردیده و با فرمت رستری در محیط نرم‌افزار Arc GIS خروجی گرفته شده است.

### نقشه زمین‌لغزش‌های موجود و نمونه‌های آموزشی

در این پژوهش به‌منظور تشخیص حساسیت زمین‌لغزش، ویژگی‌های ۳۹ مورد زمین‌لغزش به وقوع پیوسته در محدوده مورد مطالعه برداشت و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS (PAN) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تحلیل شد.

نمونه‌های تصادفی جمع‌آوری شده از مناطق لغزشی به دو بخش تقسیم می‌شود: نمونه‌هایی که برای آموزش ساخت مدل از آن‌ها استفاده می‌شود و نمونه‌هایی که در آزمون اعتبار سنجی مدل آن‌ها را به کار می‌برند (مرجانویک<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱، ۲۳۹). هدف اصلی از جداکردن مجموعه نمونه‌های آموزشی و آزمایشی، ساخت یک مدل و آزمون مدل به دست آمده با نمونه‌های آزمایشی مستقل است. هنگامی که نمونه‌های تصادفی جمع‌آوری شده برای آموزش و تست همزمان با نمونه‌های تصادفی مبتنی بر نقاط پیکسلی لغزش مورد استفاده قرار بگیرد، عملکرد مدل می‌تواند به طور مصنوعی افزایش یابد (تانر<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴، ۴۰۵).



شکل ۳: پراکندگی زمین لغزش و نمونه‌های آموزشی در منطقه مورد مطالعه

### بحث و یافته‌ها

#### پهنه‌بندی با استفاده از پارامترهای کنترل کننده زمین لغزش

کلیه متغیرهای مؤثر و کنترل کننده زمین لغزش که به عنوان ورودی در مدل SVM هستند به صورت نقشه (شکل ۴) و جدول (۱) نمایش داده شده‌اند:

۱: جهت دامنه

<sup>۱</sup> . Marjanovi'c et al

<sup>۲</sup> . Taner San

جهت دامنه از لایه DEM گرفته شده و به صورت فراوانی جهات شیب عوارض سطحی زمین تعریف شده است. براین اساس دامنه‌ها به نه طبقه کاملاً هموار، شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غرب، غرب و شمال-غرب طبقه‌بندی شده‌اند (شکل ۴).

۲: درجه شیب

درجه شیب و محدب، مقعر و مستقیم بودن آن تأثیر زیادی در وقوع زمین لغزش دارد. سطح توپوگرافی محدب به دلیل هندسه شیب دارای لغزش کمتری می‌باشد (لولسگد و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴؛ ۷۶). شیب زیاد تنش برشی ناشی از نیروی جاذبه را افزایش داده و باعث گسیختگی هرچه بیشتر دامنه می‌گردد (دای و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱؛ ۳۸۵). شیب منطقه به عنوان یکی از عوامل اساس در ناپایداری، از لایه هیپسومتری استخراج شده است (شکل ۴).

۳: کاربری اراضی

احداث آزادراه و عملیات خاک برداری و خاک ریزی با تخریب جنگل‌های بلوط و مراتع، بدون توجه به اصول پایداری از مهم‌ترین عوامل تحریک دامنه‌های مسلط به جاده است. به منظور تهیه نقشه کاربری از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست استفاده شد و منطقه به طور کلی به چهار طبقه زمین‌های کشاورزی و باغات، مراتع، جنگل و سطوح صخره‌ای تقسیم‌بندی شد.

۴: فاصله از شبکه زهکشی

وقوع زمین لغزش در حاشیه اغلب آبراهه‌های منطقه، بخصوص در اطراف بستر رودخانه‌های اصلی چون زال و چمشک باعث ناپایداری هر چه بیشتر دامنه‌های مسلط به آن‌ها شده است. به همین منظور شش طبقه به صورت فواصل دور تا نزدیک از آبراهه و رودها در شکل ۴ برای تعیین میزان تأثیر این متغیر در رخداد لغزش تهیه شده است (شکل ۴).

۵: فاصله از گسل

عملکرد گسل‌ها در منطقه به صورت مستقیم (حرکت ناشی از انرژی گسل) و غیرمستقیم (تأثیر لیتولوژی و شیب) باعث رخداد زمین لغزش شده است. برای پی‌بردن به میزان تأثیر این پارامتر بافرهائی از ۵ Km فاصله تا خط گسل‌های فعال به صورت مینا، در قالب پنج طبقه  $5 < 10-15$ ،  $15-20$ ،  $20 >$  کیلومتر صورت گرفته است (شکل ۴).

۶: سنگ‌شناسی

سنگ‌شناسی به عنوان یک عامل اساسی در ایجاد زمین لغزش به صورت فرسایش پذیری و هوازدگی آن شناخته شده است (آنبالگان<sup>۳</sup>، ۱۹۹۲؛ ۲۷۳). پراکندگی سنگ‌ها (سنگ شناسی) در شکل ۴ و توضیحات مربوط به هر یک از آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. واحدهای زمین‌شناسی و توصیف آن‌ها در منطقه مورد مطالعه

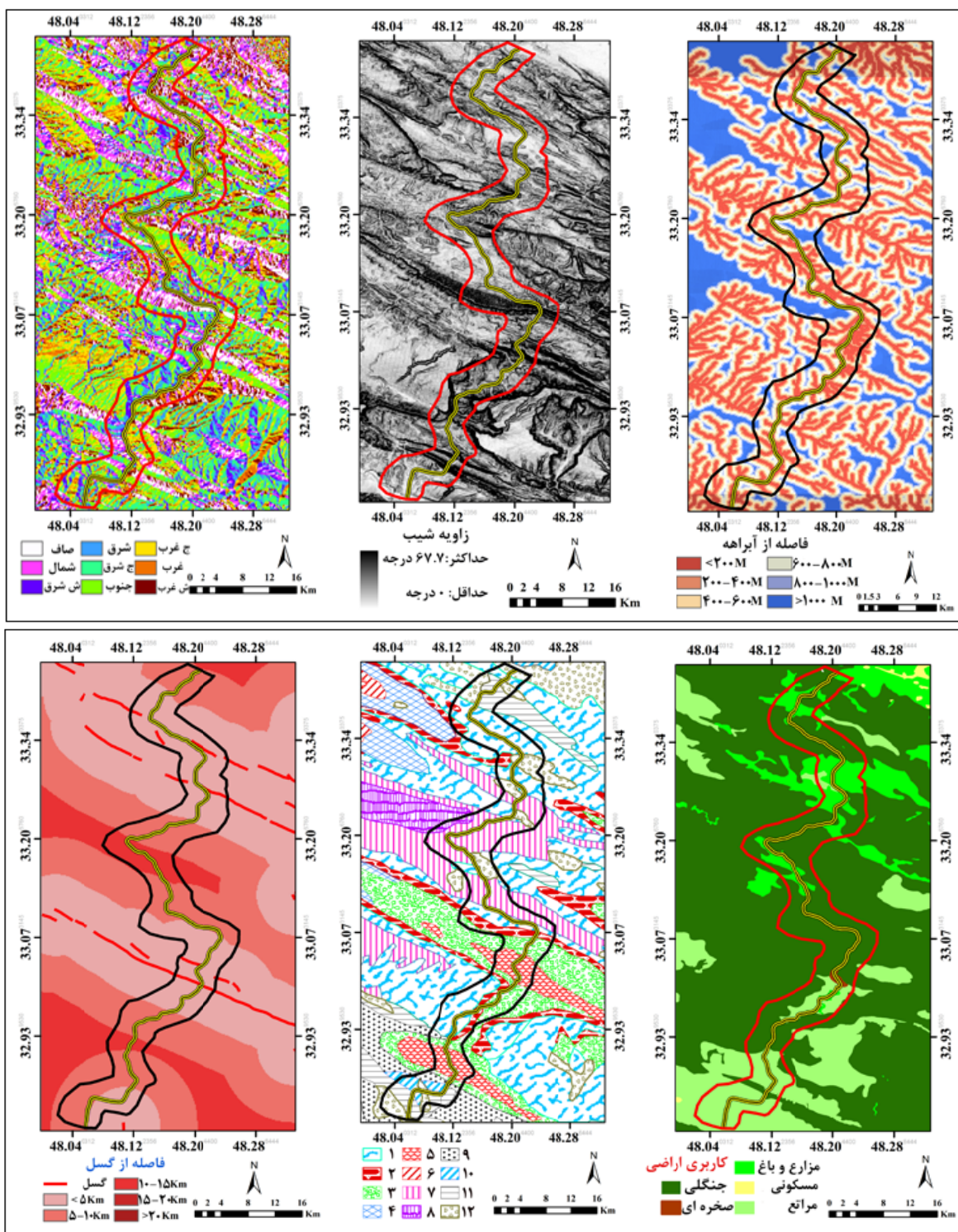
شماره ردیف	واحد زمین‌شناسی	توصیف سنگ‌شناسی
۱	MuPlaj	ماسه سنگ آهکی با رگه‌های مارن و سیلتستون
۲	Plbk	کنگومرا با سیمان آهکی و مارنی
۳	Qc2	کنگومرای نیمه سخت شده عهد حاضر
۴	EMass-Sb	آهک دولومیتی با میان لایه مارن و رس
۵	KPeam	سیلتستون، ماسه سنگ، آهک مارنی
۶	Ekkn	کنگومرا با میان لایه ماسه سنگ و سیلتستون
۷	Mlgs	مارن گچ‌دار به همراه انیدریت و رس
۸	Kgu	مارن و شیل با رگه‌هایی از آهک رسی

<sup>۱</sup> . Lulseged et al

<sup>۲</sup> . Dai et al

<sup>۳</sup> . Anbalagan

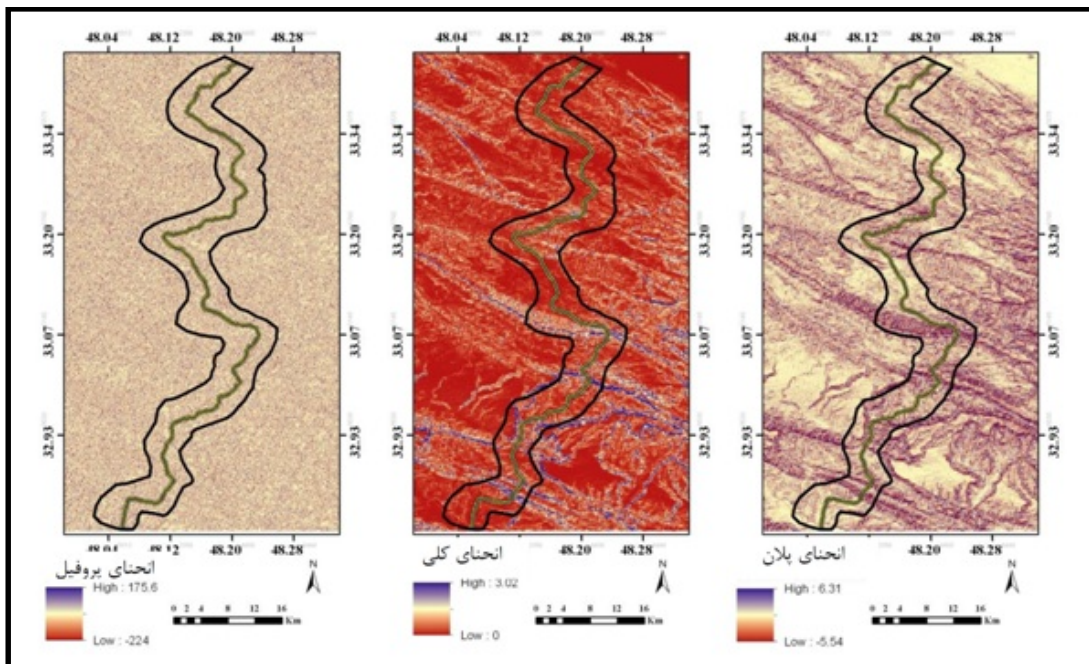
۹	Pb	شیل و مارن همراه با آهک رسی
۱۰	Tz – E - zang	آهک سرشار از فسفیل
۱۱	Kbpg	آهک رسی مارنی با میان لایه شیل
۱۲	Qt2	آبرفت و واریزه‌های اخیر



شکل ۴. متغیرهای کنترل کننده زمین لغزشی در منطقه مورد مطالعه

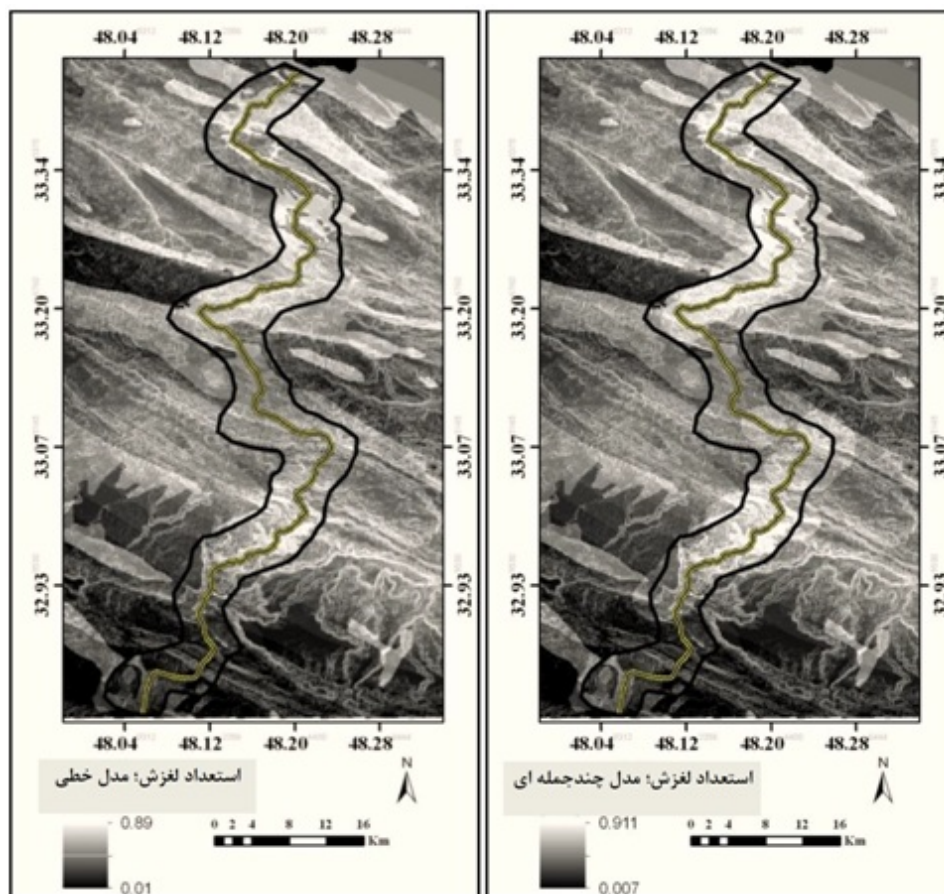
### متغیرهای ژئومورفومتریک

نوع ناهمواری دامنه‌ها اثر قابل توجهی بر وقوع لغزش دارند. در اکثر مطالعات برای بیان اثر ناهمواری بر حرکات دامنه-ای از عامل شیب استفاده می‌شود که به تنهایی نمی‌تواند تمام ویژگی‌های سطح ناهموار را نشان دهد؛ به همین منظور در این تحقیق از متغیرهای ژئومورفومتریک انحنا، پروفیل، پلان و انحنا کلی که از مشتقات درجه دوم هستند برای بیان ناهمواری سطوح دامنه‌ای و اثر آن‌ها در لغزش استفاده شده است و سعی گردیده با به‌کارگیری آن‌ها شناسایی مناطق مستعد لغزش با دقت بیشتری مدل‌سازی گردد (شکل ۵). انحنا پروفیل معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان، در طول مسیر جریان است و بنابراین انحنا پروفیل نشان‌دهنده شدت جریان آب و فرایندهای حمل و رسوب‌گذاری می‌باشد. بطوریکه مقدار منفی این انحنا سطوح محدب و مقدار مثبت آن سطوح مقعر را نشان می‌دهد. از طرف دیگر انحنا پلان، بیانگر تغییرات جهت در طول یک منحنی می‌باشد و بنابراین نشان‌دهنده واگرایی و همگرایی توپوگرافیکی است. مقادیر منفی انحنا پلان، واگرایی جریان را نشان داده؛ که دربرگیرنده خط‌الرأس‌ها و ستیخ‌ها است و مقادیر مثبت آن همگرایی جریان (دره‌ها) را نشان می‌دهد. انحنا کلی مجموع تغییرات سطح را نسبت به فاصله مشخص می‌نماید.



شکل ۵. متغیرهای ژئومورفومتریک کنترل‌کننده زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه

با به‌کارگیری معیارهای مؤثر در لغزش و شاخص‌های ژئومورفومتریک و استفاده از توابع چندجمله‌ای و خطی در مدل SVM مدل‌سازی پهنه‌های مستعد وقوع لغزش در منطقه مطالعاتی بدست آمد؛ که با توجه به مدل‌سازی مکانی انجام‌شده در محیط نرم‌افزاری ENVI خروجی‌های مدل به‌صورت نقشه مشخص‌شده است (شکل ۶). نقشه‌های توابع چندجمله‌ای و خطی، پهنه‌های حساس به زمین لغزش در آزادراه خرم‌آباد - پل زال را نشان می‌دهد. مقادیر حساسیت-سنجی بین ۰ و ۱۰ بوده و هر چه به مقدار ۱ (تن روشن در نقشه‌ها) نزدیک شویم استعداد و حساسیت به زمین لغزش در منطقه مطالعاتی افزایش می‌یابد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که بیش از ۳۰ درصد از وسعت منطقه مطالعاتی در مناطق با مقدار بیشتر از ۰.۸ قرار گرفته که نشان از حساسیت زیاد منطقه مطالعاتی به لغزش است. یکی از علل این حساسیت زیاد عبور آزادراه از منطقه مطالعاتی و بریده‌شدن دامنه‌ها و از دست رفتن تعادل آن‌ها است.



شکل ۶. حساسیت زمین لغزش بر اساس تابع چندجمله‌ای و خطی مدل SVM در منطقه مورد مطالعه

### ارزیابی دقت مدل‌سازی پهنه‌بندی لغزش

بعد از به‌کارگیری هر مدل ضرورت دارد با ارزیابی دقت نسبت به کارایی و واقعی بودن نتایج آن اقدام نمود. در این تحقیق با کمک بیست درصد از نمونه‌های برداشت‌شده اقدام به ارزیابی دقت شده است. ابتدا اقدام به تشکیل ماتریس خطا و سپس با استفاده از دقت کلی<sup>۱</sup> میزان دقت مدل‌سازی مشخص گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد مدل‌سازی بر اساس تابع چندجمله‌ای (پلی نامیال) با دقت کلی ۸۹ درصد نسبت به روش خطی با دقت کلی ۸۴ درصد دقت بیشتر و عملکرد بهتری داشته و با واقعیت زمینی منطبق‌تر است. با توجه به اینکه رفتار متغیرهای کنترل‌کننده لغزش در منطقه مطالعاتی خطی نبوده و رفتار غیرخطی و پیچیده‌ای دارند روش چندجمله‌ای نسبت به روش خطی قابلیت مدل‌سازی بهتری را داشته است و نتایج پهنه‌بندی آن با واقعیت زمینی انطباق بیشتری دارد.

### نتیجه‌گیری

شناخت و نحوه پراکنش فضایی لندفرمی به‌منظور درک و ارزیابی تحول آن‌ها، مطالعات پایداری دامنه‌ای و برنامه‌ریزی منطقه‌ای آن‌ها در آینده، از نیازهای اساسی در علم ژئومورفولوژی کاربردی است. مطالعات سنتی حرکات دامنه‌ای مبتنی بر مورفولوژی و توصیف کیفی اجزای چشم‌انداز آن‌ها است. در این بین پارامترهای ژئومورفومتری به‌عنوان زیرشاخه‌ای از علم ژئومورفولوژی می‌تواند بیانگر مشخصات فرم و شکل سطح دامنه‌ها و

<sup>۱</sup>. Overall Accuracy

همچنین فرآیندهای تغییردهنده شکل آن‌ها به صورت کمی باشند. ژئومورفومتری در واقع علم آنالیز کمی سطح زمین است و به عنوان یک رویکرد نوین در مطالعه اشکال سطحی زمین مطرح می‌باشد. در این تحقیق شاخص‌های ژئومورفومتریکی مذکور در کنار سایر متغیرهای مؤثر به منظور شناسایی دقیق‌تر سطوح ناهمواری و اثر آن‌ها در وقوع لغزش و در نهایت افزایش دقت مدل‌سازی بکار گرفته شده است. این شاخص‌ها بر اساس آنالیز تغییرات ارتفاعی دامنه تحت تأثیر تابع فاصله است. نتایج تحقیق نشان داد که به کارگیری توابع چندجمله‌ای و خطی مدل SVM در پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه با دخالت دادن عوامل ژئومورفومتریکی دامنه‌ها به خوبی توانسته نقاط با پتانسیل بالای زمین لغزش را شناسایی کند. همچنین ارزیابی دقت مدل‌سازی نشان داده است تابع چندجمله‌ای با دقت کلی ۸۹ درصد بهتر از تابع خطی مناطق مستعد لغزش را نشان می‌دهد که به نظر می‌رسد به علت رفتار پیچیده و غیرخطی متغیرهای دخیل در وقوع لغزش در منطقه مطالعاتی باشد. در مطالعات مربوط به شناسایی رفتار پیچیده دامنه‌ها در خصوص رخداد زمین لغزش، پیشنهاد می‌شود از شاخص‌های ژئومورفومتریکی دیگری همچون تانژانت انحنا، انحنا، متقاطع، انحنا سطح و انحنا گوسی جهت تکمیل کردن نتایج این مطالعات استفاده شود.

#### منابع

- Akgun, A., Sezer, E. A., Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., Pradhan, B., 2012, *An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm*, Computers & Geosciences, No. 38, Pp. 23–34
- Anbalagan, R., 1992, *Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain*, Engineering Geology, No. 32, Pp. 269–277
- Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O., 2012, *Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro fuzzy inference system and GIS*, Computers and Geosciences, No. 45, Pp. 199–211
- Chong, X., Fuchu, D., Xiwei, X., Yuan, H. Lee., 2012, *GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China*, No. 145-146, Pp. 70-80
- Chung, C., Fabbri, A., 2003, *Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping*. Natural Hazards, No. 30, Pp. 451–472
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W., 2001, *Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong*, Environmental Geology, No. 40, Pp. 381–391
- Ehsani, A. H., Quiel, F. A., 2007, *Semi-automatic method for analysis of landscape elements using Shuttle Radar Topography Mission and Landsat ETM+ data*, Computers & Geosciences, No. 35, Pp. 373-389
- Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., 2004, *Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey)*, Engineering Geology, No. 75, Pp. 229–250
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W., 2008, *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning*, Engineering Geology, No. 102, Pp. 85–98
- Fisher, P., Wood, J., Cheng, T., 2004, *Where is Helvellyn? Fuzziness of Multiscale Landscape Morphometry*, Transactions of the Institute of British Geographers, No. 29, Pp. 106-128
- Frattini, P., Crosta, G., Carrara, A., 2010, *Techniques for evaluating the performance of landslide susceptibility models*, Engineering Geology, No. 111, Pp. 62–72
- Gruber, S., Huggel, C., Pike, R., (2009), *Modeling mass movements and landslide susceptibility*, Developments in Soil Science, 33. Pp. 527-550
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., 2006, *Estimating the quality of landslide susceptibility models*, Geomorphology, No. 81, Pp. 166–184
- Jenson, S.K., Domingue, J. O., 1988, *Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information system Analysis*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, No. 11, Pp. 1593\_1600
- Kanungo, D. P., Arora, M. K., Sarkar, S., Gupta, R. P., (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. Pp. 347-366

- Koushki, A., 2006, **Environmental hazards of Khorramabad – Poldokhtar road with emphasis on the geomorphology**, MA thesis, Supervisor: M. Ghohroudi, Faculty of humanities, University of Kharazmi
- Lee, S., Ryu, J., Won, J., Park, H., 2004, **Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network**, *Engineering Geology*, No. 71, Pp. 289–302.
- Ling Peng, A.B., Ruiqing Niu, A., Bo Huang, C., Xueling Wu, A., Yannan Zhao, A., Runqing Ye, D., 2014, **Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China**, *Geomorphology*, No. 204, Pp. 287–301.
- Lulseged, A., Yamagishi, H., Ugawa, N., 2004, **Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano river, Niigata Prefecture, Japan**, *Landslide*, Pp. 73- 81.
- Mahmudi, F., 1999, **The study of landslides and slopes unstable in Marivan-Sanandaj road (Nagel to Ghaleji)**, geomorphology section, published by the Bureau of Transportation, Pp.1-52.
- Michele, D.i., 2008, **Correlation between channel and hillslope lengths and its effect on the hydrologic response**, *Journal of Hydrology*, No. 362, Pp. 260-273
- Nadim, F., Kjekstad, O., Peduzzi, P., Herold, C., Jaedicke, C., 2006, **Global landslide and avalanche hotspots**, *Landslides* 3, Pp. 159–173.
- Napieralski, J., Nalepa, N., (2010), **The application of control charts to determine the effect of grid cell size on landform morphometry**, *Computers & Geosciences*, N. 36, Pp. 222–230
- Nazari, D., (2007), **The role of transportation in sustainable development**, *Abrisham road*, No.85, Pp. 16-30.
- Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., 2008, **An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps**, *Engineering Geology*, No. 97, Pp. 171–191.
- Nefeslioglu, H.A., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A.S., Duman, T.Y., 2010, **Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey**, *Mathematical Problems in Engineering*, Pp. 1–15
- Oh, H. J., Pradhan, B., 2011, **Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area**, *Computers & Geosciences*, No. 37, pp.1264–1276
- Pike, R.J., 2000, **Geomorphology - Diversity in quantitative surface analysis**, *Progress in Physical Geography*, No. 24, Pp. 1-20
- Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., Pradhan, B., 2012, **Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran**, *Catena*, No. 97, Pp. 71–84
- Pradhan, B., 2013, **A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS**, *Computers & Geosciences*, No. 51, Pp. 350–365
- Pradhan, B., Lee, S., Buchroithner, M., 2009, **Use of geospatial data for the development of fuzzy algebraic operators to landslide hazard mapping: a case study in Malaysia**, *Applied Geomatics*, No. 1, Pp. 3–15
- Roustae, Sh., Ahmadzade, H., 2013, **Zoning of landslide affected areas in Tabriz - Marand by using remote sensing and GIS**, *Quantitative Geomorphological Research*, No. 1, Pp. 47-58
- Saito, H., Nakayama, D., Matsuyama, H., 2009, **Comparison of landslide susceptibility based on a decision-tree model and actual landslide occurrence: the Akaishi Mountains, Japan**, *Geomorphology*, No. 109, Pp. 108–121
- Shayan, S., Yamani, M., Farajzade, M., Ahmadabadi, A., 2012, **Geomorphological Landforms of supervised classification in arid areas using the Geomorphometric parameters**, *Iranian Remote Sensing & GIS*, No. 2, Pp. 19-28
- Shariat jafari, M., Ghayoumian, J., 2008, **Performance evaluation model bivariate statistical in landslide hazard zoning**, *Science Tehran University*, No. 1, Pp. 137-143
- Talbot, C.J., Alavi, M., 1996, **The past of a future syntaxis across the Zagros**, *Geological Society, London, Special Publications*, No. 100, Pp. 89 – 109
- Talebi, A., Troch, P. A., Uijlenhoet, R., 2008, **A steady state analytical slope stability model for complex hillslope**, *Hydrological Processes*, No. 22, Pp. 546-553
- Talebi, A., Uijlenhoet, R., Troch, P., 2008, **A low dimensional physical based model of hydrologic control of shallow landsliding on complex hill slopes**, *Earth Surf. Process. Landforms*, No. 33, Pp. 1964-1976



- *Taner San, B., 2014, An evaluation of SVM using polygon-based random sampling in landslide susceptibility mapping: The Candir catchment area (western Antalya, Turkey), International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, No. 26, Pp. 399–412*
- *Taze, M, Asadi, M, Kalantari, S., 2015, Evaluation of capacity the Geomorphometry indicators in extracting drainage map (Seghale Sambusarayan water catchment), Quantitative Geomorphological Research, No.1, Pp. 134-144*
- *Taze, M, Kalantari, S, Fathizad, H, Taghizade Mehrherdi, R., 2014, Classification of glacis based on Geomorphometry parameters (Aghda, Yazd), Quantitative Geomorphological Research, No. 4, Pp. 105-116*
- *Vapnik, V., 1995, The Nature of Statistical Learning Theory, Springer-Verlag, Inc., New York.*
- *Wan, S., 2009, A spatial decision support system for extracting the core fac-tors and thresholds for landslide susceptibility map, Engineering Geology, No. 108, Pp. 237–251.*
- *Wood, J., 1996, Scale-based characterization of digital elevation models. In: Parker, D. Innovations in GIS, Tayler and Francis, London, Pp. 163-175*
- *Xu, C., Dai, F., Xu, X., Lee, Y.H ., 2012, GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China, Geomorphology, No.145–146, Pp. 70–80*
- *Yalcin, A., 2008, GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations, Catena, No. 72, Pp. 1–12*
- *Yamani, M., Ahmadabadi, A., Zare, GH.R., 2013, Application of support vector machine algorithm in landslide hazard zoning (Case study: Darake of watershed), Geoghraphy and Environmental Hazards, No. 3, Pp. 125-142*
- *Yamani, M., Shamsipour, A. A., Gourabi, A., Rahmati, M., 2014, Determining landslide zones in Khorramabad – Pole Zaal freeway by using Hierarchical Analysis – Fuzzy Logic method, Applied Research of Geographic Sciences, No. 32, Pp. 27-44*
- *Yamani, M., Shamsipour., Rahmati, M., 2014, The bounding of the present and quaternary zones of climate and morphogenesis processes in Khorramabad - Pole Zaal freeway, Quantitative Geomorphological Researches, No. 2, 90 – 103*
- *Yao, X., Tham, L.G., Dai, F.C., 2008, Landslide susceptibility mapping based on supportvector machine: a case study on natural slopes of Hong Kong, China, Geomor-phology, No. 101, Pp. 572–582*
- *Yeon, Y.K., Han, J.G., Ryu, K.H., 2010, Landslide susceptibility mapping in Injae, Korea, using a decision tree, Engineering Geology, No.116, Pp. 274–283*
- *Marjanovi´c, M., Kovačević, M., Bajat, B., Voženilek, V., 2011, Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm, Engineering Geology, No. 123, Pp. 225–234*
- *Yesilnacar, E., Topal, T., 2005, Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hen-dek region (Turkey), Engineering Geology, No. 79, Pp. 251–266.*
- *Yilmaz, I., 2009, Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat, Turkey), Computers & Geosciences, No. 35, Pp.1125–1138*