

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۴، بهار ۱۳۹۷، صص ۱۷۸-۱۵۷

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۱۴ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱

## پهنه‌بندی اثر ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی بر الگوی زمین‌لغزش با استفاده از هندسه‌ی فرکتال (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی تویه-دروار)

مهدی بشیری<sup>۱\*</sup>

سیده مانده کاوسی داودی<sup>۲</sup>

علی افصلی<sup>۳</sup>

### چکیده

حرکت توده‌ای از مواد روی دامنه‌های شیب‌دار تحت تأثیر ثقل و عوامل محرکی مانند زمین‌لرزه، سیل و باران‌های سیل‌آسا زمین‌لغزش نامیده می‌شود. امروزه در کشورهای درگیر با زمین‌لغزش، تمایل فزاینده‌ای جهت ارزیابی خطر و خسارات این پدیده وجود دارد. لذا در پژوهش حاضر به کمک هندسه‌ی فرکتال اثر کاربری، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی بر الگوی پهنه‌های لغزشی در حوضه‌ی تویه-دروار استان سمنان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی بعد فرکتالی ۱۴۶ پهنه لغزشی به روش شمارش جعبه، متوسطی برابر با ۱/۹۸۷ را نشان داد. بررسی ویژگی‌های مکانی پهنه‌های لغزشی شامل کاربری اراضی، جهت دامنه، کلاس فرسایش خاک، واحد زمین‌شناسی، تیپ ژئومورفولوژی، کلاس شیب و ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه نشان داد که تنها اثر تیپ ژئومورفولوژی بر بعد هندسه‌ی پهنه‌های لغزشی معنادار است و این معناداری ناشی از اختلاف بالای ( $\text{sig.} = /000$ ) تیپ کوه‌ها با تیپ فلات‌ها و تراس‌های فوقانی است. نهایتاً

۱- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، خراسان رضوی، ایران  
(نویسنده مسئول).  
E-mail:m.bashiri@torbath.ac

۲- کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، خراسان رضوی، ایران.

۳- کارشناس گروه آموزشی مدیریت مناطق بیابانی، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

نیز نسبت تراکمی نقاط و پهنه‌های لغزشی در هر یک از طبقات مربوط به ویژگی‌های مکانی وقوع زمین‌لغزش محاسبه و اثر این متغیرها بر شدت وقوع زمین‌لغزش آرایه و تحلیل گردید. در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش حدود ۵۷ درصد لغزش‌ها در کلاس خطر بالا و خیلی بالا واقع شدند که بیانگر پتانسیل بالای منطقه برای وقوع زمین‌لغزش است.

**کلمات کلیدی:** پهنه‌بندی خطر، تئوری فرکتال، شمارش جعبه، نسبت تراکمی.

## مقدمه

رشد جمعیت و پیشرفت علم این امکان را به بشر داده تا منابع طبیعی را بیش از پیش بهره‌برداری کند و نتیجه‌ی این تعدی، افزایش بلایای طبیعی است. زمین لغزش‌ها از پرخطرترین بلایاست که همگام با دست‌کاری بشر در سیستم‌های طبیعی شتاب فزاینده‌ای یافته است (ایلانو و همکاران، ۱۳۸۸: ۸۵). زمین‌لغزش ناشی از عوامل متعدد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و انسانی است. با وجود این، نقش اساسی در شروع زمین‌لغزش را عمدتاً عاملی محرک ایفا می‌کند و بارندگی، متداول‌ترین عامل معرفی‌شده است (طالبی و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۵). مشخص شده که لیتولوژی، ویژگی‌های خاک، پوشش زمین و برجستگی‌های توپوگرافیک به آسانی می‌توانند سبب زمین‌لغزش گردند (روستایی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲). شناسایی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش، پهنه‌بندی و تشخیص مناطق پرخطر، ابزار اساسی برنامه‌ریزان است. اما در ایران مطالعات مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از اوایل ۱۳۷۰ آغاز شد (حسین‌زاده و همکاران، ۹۴: ۲) که نیاز به توسعه آن را نشان می‌دهد. شناسایی نواحی مستعد حرکات توده‌ای و پهنه‌بندی خطر آن گامی مهم در ارزیابی خطرات محیطی برای برنامه‌ریزی کنترل بلایای طبیعی است و نقش غیرقابل انکاری در مدیریت آبخیز دارد.

مطالعات تئوری فرکتالی در علوم زمین نشان‌گر آن است که برخی از فرآیندهای زمین‌شناسی مثل کانی‌سازی، رسوب‌گذاری، ته‌نشست و ریخت‌شناسی ویژگی‌های خودهمانندی دارند. آنالیز سری‌های زمانی بسیاری از پدیده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی با هندسه فراکتالی نیز آن را به عنوان یک ابزار قدرتمند آماری نشان داده‌است (حکمت‌زاده و طالب‌بیدختی، ۱۳۸۷: ۱). بنابراین از این موارد می‌توان شواهدی بر وجود ویژگی‌های فرکتالی یافت (چنگ<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹: ۱۷۵). فرکتال‌ها ساختارهای هندسی هستند و علم فرکتال در بررسی این ساختارها، در ۱۹۷۵ ابداع شد. هندسه‌ی فرکتال حرکت اشکال در فضا را ثبت می‌کند، یا ناهمواری دنیا و انرژی و تغییرات دینامیک آن‌را نشان می‌دهد (لای و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷: ۵۱۳). اگر بعد خط برابر یک، صفحه برابر دو و فضا برابر سه معرفی شود، وقتی بعد یک فرکتال  $1/2$  باشد یعنی از خط پیچیده‌تر و از صفحه ساده‌تر است. محاسبه‌ی این بعد از یک سری فرمول‌های لگاریتمی به دست می‌آید. سیستم‌های طبیعی و ژئومورفیک خودسازمانده بوده و حالت فرکتال دارند، یعنی بین فرم (بعد فرکتال) و فرایند (خودسازماندهی) این سیستم‌ها رابطه وجود دارد. رفتار فرکتالی در پدیده‌های طبیعی که تمایل به تعادل دارند، وجود دارد. لذا منظور از رفتار فرکتالی، تغییر رفتار در رسیدن به تعادل کلی است. پدیده‌های فرکتال خودهمانند هستند، یعنی در مقیاس‌های متفاوت، جزییاتی مشابه بروز می‌دهند. برخی ویژگی‌های ژئومورفیک جدا از مقیاس فضایی خود، شبیه به هم هستند، چون درون سیستم‌های غیرخطی ژئومورفیک، تغییرات ذاتی دینامیکی بدون دخالت نیروهای خارجی رخ می‌دهد که سعی دارد سیستم را در حالت توازن نگهدارد (کرم، ۱۳۸۹: ۸۰).

---

1- Cheng

2- Li et al.,

در بررسی زمین لغزش، خصوصیات و روش‌های کنترل آن، در داخل و خارج کشور مطالعات متعددی صورت گرفته است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۶) در پهنه بندی خطر زمین لغزش با روش SMCE و AHP در آبخیز هفشجان، فاصله از جاده، گسل و آبراهه را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل در ایجاد زمین لغزش معرفی نمودند. همچنین مدل ارائه شده، روند شاخص زمین لغزش را از پهنه خطر خیلی کم به خیلی زیاد صعودی نشان داد. فتاحی و طالب‌زاده (۱۳۹۶) ارتباط ضریب فشردگی حوضه با ویژگی‌های فرکتال آن را بررسی نمودند. نتایج نشان داد هرچه ضریب فشردگی حوضه به ۱/۵ نزدیک‌تر شود، عملکرد روش ارایه شده هیدروگراف فرکتالی بهتر است. طولابی و عابدینی (۱۳۹۵) از روش‌های هم‌پوشانی فازی و AHP برای پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش حوضه‌ی نوژیان استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش گامای فازی با لاندای ۰/۷ مطلوبیت بهتری دارد. پورهاشمی و همکاران (۱۳۹۳) در پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه‌ی بقیع از روش ارزش اطلاعات و گوپتا و جوشی استفاده کردند که روش ارزش اطلاعاتی به‌لحاظ انطباق بیشتر زمین لغزش‌ها با پهنه‌ی خطر بالا و توانایی در تفکیک طبقه‌های خطر، کارایی بهتری داشت و شیب مهم‌ترین عامل بود. هادیان امری (۱۳۹۳) در مدل‌سازی حساسیت زمین لغزش آبخیز تجن با هندسه‌ی فرکتال، شاخص‌های نسبت تراکم و جمع مطلوبیت را محاسبه کرد. مشخص شد که نتایج فرکتال در جوامع لغزشی تفاوت دارد. همچنین زون‌های حساس، توسط بارندگی حداکثر ۲۴ ساعته و سالانه، فاصله از آبراهه‌های اصلی، تراکم آبراهه، تراکم بزرگی گسل، تراکم طولی گسل، فاصله از جاده و تراکم جاده مشخص شدند. زو و کارنزا<sup>۱</sup> (۲۰۱۷) به اندازه‌گیری بعد فرکتالی و ارتباط عوامل محیطی با زمین لغزش در جنوب چین پرداختند. بررسی متغیرهای گسل، رودخانه‌ها، زمین‌شناسی و جاده نشان داد که بین تراکم زمین

لغزش‌ها و فاصله با عوامل محیطی رابطه‌ی فرکتالی وجود دارد و با افزایش بعد فرکتالی، قدرت رابطه بیشتر می‌شود. پاپاداکیس و کاریمالیس<sup>۱</sup> (۲۰۱۷) در تحلیل حساسیت زمین‌لغزش با روش AHP در یونان، شیب و لیتولوژی را مهم‌ترین عوامل وقوع زمین‌لغزش معرفی کردند و مدل AHP با قدرت ۶۹/۴۵ درصد پهنه‌های با خطر بالا و خیلی بالا را تخمین زد. لای و همکاران (۲۰۱۲) به تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت زمین‌لغزش با هندسه‌ی فرکتال در چین پرداختند. نتایج نشان داد که نقشه‌ی حساسیت زمین لغزش ایجادشده قابل اعتماد است. مطالعه‌ی حرکات توده‌ای توسط دیموند<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶) در نیوزیلند نشان داد که بین افزایش شیب و میزان حرکات توده‌ای در شیب‌های ۵ تا ۳۰ درجه ارتباط خطی وجود دارد. هم‌چنین اطراف خطوط زهکشی و مناطق جنگلی تخریب یافته، حرکات توده‌ای افزایش یافته است.

باتوجه به ویژگی خودهمانندی بسیاری عوامل طبیعی و کارآمدی هندسه‌ی فرکتال، در این پژوهش اثر کاربری، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی بر الگوی لغزش‌ها با هندسه‌ی فرکتال در آبخیز تویه-دروار با توجه به نیازمندی‌های اولیه اطلاعاتی بررسی شد. هم‌چنین تشخیص مناطق پرخطر و نیز اثر عوامل مهم بر الگوی پراکنش پهنه‌ها از اهداف دیگر این پژوهش به منظور کاهش خسارات این پدیده است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه‌ی مورد پژوهش

حوضه‌ی تویه-دروار با وسعت ۶۵۹۹۹ هکتار و مختصات جغرافیایی طول  $۵۴^{\circ}۵۳'$  تا  $۵۴^{\circ}۲'$  شرقی و عرض  $۳۶^{\circ}۱۳'$  تا  $۳۵^{\circ}۵۷'$  شمالی در ۴۵ کیلومتری جنوب

1- Papadakis and Karimalis

2- Dymond

غربی دامغان واقع شده است (شکل ۱). سازندهای زمین‌شناسی منطقه از قدیم به جدید شامل سازندهای سلطانیه، باروت، زاگون، لالون، میلا، جیرود، الیکا، شمشک، لار، واحد K211، فجن، Ek، Emt، di، Plc، Plm، Qplc، Qt1 و Qt2 هستند. از نظر ژئومورفولوژی حوضه در واحدهای کوهستان، تپه‌ماهور و دشت قرار دارد. در این حوضه میزان زمین‌لغزش در جاده‌های ارتباطی بیش‌تر از سایر مناطق بوده و پس از آن به‌ترتیب مناطق مسکونی و زمین‌های زراعی در معرض خطر هستند. طبق بازدیدهای میدانی، ۱۱ جاده ارتباطی، ۴ منطقه‌ی مسکونی و ۳ منطقه‌ی زراعی از عناصر اصلی مورد تهدید توسط زمین‌لغزش‌های حوضه هستند.

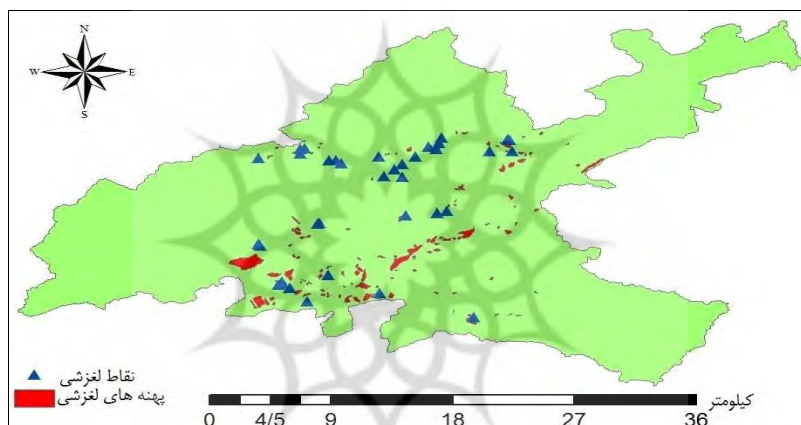
### روش پژوهش

ابتدا با تفسیر عکس‌های هوایی، پیمایش میدانی و ثبت موقعیت زمین‌لغزش‌ها، نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش تهیه شد. زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در حوضه شامل ۱۴۶ پهنه‌ی لغزشی و ۳۶ نقطه لغزشی بودند. در ادامه‌ی لایه‌های اطلاعاتی حوضه شامل عوامل شیب، جهت، ارتفاع، زمین‌شناسی، واحدهای ژئومورفولوژی، فاصله از گسل، فاصله از جاده و کاربری اراضی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS تهیه گردید. مبنای تهیه‌ی این لایه‌ها مدل رقومی ارتفاع (DEM<sup>1</sup>) منطقه با دقت پیکسل ۲۰ متر بود که لایه‌های وکتوری نیز تبدیل به رستر با این دقت شدند. سپس لایه‌های مختلف رویهم‌اندازی و جدول خصوصیات ترکیبی لایه ادغام شده استخراج شد.

پس از ایجاد بانک داده، برای تحلیل آماری، از نرم‌افزار SPSS23 استفاده شد. ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌های بعد فرکتال ۱۴۶ پهنه لغزشی، با آزمون کولموگروف-

1- Digital Elevation Model

اسمیرنوف<sup>۱</sup> با اطمینان ۵ درصد بررسی شد (گیسن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹: ۸۷). در ادامه با توجه به نرمال نبودن توزیع داده‌ها، آزمون‌های ناپارامتری برای مقایسه استفاده شد. به این صورت که ابتدا آزمون ناپارامتری کروسکال والیس<sup>۳</sup> برای مقایسه‌ی کلی بعد فرکتال در طبقات مختلف هر لایه‌ی اطلاعاتی انجام و سپس در صورت معناداری اختلاف کلی، مقایسه‌ی زوجی با آزمون من-ویتنی یو<sup>۴</sup> انجام گرفت تا تفاوت هندسی پهنه‌های لغزشی در ویژگی‌های مختلف محیطی بررسی شود.



شکل (۱) نمایی از حوضه‌ی مورد مطالعه و موقعیت زمین لغزش‌ها

### محاسبه‌ی بعد فرکتال

پهنه‌های لغزشی حوضه به صورت پلی‌گون استخراج و تصویر حاصله جهت محاسبه‌ی بعد فرکتال به نرم‌افزار Fractalyse منتقل و با روش شمارش جعبه<sup>۵</sup> بعد

- 1- Kolmogorov-Smirnov
- 2- Geissen et al.,
- 3- Kruskal Wallis
- 4- Mann-Whitney U
- 5- Box Counting

فرکتال آن محاسبه گردید (سارپ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴: ۱۶۸). از این روش برای محاسبه بعد فرکتالی تمامی عناصر، ابعاد و اشکال می‌توان استفاده کرد، چون سرعت محاسبات بالاتری دارد و الگوریتم آن قابلیت استخراج نتایج با بیش‌ترین اطمینان را می‌دهد. در این روش پدیده‌ی مورد بررسی با مجموعه‌ای از مربعات با طول ضلع برابر  $\eta$  پوشانده می‌شود. یعنی کل پدیده با مجموعه‌ی جعبه‌ها شبکه‌بندی می‌شود و تعداد مربعاتی که هر قسمت را پوشش می‌دهد ( $N$ ) محاسبه می‌شود. این کار با مربعات با طول ضلع مختلف تکرار می‌شود تا به سمت صفر میل کند. سپس با رابطه‌ی (۱) بعد فرکتال محاسبه می‌شود (فتاحی و طالب‌زاده، ۱۳۹۶: ۱۹۶).

$$D \cong \lim_{\eta \rightarrow 0} \frac{\log N(\eta)}{\log \frac{1}{\eta}} \quad (۱) \text{ رابطه‌ی}$$

به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با روش‌های آماری دومتغیره ارزش اطلاعاتی<sup>۲</sup> و تراکم سطح<sup>۳</sup>، هریک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در محیط GIS رقومی و کلاس‌بندی گردید. سپس طبق روابط ۲ و ۳ وزن کلاس‌های هر عامل تعیین شد. نهایتاً نقشه‌های وزنی عوامل باهم جمع جبری شد و با روش شکستگی‌های طبیعی<sup>۴</sup>، نقشه‌های به‌دست آمده در ۵ کلاس خطر طبقه‌بندی گردید.

$$Wi = \text{Ln} \left[ \frac{\text{Densclass}}{\text{Densmap}} \right] = \text{Ln} \left[ \frac{\frac{Npix(Si)}{Npix(Ni)}}{\frac{\sum Npix(Si)}{\sum Npix(Ni)}} \right] \quad (۲) \text{ رابطه‌ی}$$

$$Wi = 1000 \text{Ln} \left[ \frac{NpixSi}{NpixNi} - \frac{\sum NpixSi}{\sum NpixNi} \right] \quad (۳) \text{ رابطه‌ی}$$

- 
- 1- Sarp
  - 2- Information Value
  - 3- Density Area
  - 4- Natural Breaks



در روابط فوق،  $W_i$  وزن هر کلاس، Densclass: تراکم لغزش‌های موجود در هر کلاس، Densmap: تراکم کل لغزش‌های منطقه،  $N_{pixSi}$ : تعداد پیکسل لغزش‌ها در هر کلاس،  $N_{pixNi}$ : تعداد پیکسل‌های هر کلاس،  $\sum N_{pixSi}$ : مجموع کل پیکسل لغزش‌های منطقه و  $\sum N_{pixNi}$ : مجموع کل پیکسل‌های منطقه می‌باشند. برای این که بتوان مدل اجرا شده در منطقه را ارزیابی نمود، ۷۰ درصد نقاط و پهنه‌های لغزشی برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد برای ارزیابی مدل استفاده شد.

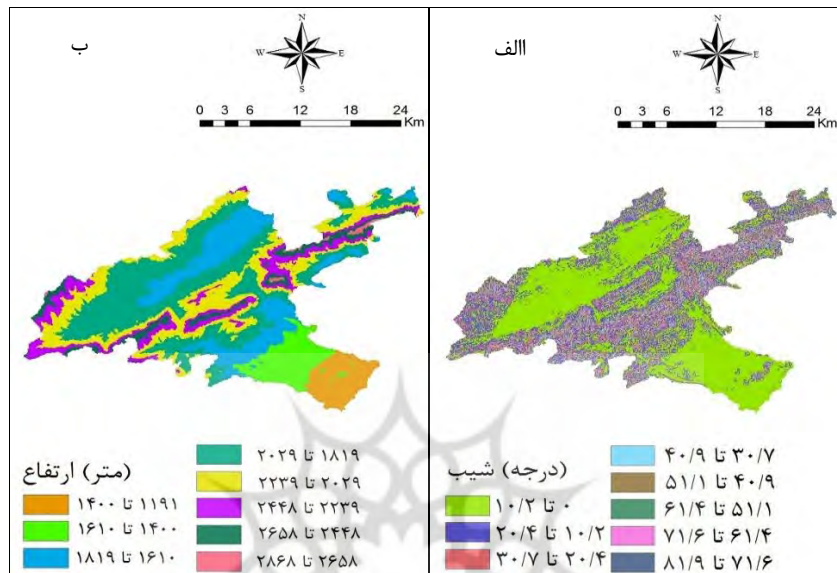
### بحث و نتایج

نقشه‌های خروجی نرم‌افزار ArcGIS شامل شیب جهت و ارتفاع، کلاس فرسایش خاک (طبق روش<sup>۱</sup> MPSIAC)، تیپ ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و فاصله از گسل در اشکال ۲ تا ۶ ارائه شده است.

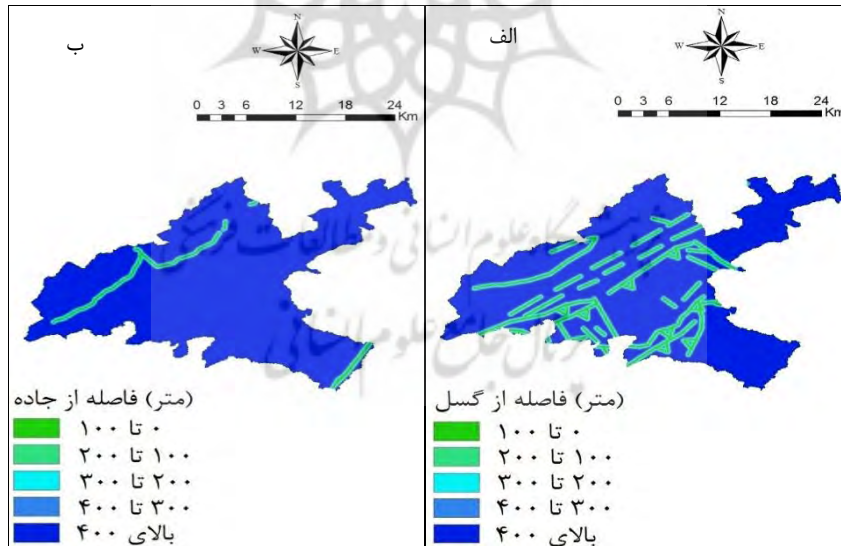
### مقایسه بعد هندسی در ویژگی‌های مختلف محیطی

در این مرحله نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. با توجه به عدم تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال ( $Sig.=0/000$ )، آزمون‌های ناپارامتری برای مقایسه‌ی اختلاف بین گروه‌ها استفاده گردید. نتایج مقایسه‌ی اختلاف بعد فرکتال پهنه‌های لغزشی با آزمون کروسکال والیس در جدول (۱) آمده است. با توجه به معناداری اختلاف کلی ابعاد هندسی در تیپ‌های ژئومورفولوژی، مقایسه‌ی زوجی با آزمون من-ویتنی‌یوانجام گرفت که نتایج در جدول (۲) ارائه شده است.

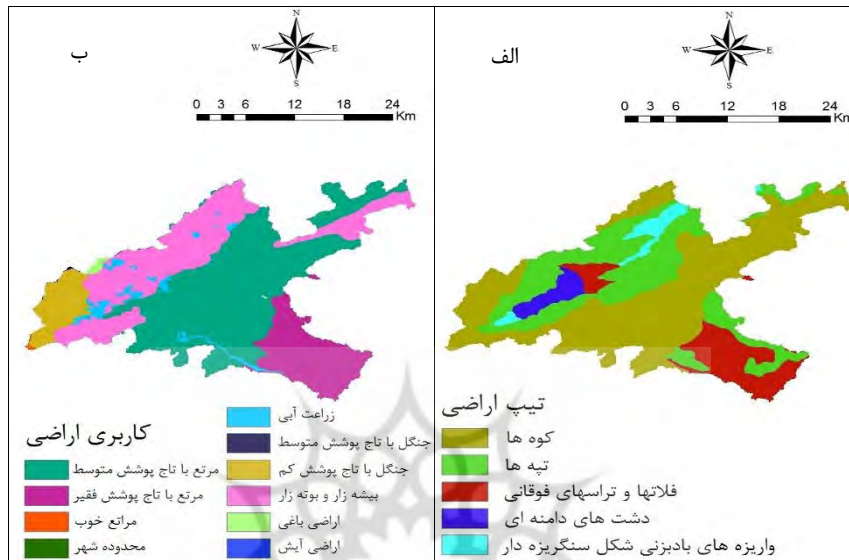
1- Modified Pacific Southwest Inter Agency



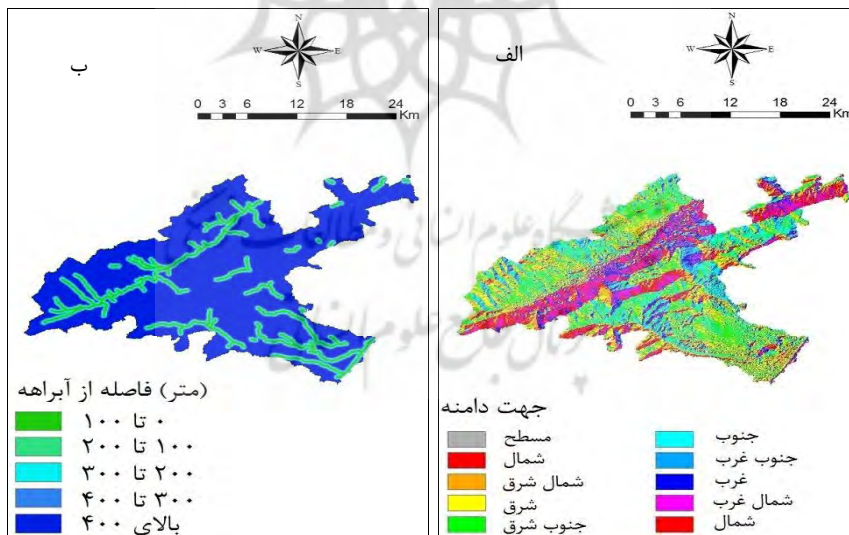
شکل (۲) نقشه عوامل ارتفاع (الف) و شیب (ب) در حوضه



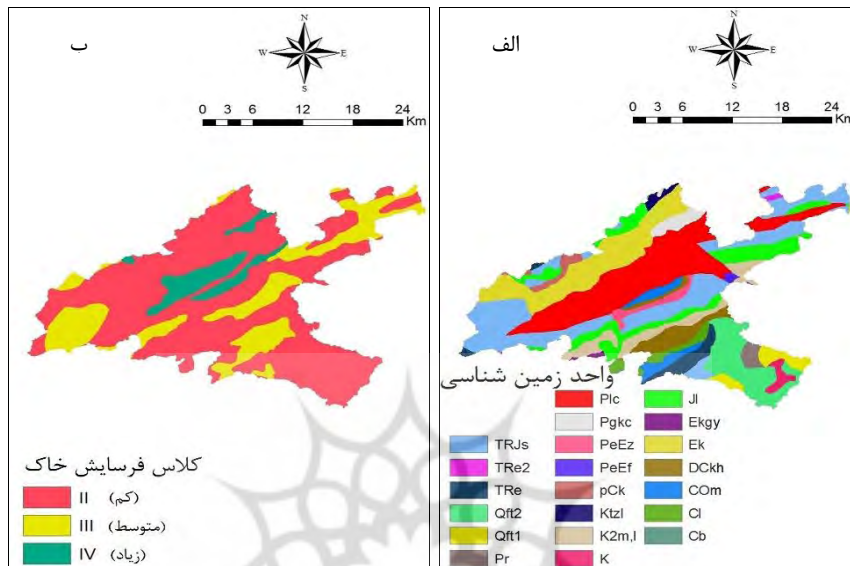
شکل (۳) نقشه‌ی عوامل فاصله از جاده (الف) و فاصله از گسل (ب) در حوضه



شکل (۴) نقشه‌ی عوامل کاربری اراضی (الف) و تیپ ژئومورفولوژی (ب) در حوضه



شکل (۵) نقشه‌ی عوامل جهت دامنه (الف) و فاصله از آبراهه (ب) در حوضه



شکل (۶) نقشه‌ی عوامل زمین‌شناسی (الف) و فرسایش خاک (ب) در حوضه

جدول (۱) نتایج بررسی اختلاف ابعاد هندسی پهنه‌های لغزشی در پارامترهای مورد بررسی

متغیر	آماره مربع کای <sup>۱</sup>	درجه آزادی	معناداری
کاربری اراضی	۶/۳۱	۳	۰/۰۹
جهت دامنه	۹/۱۰	۷	۰/۲۴
کلاس فرسایشی	۲/۱۷	۲	۰/۳۳
واحد زمین‌شناسی	۱۰/۷۵	۱۰	۰/۳۷
تیپ ژئومورفولوژی	۷/۸۵	۳	۰/۰۴
فاصله از گسل	۳/۳۷	۴	۰/۴۹
فاصله از آبراهه	۶/۸۸	۴	۰/۱۴
کلاس شیب	۷/۲۸	۴	۰/۱۲
کلاس ارتفاع	۹/۳۹	۵	۰/۰۹
فاصله از جاده	۶/۵۰	۳	۰/۲۷

1- Chi-Square

جدول (۲) نتایج بررسی اختلاف ابعاد هندسی پهنه‌های لغزشی در تیپ‌های ژئومورفولوژی

تیپ ۱	میانگین بعد فرکتال	تیپ ۲	میانگین بعد فرکتال	من-ویتنی یو	معناداری
کوه‌ها	۱/۹۸۷	واریزه‌های بادبزی شکل سنگریزه‌دار	۱/۹۸۸	۵۵/۰۰	۰/۹۸
فلات‌ها و تراس‌های فوقانی	۱/۹۷۱	واریزه‌های بادبزی شکل سنگریزه‌دار	۱/۹۸۸	۰/۰۰	۰/۱۸
فلات‌ها و تراس‌های فوقانی	۱/۹۷۱	کوه‌ها	۱/۹۸۷	۸/۵۰	۰/۰۰
تپه‌ها	۱/۹۸۶	واریزه‌های بادبزی شکل سنگریزه‌دار	۱/۹۸۸	۱۴/۵۰	۰/۹۱
تپه‌ها	۱/۹۸۶	کوه‌ها	۱/۹۸۷	۱۷۰۶/۰۰	۰/۹۴
تپه‌ها	۱/۹۸۶	فلات‌ها و تراس‌های فوقانی	۱/۹۷۱	۴/۰۰	۰/۰۱

### پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش

با توجه به طبقات عوامل، مساحت طبقات و تعداد لغزش‌های به‌وقوع پیوسته در هر طبقه محاسبه شد و با استفاده از مدل‌ها، وزن طبقات به‌دست آمد که جدول ۳ نتایج عامل ژئومورفولوژی را نشان می‌دهد. جهت ارزیابی و مقایسه‌ی d مدل‌ها، نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها با نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در GIS، قطع داده شدند که نتایج در جدول ۴ و شکل ۷ آمده است. در ارزیابی دقت پهنه‌بندی، لایه‌های اطلاعاتی حوضه بر اساس وزن به‌دست آمده از طبقات هر لایه بر مبنای ۷۰ درصد زمین‌لغزش تهیه شد، سپس این لایه‌ها با هم ادغام و نقشه‌ی حاصل در پنج پهنه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد با فواصل مساوی تهیه شد. به‌این ترتیب نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با دو مدل ارزش اطلاعات و تراکم

سطح تهیه گردید. نهایتاً نقشه‌ی تهیه‌شده با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها (۳۰ درصد باقیمانده) مقایسه و درصد لغزش‌های هر طبقه خطر (جدول ۴) مشخص شد.

جدول (۳) وزن عامل تیب ژئومورفولوژی به روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح

تیپ ژئومورفولوژی	مساحت	تعداد	تراکم در واحد سطح	وزن (ارزش اطلاعات)	وزن (تراکم سطح)
کوه‌ها	۳۲۵۵۲	۸۷	۰/۰۰۲۷	۰/۳۵	۰/۸
تپه‌ها	۲۰۶۷۶/۹	۳۳	۰/۰۰۱۶	-۰/۱۷	-۰/۳
فلات‌ها و تراس‌های فوقانی	۸۳۵۳/۶	۰	۰	۰	-۱/۹
دشت‌های دامنه‌ای	۲۲۲۱/۷	۰	۰	۰	-۱/۹
واریزه‌های بادبزی شکل سنگریزه‌دار	۲۱۹۴/۹	۲	۰/۰۰۰۹	-۰/۷۶	-۱

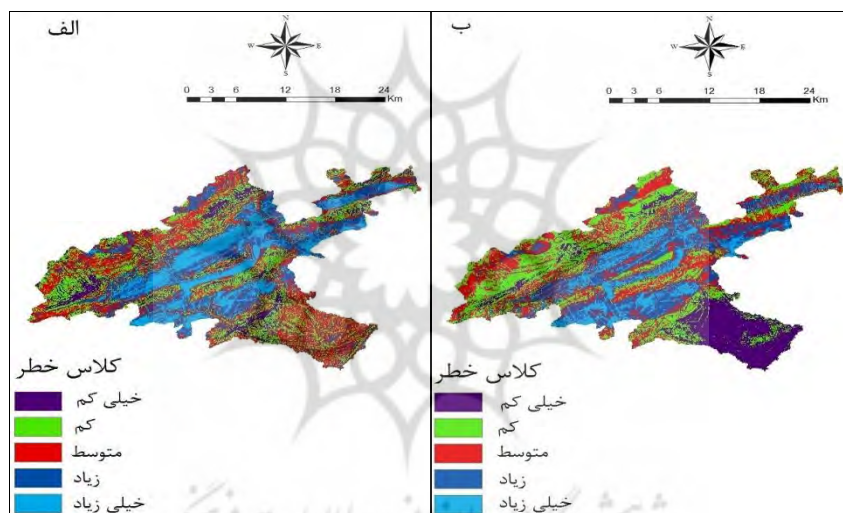
جدول (۴) درصد طبقات پهنه‌بندی حساسیت باروش ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح

کلاس حساسیت	ارزش اطلاعات		تراکم سطح	
	طبقه (درصد)	لغزش (درصد)	طبقه (درصد)	لغزش (درصد)
خطر خیلی کم	۱۰/۳۸	۳/۳۴	۱۵/۶۲	۳/۳۳
خطر کم	۲۲/۵۵	۲۰	۲۵/۷۰	۲۰
خطر متوسط	۲۸/۴۱	۱۸/۳۳	۲۶/۸۰	۲۰
خطر زیاد	۲۳/۱۶	۴۰	۲۱/۶۵	۴۰
خطر خیلی زیاد	۱۵/۵۰	۱۸/۳۳	۱۰/۲۳	۱۶/۶۷

### نتیجه‌گیری

از اقدامات اساسی در مدیریت زمین‌لغزش، شناسایی عوامل مؤثر در وقوع آن است. لذا تحقیق حاضر با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش در حوضه‌ی تویه-دروار استان سمنان صورت گرفت. طبق نتایج، در روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح به ترتیب حدود ۵۸ و ۵۶ درصد لغزش‌ها در کلاس خطر بالا و خیلی بالا، ۱۸ و ۲۰ درصد لغزش‌ها در کلاس خطر متوسط و ۲۳ درصد لغزش‌ها در کلاس خطر کم و

خیلی کم واقع شده‌اند. در مجموع حدود ۵۷ درصد لغزش‌ها در کلاس خطر بالا و خیلی بالا قرار دارند که نشان از پتانسیل بالای منطقه جهت وقوع زمین‌لغزش است. بررسی بعد فرکتالی ۱۴۶ پهنه لغزشی به روش شمارش جعبه نیز متوسطی برابر ۱/۹۸۷ را نشان داد. بررسی ویژگی‌های مکانی پهنه‌های لغزشی نشان داد که تنها اثر تیپ ژئومورفولوژی بر بعد هندسی پهنه‌های لغزشی معنادار بود و این معناداری ناشی از اختلاف بالای تیپ کوه‌ها با تیپ فلات و تراس‌های فوقانی است.



شکل (۷) پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش به‌روش ارزش اطلاعات (الف) و تراکم سطح (ب).

نتایج محاسبه‌ی نسبت تراکمی لغزش‌ها در هر طبقه از ویژگی‌های مکانی وقوع زمین‌لغزش نشان داد که در کاربری اراضی، بیش‌ترین تراکم در مرتع با تاج پوشش متوسط است که هم‌سو با نتایج اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۳) در پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش حوضه‌ی سیاه‌رود است. بین کلاس‌های فرسایش خاک، بیش‌ترین تراکم پهنه‌ها و نقاط لغزشی به‌ترتیب در کلاس‌های کم و زیاد وجود داشت. در بین

واحدهای زمین‌شناسی، واحد K211 بیشترین تراکم پهنه‌ها و واحد Ekgy بیشترین تراکم نقاط لغزشی را داشت. واحد K211 آهک رودیست‌دار با بین لایه‌های مارن بوده و واحد Ekgy سازند کرج شامل توف داسیتی سبز تا کرم رنگ و شیل سیاه است که علت را می‌توان حساسیت بالای این سازند دانست.

در بین طبقات ارتفاعی نیز بیش‌ترین تراکم در واحد سطح لغزش‌ها در ارتفاع ۱۸۱۹ تا ۲۰۲۹ متر مشاهده گردید و با افزایش ارتفاع میزان حساسیت به خطر زمین لغزش به مرور کم شد. طبق نظر پاچوری و پنت<sup>۱</sup> (۱۹۹۲) هرچه ارتفاع بیش‌تر شود، حساسیت به زمین لغزش بیش‌تر می‌شود اما در پژوهش حاضر کاهش فراوانی و وقوع زمین لغزش در ارتفاع بالاتر را می‌توان به عواملی هم‌چون لیتولوژی مقاوم و در امان بودن از دخالت‌های انسانی نسبت داد. در مورد جهت دامنه‌ی بیشترین تراکم پهنه‌های لغزشی در جهت شمال‌شرقی مشاهده شد و نقاط لغزشی نیز بیش‌تر در جهت شمال‌غربی تراکم داشتند که این دامنه‌ها به دلیل زاویه و مدت کمتر تابش خورشیدی در نیمکره‌ی شمالی دارای بیش‌ترین رطوبت خواهند بود که نتایج این بخش با نتایج پژوهش صابرچناری و همکاران (۱۳۹۴) و شیرانی و سیف (۱۳۹۰) مطابقت دارد. در زمینه‌ی عامل شیب نیز بیشترین تراکم پهنه‌ها و نقاط لغزشی به‌ترتیب در کلاس‌های شیب ۱۰/۲ تا ۲۰/۴ و ۲۰/۴ تا ۳۰/۷ مشاهده گردید. در شیب‌های کم معمولاً نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک و دیگر مواد دامنه‌ای بیش‌تر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است. در شیب‌های خیلی زیاد نیز خاک در حدی تجمع نمی‌یابد که منجر به زمین لغزش گردد، در نتیجه در شیب‌های متوسط بیش‌ترین مقدار زمین لغزش مشاهده شده است که با نتایج فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۳) مطابقت دارد.



نهایتاً سه شاخص فاصله از جاده، گسل و آبراهه نیز در ۵ کلاس صفر تا ۱۰۰، ۱۰۰ تا ۲۰۰، ۲۰۰ تا ۳۰۰، ۳۰۰ تا ۴۰۰ و بالای ۴۰۰ متر بافربندی گردید. بررسی تراکم در واحد سطح زمین لغزش‌ها نشان داد که در شاخص فاصله از جاده، بیش‌ترین تراکم پهنه‌های لغزشی در کلاس بالای ۴۰۰ متر و نقاط لغزشی در کلاس کمتر از ۱۰۰ متر رخ داده است. احداث غیراصولی جاده باعث ناپایداری و گسیختگی دامنه‌ها می‌گردد. نتیجه این بخش از پژوهش هم‌سو با نتایج تحقیقات کردی و همکاران (۱۳۹۱)، آیالو و یاماگیشی ۱ (۲۰۰۶) و کمپ ۲ و همکاران (۲۰۰۸) مبنی بر تأثیر مثبت جاده بر لغزش می‌باشد. در شاخص فاصله از آبراهه بیش‌ترین تراکم پهنه‌ها در کمتر از ۱۰۰ متر و بیش‌ترین تراکم نقاط لغزشی در بیش از ۴۰۰ متر مشاهده شد. در مورد فاصله از گسل، بیش‌ترین تراکم پهنه‌های لغزشی در حریم کمتر از ۱۰۰ متر و نقاط لغزشی در حریم ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر واقع گردیدند.

یافته‌ها نشان می‌دهد که فرسایش سطحی اثری بر وقوع زمین‌لغزش‌های وسیع ندارد ولی نقاط لغزشی را تحت اثر قرار داده است. از نظر ژئومورفولوژی نیز تیپ‌های کوه و تپه مؤثر بوده که ناشی از شیب بالای این تیپ‌ها است. در مورد وقوع زمین‌لغزش‌ها در حریم جاده، گسل و آبراهه، نتیجه می‌شود که جاده بر زمین‌لغزش‌های محدود اثرگذار بوده ولی بر وقوع پهنه‌های لغزشی وسیع اثری نداشته است. اما وجود گسل در منطقه و مجاورت با گسل باعث وقوع زمین‌لغزش‌های وسیع گردیده است. نهایتاً وجود آبراهه در محدوده نیز بر ایجاد زمین‌لغزش‌های وسیع مؤثر بوده است، اما نقاط لغزشی از وجود آبراهه در محدوده‌ی خود اثر نپذیرفته‌اند. در مرحله‌ی ارزیابی، با روی هم گذاشتن لایه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با لایه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها مشخص شد که هر دو روش دقت

---

1- Ayalew and Yamagishi

2- Kamp

مناسبی دارند. اما روش ارزش اطلاعات به لحاظ داشتن انطباق بیشتر زمین لغزش‌ها با پهنه‌ی خطر خیلی بالا کارایی بهتری نسبت به تراکم سطح دارد. نتایج این بخش در ارجحیت روش ارزش اطلاعات هم‌سو با نتایج صابرچناری و همکاران (۱۳۹۴)، پورهاشمی و همکاران (۱۳۹۳) و فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۳) می‌باشد. هم‌چنین باتوجه به اینکه حدود ۵۷ درصد لغزش‌ها در کلاس خطر بالا و خیلی بالا هستند می‌توان گفت منطقه‌ی پتانسیل زیادی برای وقوع زمین لغزش دارد. این امر بیان‌گر در خطر بودن تأسیسات منطقه، اراضی کشاورزی، سازه‌ها و ساختمان‌ها است.

به طور کلی زمین لغزش در مقایسه با انواع عوامل هدررفت خاک، از عوامل مهم تهدیدکننده‌ی منابع طبیعی و از رخدادهای مؤثر در تغییر منظر زمین، از دست رفتن اراضی و منابع آب است. توسعه لغزش‌ها منجر به از دست رفتن خاک شده و از علل اصلی تخریب محیط‌زیست به‌شمار می‌آید. طبق نتایج بررسی حوضه‌ی تویه‌دروار، کنترل مراتع در حال تخریب و واحدهای مارنی، مدیریت دامنه‌های مرطوب، اجرای برنامه‌های مدیریتی به‌خصوص در شیب‌های با متوسط ۲۰ درصد و احیای پوشش گیاهی از جمله اقدامات مؤثر در جهت کنترل زمین لغزش‌هاست. نهایتاً در مدیریت پیشگیری نیز باید در مناطق حساس به زمین لغزش از صدور هر گونه مجوز بهره‌برداری و چرای بی‌رویه جلوگیری نمود و از جاده‌سازی به‌عنوان مهم‌ترین تأسیسات در معرض خطر، در مناطق مستعد به زمین لغزش خودداری کرد.

## منابع

- ابراهیمی، پیام؛ اصلاح، مهدی و مریم آذرخشی (۱۳۹۶)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش SMCE و فن AHP در حوضه‌ی آبخیز هفشجان در استان چهارمحال و بختیاری، منابع طبیعی ایران، مرتع و آبخیزداری، شماره‌ی ۱، صص ۱-۱۸.
- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ بهشتی جاوید، ابراهیم و محمدحسین فتحی (۱۳۹۳)، پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بی‌زین (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز سیاهرود)، جغرافیا و مخاطرات طبیعی، شماره‌ی ۱۲، صص ۱-۱۸.
- ایلاتلو، مریم؛ مقیمی، ابراهیم و محمدرضا ثروتی (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز سد کرج)، جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۵، صص ۸۵-۹۵.
- پوره‌اشمی، سیما؛ امیراحمدی، ابوالقاسم و الهه اکبری (۱۳۹۳)، انتخاب مدل مناسب از بین روش‌های آماری دومتغیره جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محیط (GIS) (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز بقیع)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره‌ی ۱۵، صص ۷۱-۸۹.
- حسین‌زاده، سیدرضا؛ قربانی‌شورستانی، علی؛ نورمحمدی، علی‌محمد و محسن رضایی عارفی (۱۳۹۴)، بررسی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی سد دوستی)، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۴، صص ۲۱-۳۸.
- حکمت‌زاده، علی‌اکبر و ناصر طالب‌بیدختی (۱۳۸۷)، آنالیز فراکتالی سری زمانی جریان رودخانه‌ها-مطالعه‌ی موردی بر روی رودخانه‌ی کر، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۲۱ تا ۲۳ آبان، دانشگاه صنعتی شهید عباسپور، تهران، صص ۱-۱۰.

- روستایی، شهرام؛ مختاری، داود؛ حسینی، زهرا و مهدی اطمانی‌حقیویران (۱۳۹۴)، بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی میمه در استان ایلام به روش تحلیل شبکه (ANP)، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۴، صص ۱۰۱-۱۲۳.
- شیرانی، کورش و عبدالله سیف (۱۳۹۰)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی پیشکوه، شهرستان فریدون شهر)، علوم زمین، شماره‌ی ۸۵، صص ۱۴۹-۱۵۸.
- صابرچناری، کاظم؛ سلمانی، حسین و مجتبی محمدی (۱۳۹۴)، ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و LNRf (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز زیارت استان گلستان)، اکوهیدرولوژی، شماره‌ی ۱، صص ۱۰۵-۱۱۶.
- طولایی، سوسن و موسی عابدینی (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش حوضه نوژیان با مدل‌های همپوشانی فازی و AHP، علوم مهندسی آبخیزداری ایران، شماره‌ی ۳۴، صص ۹۳-۱۰۴.
- طالبی، علی؛ نفرزادگان، علیرضا و حسین ملکی‌نژاد (۱۳۸۸)، مروری بر مدل‌سازی تجربی و فیزیکی زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۷۰، صص ۴۵-۶۴.
- فتاحی، محمدهادی و زهرا طالب‌زاده (۱۳۹۶)، ارتباط بین ضریب فشردگی حوضه‌ی آبریز با ویژگی‌های فرکتال آن، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۱، صص ۱۹۱-۲۰۳.
- فیض‌نیا، سادات؛ کلارستاقی، عطاالله؛ احمدی، حسن و مهرداد صفایی (۱۳۸۳)، بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه‌ی موردی: زهکشی شیرین‌رود، حوضه‌ی تجن)، منابع طبیعی، شماره‌ی ۱، صص ۳-۲۰.
- کردی، عبدالواحد؛ دشتی مرویلی، مریم و بهارک معتمد وزیری (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از رگرسیون چندمتغیره (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز کوهسار)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره‌ی ۸، صص ۴۹-۶۱.

- کرم، امیر (۱۳۸۹)، نظریه‌ی آشوب، فرکتال (برخال) و سیستم‌های غیرخطی در ژئومورفولوژی، جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۸، صص ۶۷-۸۲.
- Ayalew, L, and Yamagishi, H. (2006), **The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the kakuda-yahiko mountains- central japan**, *Geomorphology*, Vol. 65, No. 1, PP,15-31.
- Cheng, Q., (1999), **Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation**, *Geochemical exploration*, Vol. 65, No. 3, PP, 175-194.
- Dymond, J. R., Ausseil, A. G., Shepherd, J. D., and Buettner, L., (2006), **Validation of a region-wide model of landslide susceptibility in the Manawatu–Wanganui region of New Zealand**, *Geomorphology*, Vol. 74, No. 1, PP,70-79.
- Geissen, V., Sanchez-Hernandez, R., Kampichler, C., Ramos-Reyes, R., Sepulveda-Lozada, A., Ochoa-Goana, S., de Jong, BHJ., Huerta-Lwanga, E. and Hernandez-Daumas, S., (2009), **Effects of land-use change on some properties of tropical soils-An example from Southeast Mexico**, *Geoderma*, Vol. 151, No. 3, PP,87-97.
- Kamp, U., Growley, B. J., Khattak, G. A., and Owen, L. A., (2008), **GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region**, *Geomorphology*, Vol. 101, No. 4, PP, 631-642.
- Li, C., Ma, T., Sun, L., Li, W., and Zheng, A., (2012), **Application and verification of a fractal approach to landslide susceptibility mapping**, *Natural hazards*, Vol. 61, No. 1, PP,169-185.
- Li, H., Giger, M. L., Olopade, O. I., and Lan, L., (2007), **Fractal analysis of mammographic parenchymal patterns in breast cancer risk assessment**, *Academic radiology*, Vol. 14, No. 5, PP, 513-521.
- Papadakis, M., and Karimalis, A., (2017), **Producing a Landslide Susceptibility Map through the Use of Analytic Hierarchical**

**Process in Finikas Watershed, North Peloponnese, Greece**, American Journal of Geographic Information System, Vol. 6, No. 1, PP,14-22.

- Pachauri, A. K., and Pant, M., (1992), **Landslide hazard mapping based on geological attributes**, *Engineering geology*, Vol. 32, No. 1, PP,81-100.
- Sarp, G., (2014), **Evolution of neotectonic activity of east anatolian fault system (EAFS) in Bingol pull-aport basin based on fractal dimension and morphometric**, *Asian Earth Sciences*, Vol. 88, PP, 168-187.
- Zuo, R., and Carranza, E.J.M., (2017), **A fractal measure of spatial association between landslides and conditioning factors**, *Journal of Earth Science*, Vol. 28, Issue 4, PP,588–594.

