



هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۹، سال ۵، تابستان ۱۳۹۸، صص ۷۷-۵۷

Hydrogeomorphology, Vol.5, No.19, Summer 2019, pp (57-77)



## مدل‌سازی حرکات توده‌ای با روش‌های داده‌کاوی در جنوب‌شرق نیشابور، استان خراسان رضوی

مهسا آریاپور<sup>۱</sup>، مهدی بشیری\*<sup>۲</sup>، علی گل‌کاریان<sup>۳</sup>

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۱ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۹

### چکیده

حرکات توده‌ای با توجه به ماهیت، تنوع و خطراتی که دارند، همواره مورد توجه پژوهشگران علوم مختلف بوده‌اند. مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌ی شناخت عوامل مؤثر، پهنه‌بندی و مدل‌سازی این فرآیند صورت گرفته است، اما در زمینه‌ی کاربرد الگوریتم‌های داده‌کاوی مطالعات محدودی انجام شده است. لذا در این پژوهش با هدف استفاده از علم داده‌کاوی، زمین‌لغزش‌های جنوب‌شرق شهرستان نیشابور بررسی و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر با روش‌های آماری دو متغیره شامل ارزش اطلاعات و تراکم سطح تهیه شد. ۱۵ لایه اطلاعاتی شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب اراضی، جهت شیب، اقلیم، کاربری اراضی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، میزان تیخیر، دما، بارش، تیپ اراضی، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه در محیط ArcGIS رقومی و با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی در نرم‌افزار R، بهترین الگوریتم و عوامل مؤثر شناسایی و معرفی شدند. برطبق نتایج این تحقیق، متغیرهای زمین‌شناسی، آب‌وهوا، جهت شیب، فاصله از جاده، ارتفاع، خاک‌شناسی و تیپ اراضی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل وقوع زمین‌لغزش در نظر گرفته شد. همچنین نتایج حاکی از برتری الگوریتم جنگل تصادفی با دقت ۹۲٪ بود. نتایج ارزیابی نقشه‌ی پهنه‌بندی نشان داد به ترتیب ۴۵/۴۵٪ و ۵۱/۵۱٪ از حرکات توده‌ای مرحله ارزیابی، در پهنه با خطر زیاد و خیلی‌زیاد قرار گرفته است و مابقی در پهنه‌های با خطر کمتر واقع شده‌اند. بنابراین نتایج بیانگر دقت مناسب مدل‌سازی است، اما در مقایسه‌ی دو روش آماری، روش تراکم سطح نسبت به روش ارزش اطلاعات برای منطقه‌ی مورد مطالعه مناسب‌تر معرفی شد.

**کلمات کلیدی:** خطرات طبیعی، زمین‌لغزش، ارزش اطلاعات، تراکم سطح، داده‌کاوی.

۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی طبیعت و گیاهان دارویی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران (نویسنده‌ی مسئول).  
E-mail: m.bashiri@torbath.ac.ir

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

## مقدمه

مخاطرات به عنوان فرآیندها و حالاتی تعریف می‌شوند که پتانسیل ایجاد خطرات، خسارات و تأثیرات زیان‌آور دیگر را برای بشر و محیط پیرامون دارند. حرکات دامنه‌ای و به طور اخص زمین‌لغزش، در زمره‌ی پرخسارت‌ترین آن‌هاست. ایران به دلیل مستعد بودن شرایط جغرافیایی و فقدان مدیریت جامع و عدم رعایت آستانه‌های محیطی، جزء ده کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است (متولی، ۱۳۹۰: ۱۳). مدل‌ها و روش‌های گوناگونی جهت مطالعه زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی آن‌ها توسط محققین علوم مختلف انجام گرفته است. شناخت نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش‌ها از گام‌های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌ای و عمرانی است.

شناسایی و طبقه‌بندی نواحی مستعد لغزش و پهنه‌بندی خطر آن نقش غیرقابل انکاری را در مدیریت حوضه‌های آبخیز ایفا می‌کند (شادفر و یمانی، ۱۳۸۶: ۱۰). تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی با صحت بالا نتیجه کلیه‌ی مراحل جمع‌آوری اطلاعات و شناسایی پارامترهای مؤثر، وزن‌دهی و امتیازدهی به پارامترها و نحوه‌ی تلفیق و رده‌بندی مقادیر خطر می‌باشد. در مورد پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پژوهش‌های فراوانی انجام گرفته است اما این مطالعات از نظر روش‌شناسی و فرایند انجام کار با هم متفاوت بوده‌اند (رحیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۶: ۲). در تحقیق حسونوند و سوری (۱۳۹۵: ۷) پس از بررسی عوامل مؤثر بر وقوع لغزش در حوضه کسمت لرستان، جهت پهنه‌بندی از مدل تراکم سطح استفاده شد. نتایج پهنه‌بندی نشان داد به ترتیب ۲۹/۸۵، ۳۸/۳۵، ۱۸/۴۵، ۱۰/۳۴ و سه درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. عابدی و همکاران جهت شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و مشخص کردن نواحی دارای پتانسیل لغزشی در حوضه‌ی آذرشهرچای پژوهشی را انجام دادند (عابدی‌قشلاقی و همکاران، ۱۳۹۵: ۹). پارامترهای مؤثر در وقوع این خطر شناسایی و سپس لایه‌ی رقومی این فاکتورها تهیه و به روش منطق فازی وزن‌دهی لایه‌ها انجام گرفت. در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش آماده گردید.

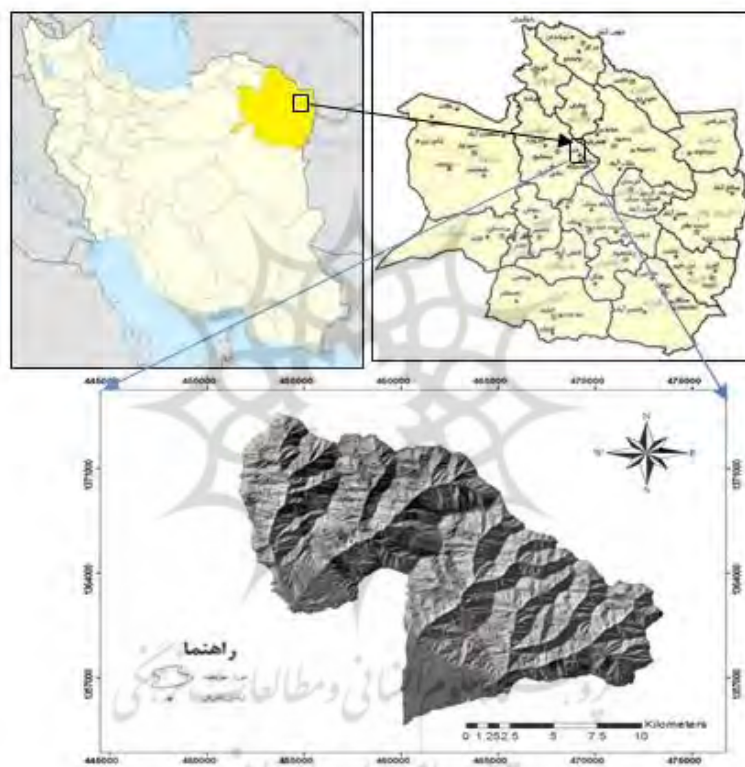
ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که ۲۷/۷۷، ۱۷/۷۹، ۲۳/۹۴، ۱۷/۵۴، ۲/۹۶ درصد از مساحت منطقه به ترتیب در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. روستایی و همکاران، به ارزیابی کمی روش‌های رگرسیون لجستیک<sup>۱</sup> و شبکه‌ی عصبی مصنوعی در تنگه‌ی دره‌دیز (آذربایجان شرقی) پرداختند. پس از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی در محیط ArcGIS، نقشه پهنه‌بندی خطر ناپایداری در پنج کلاس خیلی‌زیاد تا خیلی کم طبقه‌بندی شد و دو عامل شیب و فاصله از گسل، فاکتورهای مهم در وقوع ناپایداری‌های حوضه معرفی شدند (روستایی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳). در خارج از کشور، هونگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵: ۱۳) با استفاده از تکنیک داده‌کاوی و مدل‌های آماری به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در چین پرداختند. مجموعاً ۱۶۳ رخداد لغزشی تشخیص داده شد. نتایج حاکی از مقادیر خروجی بالاتر از ۷۰ درصد بود که حاکی از دقت بالای این روش‌ها می‌باشد. کالکسن<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۶: ۱۱) در منطقه‌ی تونیا<sup>۴</sup> در ترازون ترکیه پژوهشی را با هدف مقایسه‌ی عملکرد دو GPR<sup>۵</sup> و SVM<sup>۶</sup> در تحلیل حساسیت نقشه‌های لغزشی انجام دادند و نتایج مدل‌سازی را با روش رگرسیون لجستیک مقایسه نمودند که حاکی از دقت بالای عملکرد دو الگوریتم SVM و GPR می‌باشد (به ترتیب ۹۰/۴۶ و ۹۰/۳۷) و با روش رگرسیون لجستیک ۱۸ درصد تفاوت دارد. یوسف<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۶: ۷) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه‌ی عسیر<sup>۸</sup> در عربستان سعودی، عملکرد روش‌های جنگل تصادفی، درخت رگرسیون بوست، درخت تصمیم و مدل‌های خطی را باهم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های فوق با سطح زیر منحنی به ترتیب برابر با ۷۸٪، ۹۵٪، ۸۱٪ و ۸۲٪ دقت

- 
- 1- Logistic Regression
  - 2- Hong
  - 3- Colkesen
  - 4- Tonya
  - 5- Gaussian Process Regression
  - 6- Support Vector Regression
  - 7- Youssef
  - 8- Asir

قابل قبولی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارند. هایوان<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵: ۱۵) جهت تشخیص نواحی مستعد خطر زمین‌لغزش از سه مدل درخت تصمیم متناوب<sup>۲</sup>، ماشین بردار پشتیبان و کرنل رگرسیون لجستیک دو کلاسه<sup>۳</sup> در حوضه‌ی یی‌هوانگ<sup>۴</sup> چین استفاده کردند. بر اساس منحنی ROC دو الگوریتم ارتقاء یافته درخت تصمیم متناوب و کرنل رگرسیون لجستیک دو کلاسه جهت تعیین نواحی مستعد لغزشی مناسب معرفی شدند. موتاسم<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۴: ۹) جهت بررسی حساسیت لغزشی ایسلند، با روش درخت تصمیم بیان داشتند الگوریتم درختی CRT با دقت ۷۵/۶ و متغیرهای شیب، فاصله از شبکه‌ی زهکشی، جهت شیب، انحنای مقطع و ارتفاع بخش سطحی به‌عنوان مؤثرترین عوامل وقوع لغزش‌های منطقه هستند، در حالی که پودیال<sup>۶</sup> (۲۰۱۳: ۷)، با روش درخت تصمیم و دقت ۹۵/۹٪ عامل شاخص قدرت جریان و شیب را مؤثر گزارش نمود. وقوع پدیده‌ی زمین‌لغزش یکی از معضلات عمده‌ای است که استان خراسان رضوی و شهرستان‌های این استان با آن روبه‌رو است. بنابراین ایجاد یک استراتژی منطقه‌ای برای حفاظت از منابع انسانی و طبیعی و کاهش خسارات ناشی از وقوع آن ضروری بوده و ارائه یک مدل مناسب و تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط منطقه‌ی مطالعاتی کمک شایانی به مراکز ذی‌صلاح نماید. هدف پژوهش حاضر شناسایی و طبقه‌بندی نواحی حساس به حرکات توده‌ای، تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌ها و تعیین اولویت الگوریتم‌ها در وقوع این پدیده است. با توجه به بررسی حرکات توده‌ای و فراوانی بیشتر زمین‌لغزش‌ها نسبت به سایر انواع حرکات توده‌ای در استان، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و مدل‌سازی نواحی حساس به خطر زمین‌لغزش، شناخت عوامل مؤثر در وقوع خطر، پهنه‌بندی آن و ارائه راهکارهایی جهت کنترل و تثبیت دامنه‌ها، با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی در سه

- 1- Haoyuan
- 2- Alternating Decision Tree
- 3- Two-Class Kernel Logistic Regression
- 4- Yihuang
- 5- Mutasem
- 6- Poudyal

حوضه‌ی خرو، حریم‌آباد و گرینه در جنوب شرق شهرستان نیشابور در استان خراسان رضوی انجام شد.



شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی در استان خراسان رضوی و شهرستان نیشابور

### مواد و روش‌ها

#### - معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان نیشابور یکی از شهرستان‌های بخش مرکزی استان خراسان رضوی است که بین  $۵۸^{\circ}۱۹'$  تا  $۵۹^{\circ}۳۰'$  طول شرقی و  $۳۵^{\circ}۴۰'$  تا  $۳۶^{\circ}۳۹'$  عرض شمالی در حاشیه

شمال شرقی کویر مرکزی ایران واقع شده است. وسعت آن ۸۹۲۵۳۰ هزار هکتار می باشد. متوسط کل بارندگی این شهرستان ۲۴۷/۴ میلی متر بوده و بر اساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم خشک می باشد.

#### – روش انجام پژوهش

##### الف) تهیه داده ها و اطلاعات

جهت انجام پژوهش در ابتدا اقدام به شناسایی نواحی دارای حرکات توده ای در سطح استان خراسان رضوی شد. با بررسی عکس های هوایی، تصاویر ماهواره ای گوگل ارث<sup>۱</sup> و نقشه های زمین شناسی و بازدیدهای میدانی سه حوضه ی خرو، حریم آباد و گرینه در جنوب شرق نیشابور با مجموعاً ۹۹ حرکت لغزشی مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از GPS مختصات نقاط ثبت و سپس با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با دقت ده متر و لایه آبراهه های استان، مرزهای سه حوضه توسط نرم افزار ArcHydro ترسیم شد. ۱۵ عامل در وقوع حرکات توده ای حوضه جهت بررسی معرفی شدند. لایه های شیب، جهت شیب و ارتفاع با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با دقت ده متر، لایه های زمین شناسی، گسل های حوضه و لیتولوژی با استفاده از شیت ۱:۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی و لایه ی پوشش گیاهی از طریق تصاویر ماهواره ای لندست ۸ سال ۲۰۱۶ در نرم افزار ENVI5.3 تهیه گردید. شیپ فایل اطلاعاتی سایر لایه ها هم چون خطوط هم دما، هم بارش، هم تبخیر، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، خاک شناسی، کاربری اراضی و تیپ اراضی از سازمان هواشناسی و سازمان جغرافیایی استان خراسان دریافت و با برش پلی گون هر یک از این لایه ها براساس مرز حوزه مطالعاتی، اطلاعات آن ها به عنوان ورودی فرآیند مدل سازی تهیه و آماده سازی شدند.

**(ب) تجزیه و تحلیل داده‌ها**

پس از تهیه‌ی لایه‌های رقومی فاکتورهای مؤثر در پژوهش، لایه‌ی پراکندگی لغزش‌های منطقه با مشاهدات میدانی و استفاده از تصاویر گوگل ارث به صورت پلیگونی ترسیم شد. پس از ادغام لایه نقاط لغزشی و نقاط فاقد وقوع زمین لغزش، از مجموع ۱۹۸ نقطه در نظر گرفته شده، نقاط لغزشی حوضه (۹۹ نقطه) با کد یک و نقاط فاقد لغزش (۹۹ نقطه) با کد صفر معرفی شدند تا در فرآیند مدل‌سازی بکار روند. در مرحله‌ی بعد اقدام به مدل‌سازی از طریق نرم‌افزار R با استفاده از هریک از الگوریتم‌های جنگل تصادفی، درخت تصمیم، ماشین بردار پشتیبان، رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی، الگوریتم تجمعی بوست<sup>۱</sup> و شبکه‌ی عصبی مصنوعی شد. در این فرآیند داده‌های پژوهش به دو دسته داده‌های آموزشی<sup>۲</sup> و داده‌های آزمایشی جداسازی شدند؛ بدین صورت که ۷۰ درصد داده‌ها به صورت کاملاً تصادفی، به عنوان داده‌های آموزش وارد مدل گردید و ۳۰ درصد باقیمانده به عنوان داده آزمون جهت ارزیابی و صحت‌سنجی مدل در نظر گرفته شد. آزمایش و اعتبارسنجی مدل‌های اجرا شده در این پژوهش با محاسبه شاخص ویژگی‌های عامل نسبی یا همان منحنی مشخصه عملیاتی دریافت‌کننده‌ی (ROC) به دست آمد. بهترین مدل سطح زیر منحنی نزدیک به یک دارد، در حالی که مقادیر نزدیک به ۰/۵ نشان‌دهنده‌ی عدم صحت در مدل است (فاوکت<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶: ۱۳).

جهت پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش ابتدا لایه‌های مختلف جهت مدل‌سازی کلاسه‌بندی شدند. سپس با محاسبه‌ی فراوانی لغزش‌های به وقوع پیوسته در هر کلاس از لایه‌های اطلاعاتی و فراوانی کل هر کلاس، تراکم زمین لغزش‌های هر کلاس برآورد گردید. در مرحله‌ی بعد با استفاده از فراوانی لغزش‌های رخ داده در حوضه‌ی مطالعاتی، تراکم لغزش‌های رخ داده در حوضه به دست آمد. پس از اینکه وزن هریک از کلاس‌های

1- Boost

2- Training Data

3- Fawcett

پارامترهای در نظر گرفته شده محاسبه شد، در محیط ArcMap وزن مربوط به هر کلاس اعمال شد که با روی هم گذاری پارامترها و ضرب مقادیر وزنی در ضریب جینی<sup>۱</sup> حاصل از مدل سازی الگوریتم جنگل تصادفی به دلیل داشتن بالاترین دقت در بین الگوریتم های مورد مطالعه، و سپس جمع جبری مقادیر حاصل، نقشه نهایی حساسیت زمین لغزش های حوضه بر اساس روش های آماری دومتغیره ارزش اطلاعاتی<sup>۲</sup> (رابطه ی ۱) و تراکم سطح<sup>۳</sup> (رابطه ی ۲) به دست آمد.

$$W_i = \ln \left[ \frac{Densclass}{Densmap} \right] = \ln \left[ \frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{\sum Npix(S_i)}{\sum Npix(N_i)}} \right] \quad \text{رابطه ی (۱)}$$

$$W_i = 1000 \left[ \frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)} - \frac{\sum Npix(S_i)}{\sum Npix(N_i)} \right] \quad \text{رابطه ی (۲)}$$

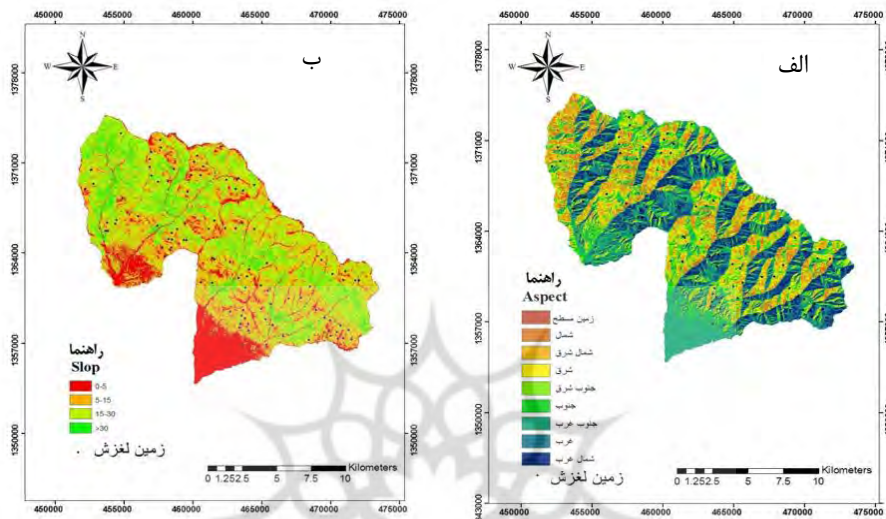
که در روابط ۱ و ۲،  $W_i$ : وزن مربوط به طبقه ی مشخص از یک متغیر، Densclass: تراکم زمین لغزش در طبقه ی مشخص از یک متغیر، Densmap: تراکم زمین لغزش در کل محدوده،  $NpixSi$ : تعداد سلول ها یا مساحت زمین لغزش های رخ داده در هر طبقه از متغیر،  $NpixNi$ : تعداد سلول ها یا مساحت کل هر طبقه از متغیر،  $\sum NpixSi$ : مجموع کل زمین لغزش های منطقه و  $\sum NpixNi$ : مساحت کل منطقه است.

#### بحث و نتایج

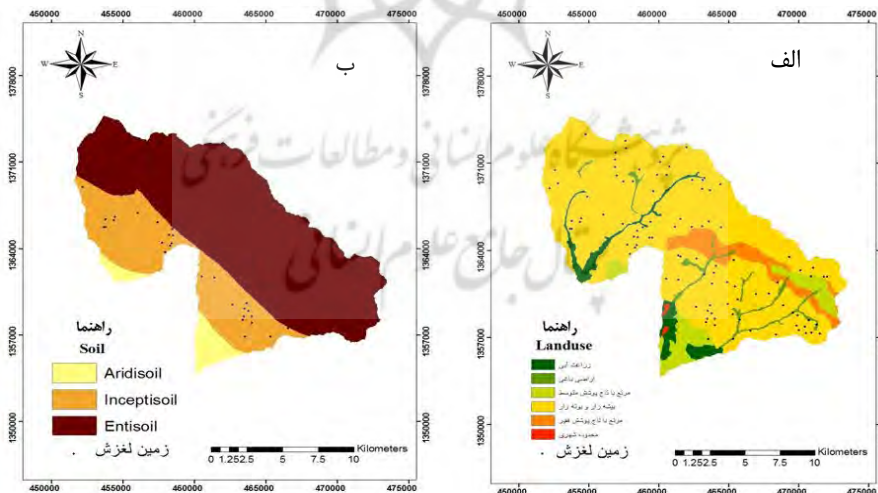
نقشه ی لایه های اطلاعاتی فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین لغزش های منطقه در شکل های (۲ تا ۸) ارائه شده است.

1- Gini  
2- Information Value  
3- Density Area

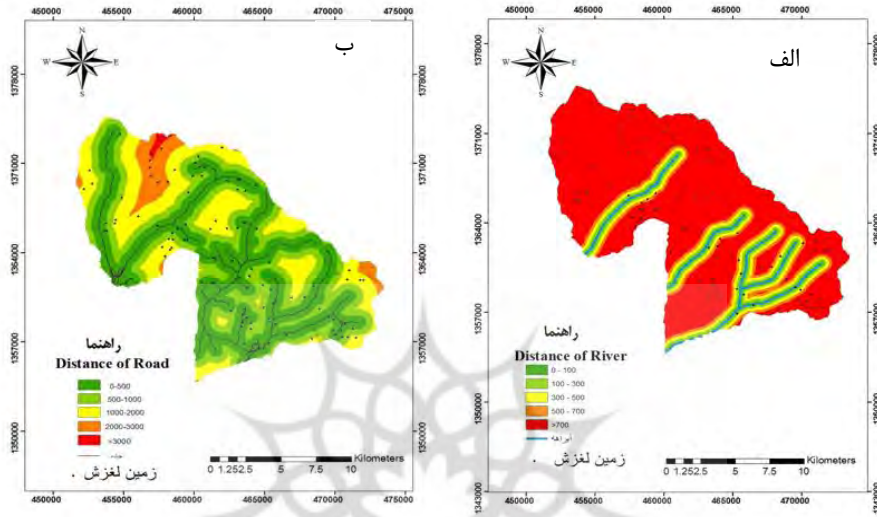




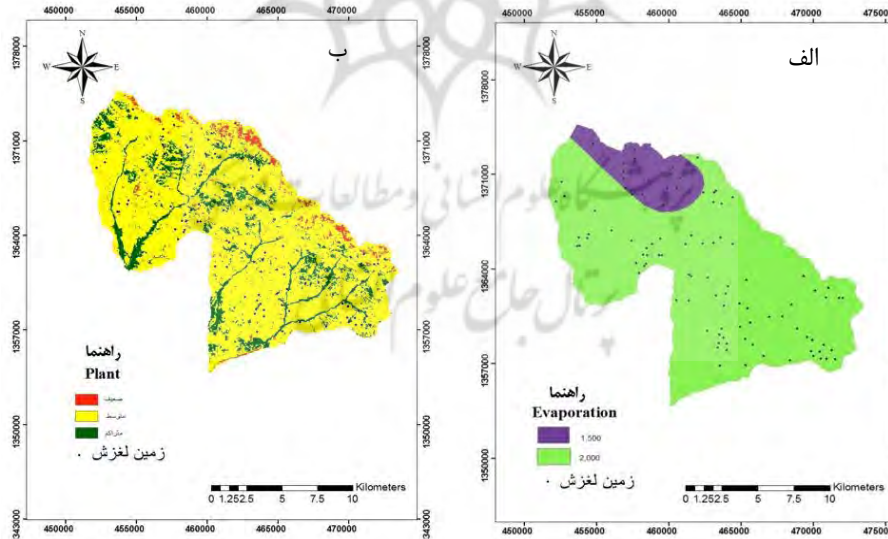
شکل (۲) نقشه‌ی لایه‌های جهت شیب (الف) و تندی شیب (ب) حوضه



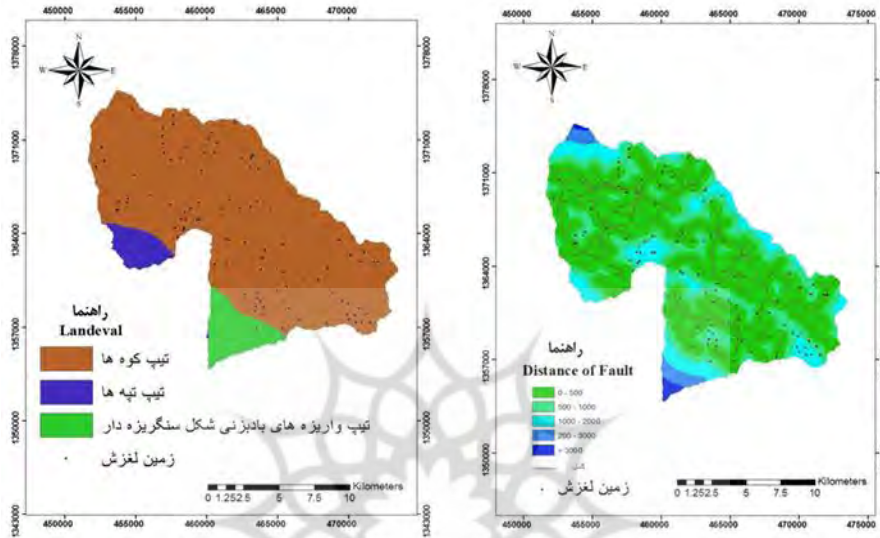
شکل (۳) نقشه‌ی لایه‌های کاربری اراضی (الف) و خاک‌شناسی (ب) حوضه



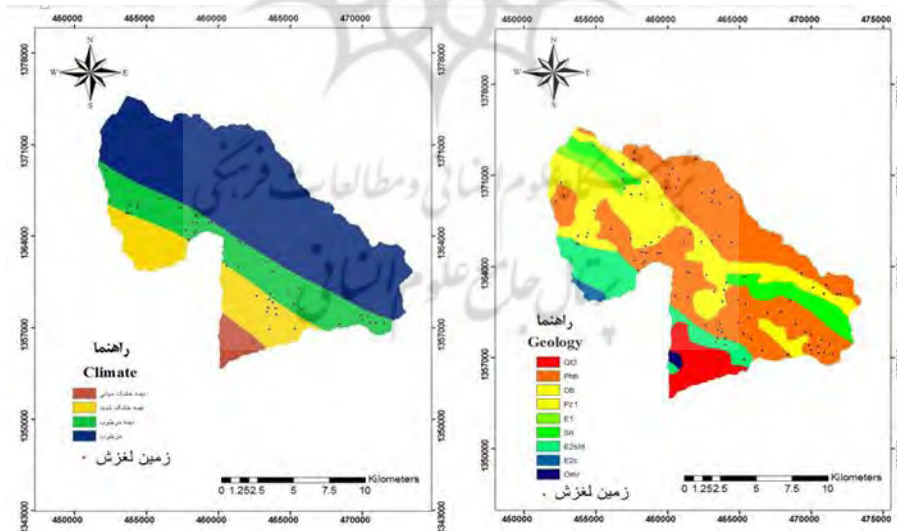
شکل (۴) نقشه‌ی لایه‌های فاصله از آبراهه (الف) و فاصله از جاده (ب) حوضه



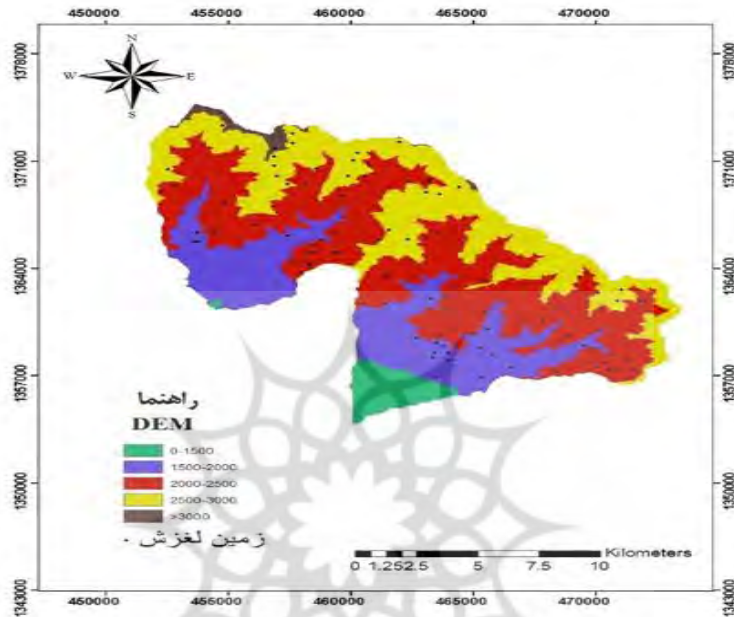
شکل (۵) نقشه‌ی لایه‌های تبخیر (الف) و پوشش گیاهی (ب) حوضه



شکل (۶) نقشه‌ی لایه‌های فاصله از گسل (الف) و تیپ‌های اراضی (ب) حوزه



شکل (۷) نقشه‌ی لایه‌های زمین‌شناسی (الف) و اقلیم (ب) حوزه



شکل (۸) نقشه‌ی لایه‌ی طبقات ارتفاعی حوضه

بر پایه زمین‌لغزش‌های مشاهداتی در منطقه و روش‌های آماری دومتغیره مورد استفاده، نتایج محاسبه‌ی وزن طبقات هر لایه در جدول (۱) ارائه شده است. پس از محاسبه‌ی وزن لایه‌های مختلف و نرخ مربوط به هر کلاس و جمع نهایی لایه‌های رستری با وزن به دست آمده، نقشه‌ی نهایی خطر زمین‌لغزش با دو روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح و با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی<sup>۱</sup> در پنج کلاس خطر وقوع دسته‌بندی شد (بشیری و همکاران، ۱۳۹۷: ۸). شکل (۹) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع این پدیده را با روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح نشان می‌دهد.

1- Natural Breaks

جدول (۱) مقادیر وزنی طبقات لایه‌ها با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره

متغیر	کلاس	تراکم لغزش‌ها	وزن طبقه (ارزش اطلاعات)	وزن طبقه (تراکم سطح)
جهت شیب	هموار	۰/۰۰۵۲	۰/۳۲	۱/۰۷
	شمال	۰/۰۰۳۹	۰/۲۴	۰/۷۷
	شمال شرقی	۰/۰۰۲۹	-۰/۰۱	-۰/۰۳
	شرق	۰/۰۰۰۷	-۱/۰۴	-۱/۸۳
	جنوب شرقی	۰/۰۰۲۱	-۰/۳۴	-۰/۸۳
	جنوب	۰/۰۰۲۶	-۰/۰۷	-۰/۲۳
	جنوب غربی	۰/۰۰۱۵	-۰/۷۰	-۱/۴۳
	غرب	۰/۰۰۶۲	۰/۷۸	۳/۳۷
	شمال غربی	۰/۰۰۲۸	۰/۳۲	۱/۰۷
شیب	۰-۵	۰	۰	-۲/۸۳
	۵-۱۵	۰/۰۰۰۷	-۱/۳۹	-۲/۱۳
	۱۵-۳۰	۰/۰۰۲۹	۰/۰۲	۰/۰۷
	۳۰<	۰/۰۰۳۱	۰/۰۹	۰/۲۷
تیپ اراضی	کوه‌ها	۰/۰۰۳۱	۰/۲۷	۰/۰۹
	تپه‌ها واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار	۰/۰۰۰۶	-۲/۲۳	-۱/۵۵
آب و هوا	نیمه‌خشک میانی	۰	۰	-۲/۸۳
	نیمه‌خشک شدید	۰/۰۰۲۸	-۰/۰۱	-۰/۰۳
	نیمه مرطوب	۰/۰۰۵۲	۰/۶۰	۲/۳۷
	مرطوب	۰/۰۰۲۲	-۰/۲۵	-۰/۶۳
تبخیر	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۰/۰۰۱۱	-۰/۹۴	-۱/۷۳
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۰/۰۰۳۱	-۰/۰۹	۰/۲۷
خاک‌شناسی	اریدی سول	۰	۰	-۲/۸۳
	اینسپتی سول	۰/۰۰۲۹	۰/۰۲	۰/۰۷
	انتی سول	۰/۰۰۳۰	۰/۰۶	۰/۱۷

ادامه جدول (۱) مقادیر وزنی طبقات لایه‌ها با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره

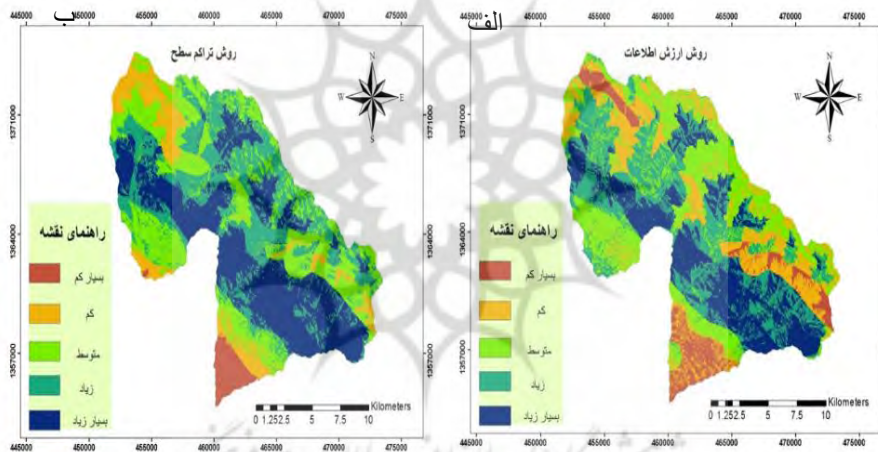
متغیر	کلاس	تراکم لغزش‌ها	وزن طبقه (ارزش اطلاعات)	وزن طبقه (تراکم سطح)
پوشش گیاهی	متراکم	۰/۰۰۳۱	۰/۰۹	۰/۲۷
	متوسط	۰/۰۰۲۸	-۰/۰۱	-۰/۰۳
	ضعیف	۰/۰۰۱۵	-۰/۶۳	-۱/۳۳
کاربری اراضی	زراعت آبی	.	.	-۲/۸۳
	اراضی باغی	۰/۰۰۵۰	۰/۵۶	۲/۱۷
	مرتع با پوشش متوسط	۰/۰۰۱۲	-۰/۸۵	-۱/۶۳
	بیشه‌زار و بوته‌زار	۰/۰۰۳۳	۰/۱۵	۰/۴۷
	مرتع با پوشش فقیر	.	.	-۲/۸۳
	محدوده شهری	.	.	-۲/۸۳
فاصله از جاده	۰-۵۰۰	۰/۰۰۳۵	۰/۲۱	۰/۶۷
	۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۰۰۲۶	۰/۰۸	-۰/۲۳
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰/۰۰۲۲	-۰/۲۵	-۰/۶۳
	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۰/۰۰۱۵	-۰/۶۳	-۱/۳۳
	۳۰۰۰<	.	.	-۲/۸۳
فاصله از گسل	۰-۵۰۰	۰/۰۰۲۲	-۰/۲۵	-۰/۶۳
	۵۰۰-۱۰۰۰	۰/۰۰۴۲	۰/۳۹	۱/۳۷
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰/۰۰۴۱	۰/۳۷	۱/۲۷
	۲۰۰۰-۳۰۰۰	.	.	-۲/۸۳
	۳۰۰۰<	.	.	-۲/۸۳
فاصله از آبراهه	۰-۱۰۰	۰/۰۰۱۱	-۰/۹۴	-۱/۷۳
	۱۰۰-۳۰۰	۰/۰۰۳۴	۰/۱۸	۰/۵۷
	۳۰۰-۵۰۰	۰/۰۰۱۷	-۰/۵۰	-۱/۱۳
	۵۰۰-۷۰۰	۰/۰۰۴۵	۰/۴۶	۱/۶۷
	۷۰۰<	۰/۰۰۲۸	-۰/۰۱	-۰/۰۳
ارتفاع	۰-۱۵۰۰	.	.	-۲/۸۳
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۰/۰۰۳۳	۰/۱۵	۰/۴۷

ادامه جدول (۱) مقادیر وزنی طبقات لایه‌ها با استفاده از روش‌های آماری دومتغیره

متغیر	کلاس	تراکم لغزش‌ها	وزن طبقه (ارزش اطلاعات)	وزن طبقه (تراکم سطح)
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۰/۰۰۴۳	۰/۴۱	۱/۴۷
	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۰/۰۰۰۹	-۱/۱۴	-۱/۹۳
	۳۰۰۰<	.	.	-۲/۸۳
	Qt2	۰/۰۰۰۷	-۱/۳۹	-۲/۱۳
	Phh	۰/۰۰۴۲	۰/۳۹	۱/۳۷
	Db	۰/۰۰۲۶	-۰/۰۸	-۰/۲۳
	Pz1	.	.	-۲/۸۳
	E1	.	.	-۲/۸۳
زمین شناسی	Sn	۰/۰۰۰۶	-۱/۵۵	-۲/۲۳
	E2sht	۰/۰۰۱۸	-۰/۴۵	-۱/۰۳
	E2c	.	.	-۲/۸۳
	Omr	.	.	-۲/۸۳

پس از به‌دست آمدن نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی با دو روش ذکر شده، با استفاده از یک سوم لغزش‌های رخ داده در منطقه، نقشه‌ی تهیه شده از لحاظ دقت مورد ارزیابی قرار گرفت. به این ترتیب که با استفاده از روش وزن شواهد و یک سوم لغزش‌های رخ داده در منطقه که در اجرای مدل استفاده نشده بودند، پراکنش فضایی لغزش‌ها در کلاس‌های پنج‌گانه نقشه حساسیت لغزش مورد ارزیابی آماری قرار گرفت که نتایج حاصل در جدول (۲) ارائه شده است. مقایسه‌ی نتایج مرحله ارزیابی پهنه‌بندی خطر وقوع نشان می‌دهد در روش ارزش اطلاعات، بیشترین درصد تراکم لغزش‌ها در کلاس خطر متوسط رخ داده است و سپس کلاس‌های خطر خیلی زیاد و زیاد در مراتب بعدی قرار می‌گیرند. در روش تراکم سطح نیز کلاس خطر متوسط با بیشترین درصد وقوع خطر (۳۳/۳۴)، در مرتبه‌ی اول قرار گرفته است و سپس کلاس خطر خیلی زیاد و زیاد قرار می‌گیرد و همانند روش ارزش اطلاعات در این روش نیز کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد بیشترین

درصد وقوع را به خود اختصاص داده‌اند. به طور کلی طبق دقت روش تراکم سطح بالاتر است؛ زیرا درصد بیشتری از لغزش‌های کنار گذاشته شده برای ارزیابی، در کلاس‌های با ریسک زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. نتایج ارزیابی الگوریتم‌های بکار رفته نشان داد الگوریتم جنگل تصادفی با سطح زیر منحنی برابر ۹۲٪ بهترین عملکرد را برای پیش‌بینی پهنه‌بندی زمین لغزش نسبت به چهار مدل دیگر نشان داد. جدول (۳) درصد مقادیر مربوط به هر یک از الگوریتم‌های بکار رفته در مدل‌سازی را ارائه کرده است.



شکل (۹) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر با روش ارزش اطلاعات (الف) و تراکم سطح (ب)

جدول (۲) طبقات حساس به حرکات توده‌ای با استفاده از روش ارزش اطلاعات و تراکم سطح

تراکم سطح		ارزش اطلاعات		طبقات پهنه‌بندی
درصد تراکم لغزش	تعداد لغزش	درصد تراکم لغزش	تعداد لغزش	
۰	۰	۹/۱۰	۳	خطر خیلی کم
۱۵/۱۵	۵	۱۲/۱۲	۴	خطر کم
۳۴/۳۴	۱۱	۳۳/۳۳	۱۱	خطر متوسط
۲۷/۲۷	۹	۱۵/۱۵	۵	خطر زیاد
۲۴/۲۴	۸	۳۰/۳۰	۱۰	خطر خیلی زیاد



جدول (۳) مقادیر سطح زیر منحنی ROC در پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش‌ها

الگوریتم	درخت تصمیم	جنگل تصادفی	شبکه‌ی عصبی	تجمعی بوست	ماشین بردار پشتیبان
سطح زیرمنحنی	٪۸۴	٪۹۲	٪۵۰	٪۸۹	٪۹۱

### نتیجه‌گیری

باتوجه به خروجی‌های حاصل از پژوهش، ارزیابی الگوریتم‌های درخت تصمیم، جنگل تصادفی، الگوریتم تجمعی بوستینگ، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان با استفاده از منحنی ROC نشان داد که نتایج مدل‌سازی با الگوریتم درخت تصمیم از میان متغیرهای مورد بررسی، به‌ترتیب چهار عامل زمین‌شناسی، آب‌وهوا، جهت شیب و فاصله از جاده را با بیشترین تأثیر در وقوع حرکات توده‌ای حوضه مطالعاتی نشان داده است. اما در مطالعه‌ی (موتاسم و همکاران، ۲۰۱۶: ۹) با استفاده از درخت تصمیم پنج متغیر شیب، فاصله از شبکه‌ی زهکشی، جهت شیب، انحنای مقطع و ارتفاع بخش سطحی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌های منطقه پنانگ ایسلند معرفی شدند. در مطالعه (هونگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۳)، مهم‌ترین متغیرها در وقوع زمین‌لغزش با شاخص جینی به‌ترتیب فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، شیب و طول دامنه و در شاخص صحت متغیرهای فاصله از آبراهه، شیب، فاصله از جاده و طول دامنه معرفی شده‌اند. در مدل رده‌بندی درختی بوست نیز مهم‌ترین عوامل به‌ترتیب آب‌وهوا، طبقات ارتفاعی و تیپ اراضی معرفی شدند. پژوهش نفسلیوگلو و همکاران (۲۰۰۸) در کشور ترکیه فاکتورهای درجه شیب، ارتفاع از سطح دریا و فاصله از جاده را مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع حرکت‌های توده‌ای و مطالعه متکان و همکاران (۱۳۸۸) فاکتور کاربری اراضی را به‌تنهایی به‌عنوان مهم‌ترین عامل گزارش نمودند. هم‌چنین شیرانی و همکاران (۱۳۹۲) و طلائی و شریعت‌جعفری (۱۳۸۶) فاکتور لیتولوژی را به‌عنوان مؤثرترین عامل در وقوع لغزش‌های منطقه و مطالعه‌ی عبدالخانی و جمالی (۱۳۸۹) فاکتورهای شیب،

1- Hong

لیتولوژی و کاربری اراضی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی منشاد یزد معرفی نمودند. مقایسه نتایج مرحله ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع با یک سوم نقاط کنار گذاشته شده نشان می‌دهد در روش ارزش اطلاعات، بیشترین درصد تراکم لغزش‌ها در کلاس خطر متوسط رخ داده است و سپس کلاس‌های خطر خیلی زیاد و زیاد در مراتب بعدی قرار می‌گیرند. در روش تراکم سطح نیز کلاس خطر متوسط با بیشترین درصد وقوع خطر در رتبه‌ی اول قرار گرفته است و سپس کلاس خطر خیلی‌زیاد و زیاد قرار می‌گیرد. همانند روش ارزش اطلاعات در این روش نیز کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد بیشترین درصد وقوع را به خود اختصاص داده‌اند. در نتیجه دقت روش تراکم سطح بالاتر است؛ زیرا درصد بیشتری از لغزش‌های کنار گذاشته شده برای ارزیابی، در کلاس‌های با ریسک زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. بر پایه وزن به‌دست آمده برای متغیرهای مؤثر در زمین‌لغزش، در هر دو روش آماری تراکم سطح و ارزش اطلاعات و مقایسه‌ی نتایج آن‌ها، هفت متغیر زمین‌شناسی، آب‌وهوا، جهت شیب، فاصله از جاده، ارتفاع، خاک‌شناسی و تیپ اراضی از عوامل بسیار مهم در ناپایداری‌های دامنه‌ای هستند.

نتایج پژوهش نشان داد الگوریتم‌های داده‌کاوی دقت بالایی را در طبقه‌بندی فاکتورهای مؤثر در وقوع لغزش نشان دادند که با نتایج یوسف و همکاران (۲۰۱۶) در عربستان، هونگ و همکاران (۲۰۱۶)، هایوان و همکاران در چین (۲۰۱۵)، موتاسم و همکاران (۲۰۱۶) در ایسلند مشابهت و همخوانی دارد. بنابراین استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی با توجه به محاسبات دقیق و عدم نیاز به صرفه هزینه و وقت زیاد و ابزارهای پیشرفته توصیه می‌گردد. به طور کلی روش‌های داده‌کاوی با دقت مناسب به عنوان جایگزینی مناسب در کاربرد سایر روش‌های آماری معرفی می‌گردد و پیشنهاد می‌شود این روش در حوضه‌های وسیع‌تر و با الگوریتم‌های طبقه‌بندی بیشتر و جدیدتری مورد بررسی قرار گیرد.

## References

- Abdolkhani, A. and Jamali, A.A., (2010), **Application of GIS and Analytical Hierarchy Process in Landslide Hazard Zonation and Comparing the Preference of Effective Factors in Landslide Formation**, The 3rd Congress in Geomatics, 10-11 May, Tehran. P.9.
- Abedi-Qeshlaghi, H., Valizadeh-Kamran, kh. and Hashemi-Nasab, S.H., (2016), **Landslide Hazard Zonation Using Fuzzy Logic (Case Study: Azarshahrchay Basin)**, The 1st International Conference of natural hazards and environmental Crises of Iran, strategies and challenges, 22-23 May, Ardabil, Iran. P.9.
- Bashiri, M., Kavousi-Davoudi, S.M. and Afzali, A., (2018), **The Study and Zonation of the Effect of Geologic and Geomorphic Characteristics on the Pattern of Sliding Zones using Fractal Geometry (Case Study: Tooye-Darvar watershed)**, Journal of Hydrogeomorphology, Vol. 4, No. 4, PP.157-178.
- Colkesen, I., Kutlug, S. E. and kavzoglu., T., (2016), **Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression**, Journal of African Earth Sciences, Vol. 118, PP.53-64.
- Fawcett, T., (2006), **An introduction to ROC analysis**, Pattern Recognition Letters, Vol. 27, PP.861-874.
- Haoyuan, H., Biswajeet, A. B., Pradhan, C., Chong, X., Dieu, T. B., (2015), **Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating decision tree and support vector machines**, Catena, Vol. 133, PP.266-281.
- Hasanvand, Sh. and Souri, S., (2016), **Landslide Hazard Zonation Using the Area Density Model (Case study: Kesmat basin)**, The 2nd National Congress on Passive Defense in Agriculture, Natural Resources and Environment Sectors with a Sustainable Development Approach, 20 November, Tehran, P.7.
- Hong, H., Pourghasemi, H.R. and Pourtaghi, Z.S., (2016), **Landslide susceptibility assessment in Lianhua County (China): A comparison**

**between a random forest data mining technique and bivariate and multivariate statistical models**, Geomorphology, Vol. 259, PP.105-118.

- Matkan, A.A., Samia, J., Pourali, H. and Safaee, M., (2009), **Fuzzy Logic Models and Remote Sensing for Landslide Hazard Zonation in Lajim Watershed**, Journal of Geotechnical Geology, Vol. 5, No. 4, PP.318-325.
- Mutasem, S., Alkhasawneh, U., Kalthum, N., Lea, T., Ashidi, N., Mat, I. And Subhi, M., (2014), **Modeling and testing landslide hazard using Decision Tree, publishing corporation**, Journal of Applied Mathematics, Article ID 929768, PP.9.
- Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu. C. and Sonmez., H. (2008), **An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for preparation of landslide susceptibility maps**, Engineering Geology, Vol. 97, PP.171-191.
- Poudyal, C.P., (2013), **Landslide susceptibility analysis using decision tree method**, Phidim, Eastern Nepal. Bulletin of the Department of Geology, Vol. 15, PP.69-76.
- Rahimpour, T., Roostaei, Sh. and Nakhostinrouhi, M., (2017), **Landslide Hazard Zonation Using Analytical Hierarchy Process and GIS (A Case Study of Sardool Chay Basin, Ardabil Province)**, Journal of Hydrogeomorphology, Vol. 4, No. 13, PP.1-20.
- Roostaei, Sh., Mokhtari, D. and khodayi-Qeshlaghi, F., (2015), **Evaluation of the Accuracy of Logistic Regression and Artificial Neural Network Methods in Slope Instability Hazard Zonation of Mountainous Roads (Case study: Darreh-Diz area)**, 1st International Conference on Earth, Space, Clean Energy, November 14, Ardebil. P.23
- Shadfar, S., Yamani, M., Ghoddusi, J. and Ghayoumian, J., (2007), **Landslide hazard zonation using analytical hierarchy method (case study: Chalkrood catchment, Tonekabon)**, Pajouhesh & Sazandegi, Vol. 75, PP. 118-126.
- Shirani, C. and Arabameri, A., (2015), **Landslide Hazard Zonation Using Logistic Regression Method (Case Study: Dez-e-Oulia Basin)**,

Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Vol. 19, No. 72, PP.321-334

- Talaei, R. and Shariat-Jahrifi, M., (2007), **Determination of the Role of Effective Factors in landslide Occurrence Using Discriminant Analysis Method in Hashtjin Region**, The 5th Congress of Iranian engineering Geology and environment, September 21, Tehran. P.10.
- Youssef, A.M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S. and Al-Katheeri, M.M., (2016), **Landslide susceptibility mapping using random forest, boosted regression tree, classification and regression tree, and general linear models and comparison of their performance at Wadi Tayyah Basin**, Asir Region, Saudi Arabia, Landslides, Vol. 13, No. 5, PP.839-856.

