

به کارگیری الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز درکه)

دکتر مجتبی یمانی^۱ - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
دکتر علی احمدآبادی - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
غلامرضا زارع - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱۰/۲۴

چکیده

الگوریتم SVM یا ماشین‌بردار پشتیبان، به عنوان یکی از روش‌های غیرپارامتریک بر پایه تئوری یادگیری آماری بنا شده است. بر اساس این تئوری، می‌توان کران نرخ خطای ماشین یادگیری را برای داده‌های طبقه‌بندی نشده، به عنوان نرخ خطای تعمیم یافته، در نظر گرفت. در این تحقیق، با استفاده از توابع حلقوی، چندجمله‌ای، شعاعی و خطی در الگوریتم SVM و معیارهای مؤثر در شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش شامل: فاصله (از گسل، شبکه زهکشی)، لیتولوژی، شیب (مقدار، زاویه) و سطح ارتفاعی به ارزیابی قابلیت وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز درکه در شمال شهر تهران پرداخته شده است. بدین منظور لایه‌های مکانی معیارهای شش‌گانه مذکور به پایگاه داده مکانی وارد و سپس استانداردسازی بر روی معیارها انجام شد و در نهایت توابع ماشین بردار پشتیبان اجرا گردید تا پهنه‌های حساس به زمین‌لغزش مشخص گردد. نتایج تحقیق نشان داد بر اساس تابع خطی بیشتر پهنه حوضه آبریز درکه حساسیت متوسطی به رخداد زمین‌لغزش دارد. نقشه خروجی بر طبق توابع چندجمله‌ای و شعاعی نیز به ترتیب بیانگر حساسیت‌پذیری متوسط به بالای حوضه، حساسیت بیشتر قسمت غربی حوضه به زمین‌لغزش است. بر اساس خروجی حاصل از تابع حلقوی اکثر پهنه این حوضه حساسیت متوسط تا بالایی را نشان می‌دهد. حداکثر و حداقل مساحت احتمالی حساس به زمین‌لغزش با ۳۰ و ۲۰ کیلومتر مربع به ترتیب متعلق به توابع حلقوی و شعاعی است. در بین توابع اجرا شده، تابع حلقوی به خاطر انطباق بیشتر با واقعیت، بهترین عملکرد و تابع خطی از نظر عملکرد، پایین‌ترین دقت را نشان داد.

کلید واژه‌ها: زمین‌لغزش، هوش مصنوعی، الگوریتم SVM، مدیریت محیطی، حوضه درکه.

مقدمه

رخدادهای طبیعی فرآیندهای پیچیده‌ای هستند که بر تمامی بخش‌های کره زمین تأثیر می‌گذارند. در این بین زمین‌لغزش به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی، همواره در سراسر جهان در حال رخ دادن بوده و از اهمیت زیادی برخوردار است (نیازی و همکاران، ۱۳۸۹: ۹) و یکی از فرایندهای ژئومورفیکی اصلی تأثیرگذار بر چشم‌انداز تکاملی در مناطق کوهستانی به‌شمار می‌رود (روئرینگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۹: ۶۴۵) و باعث حوادث فاجعه‌آوری شده است (هاتانجی^۲ و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۴۸). شناسایی و طبقه‌بندی نواحی زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن، گامی مهم در ارزیابی مخاطرات طبیعی محسوب می‌شود (ساکر^۳ و همکاران، ۱۹۹۵: ۳۰۱). پهنه‌بندی زمین‌لغزش شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس درجه واقعی یا قابلیت مخاطره‌ای ناشی از بروز زمین‌لغزش بر روی شیب دامنه‌هاست (شریعت‌جعفری، ۱۳۷۵، ۱۴۸). توپوگرافی کوهستانی ایران، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، تنوع اقلیمی و زمین‌شناسی، افزایش جمعیت و فشار بر منابع طبیعی و تغییر کاربری در دهه‌های اخیر، شرایط طبیعی برای بروز طیف گسترده‌ای از زمین‌لغزش‌ها را در ایران فراهم کرده است (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۸۸، ۵۱). رویکردهای مختلفی برای مطالعه زمین‌لغزش‌ها توسعه یافته‌اند که می‌توان آن‌ها را به چهار دسته: تجزیه و تحلیل از موجودی لغزش^۴، روش اکتشافی یا شاخص^۵، رویکرد آماری^۶ و روش ژئوتکنیک^۷ تقسیم کرد (گازتی^۸ و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۸۱). معمولاً رویکردهای آماری برای پهنه‌بندی و نقشه‌کشی زمین‌لغزش‌ها در نواحی بزرگ و پیچیده مورد توجه قرار می‌گیرند (گازتی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۶۶)؛ برای مثال می‌توان به رویکرد تحلیلی مشخص‌کننده^۹ (کارارا^{۱۰} و همکاران، ۱۹۹۱: ۴۲۷)، تحلیل رگرسیون چند متغیره^{۱۱} متغیره^{۱۱} (جاد^{۱۲} و همکاران، ۱۹۹۳: ۹۱)؛ آتکینسون^{۱۳} و همکاران، ۱۹۹۸: ۳۷۳؛ اهلماچر^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۳: ۳۳۱؛ کوماک^{۱۵}، ۲۰۰۵: ۱۷) اشاره نمود. همچنین روش‌های پیوندی^{۱۶} نیز با ترکیب دو روش آماری و شبکه عصبی

1 Roering

2 Hattanji

3 Saker

4 Analysis of landslide inventories

5 The heuristic or index

6 statistical approach

7 geotechnical

8 Guzzetti

9 Discriminate Analysis

10 Carrara

11 Multivariate Regression Analysis

12 Jade

13 Atkinson

14 Ohlmacher

15 Komac

16 Hybrid

مصنوعی^۱ توسعه یافت (یااو^۲ و همکاران، ۲۰۰۸: ۵۷۲). روش‌های پیوندی شامل روش شبکه عصبی مصنوعی - منطق فازی^۳ (کانونگو^۴ و همکاران، ۲۰۰۶: ۱)، تحلیل بیز^۵ - شبکه عصبی مصنوعی (لی^۶ و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۸۹)، تحلیل درخت تصمیم‌گیری^۷ - بیزی (آیالیو^۸ و همکاران، ۲۰۰۴: ۷۳) هستند. اما روش مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی نمی‌تواند خروجی عینی و ثابتی را ارائه دهد، زیرا نتایج آن به اپراتور وابسته است (ارمینی^۹ و همکاران، ۲۰۰۵: ۳۲۷). برای رفع این مشکل روش رگرسیون لجستیک توسعه یافت (یااو و همکاران، ۲۰۰۸: ۵۷۲). تحقیقات زیادی با استفاده از این روش پیرامون زمین‌لغزش در سال‌های اخیر صورت گرفته است (دای^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۳: ۹۱۱؛ سوزن^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۰۳؛ یسیلناکر^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۵۱؛ زو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۰۰۷؛ بای^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۳؛ لین^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۴۲۳). در ایران نیز تحقیقاتی پیرامون زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌ها صورت گرفته است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به کاربرد مدل ترکیب خطی وزین در پهنه بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در منطقه سرخون چهارمحال و بختیاری (کرم، ۱۳۸۳: ۱۳۱)، منطق فازی (مرادی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۲۹)، شبکه عصبی مصنوعی (راکعی و همکاران، ۱۳۸۶: ۵۷)، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی (محمدی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۷)، تحلیل سلسله مراتبی (قنواتی، ۱۳۹۰: ۵۱)، رگرسیون لجستیک (موسوی خطیر و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۹؛ خالدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۵)، معادله همبستگی و تحلیل سلسله مراتبی (مصفاپی و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۰)، رگرسیون چند متغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی (کریمی سنگ چینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۰)، فازی تاپسیس و سیستم اطلاعات جغرافیایی (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۳) اشاره کرد. از جمله روش‌های آماری که در چند سال اخیر مورد توجه واقع شده‌اند، الگوریتم SVM^{۱۶} است. این الگوریتم بر اساس نظریه یادگیری آماری و شامل یک مرحله آموزشی با ورودی همراه و ارزش‌های اهداف خروجی است. الگوریتم آموزشی برای ارزیابی و آزمون مجموعه‌ای از داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (یااو و

1 Artificial Neural Networks

2 Yao

3 Fuzzy Logic

4 Kanungo

5 Bays

6 Lee

7 Decision Tree

8 Ayalew

9 Ermini

10 Dai

11 Suzen

12 Yesilnacer

13 Zhu

14 Bai

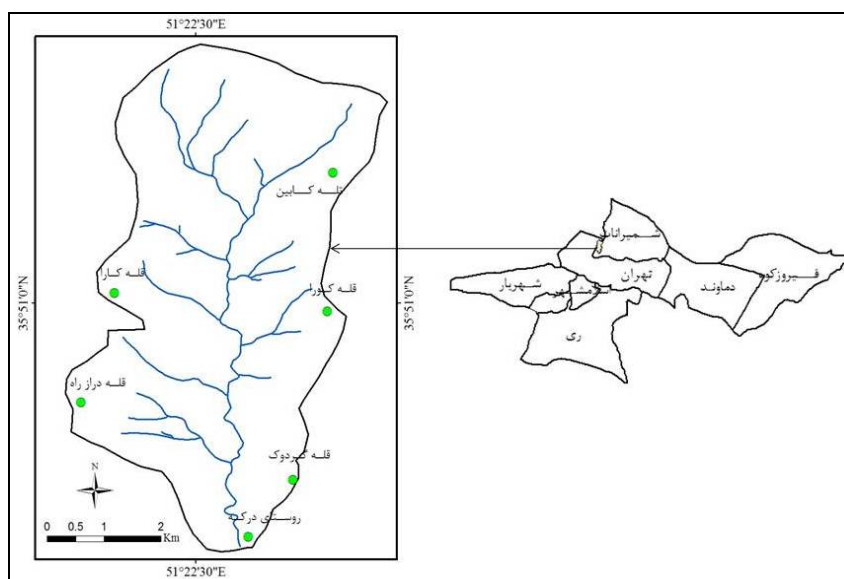
15 Lin

16 Support Vector Machine

همکاران، ۲۰۰۸: ۵۲۸). این روش در چند سال اخیر مورد استفاده برخی از محققان قرار گرفته شده است (مرجانوویچ^۱ و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۵؛ بالابیو^۲ و همکاران، ۲۰۱۲: ۴۷؛ ژو^۳ و همکاران، ۲۰۱۲: ۷۰). از جمله جمله فرایندهای دامنه‌ای حاکم بر البرز جنوبی و به ویژه حوضه آبریز درکه، می‌توان به زمین‌لغزش اشاره کرد. به دلیل نزدیکی این حوضه به شهر بزرگ تهران، جنبه گردشگری و همچنین وجود استقرارگاه‌ها و سکونتگاه‌های انسانی در این حوضه شناسایی نقاطی که مستعد زمین‌لغزش هستند از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این پژوهش، مشخص کردن مناطق حساس به زمین‌لغزش در حوضه درکه با استفاده از الگوریتم SVM، بازدید میدانی و انطباق یافته‌ها با حوضه است. به نظر می‌رسد که خروجی حاصل از تحقیق می‌تواند در مدیریت محیطی موثر واقع شود.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز درکه از نظر موقعیت جغرافیایی در شمال شهر تهران و دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز و بین ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه

- 1 Marjanovic
- 2 Ballabio
- 3 Xu

این حوضه معادل ۲۴/۲۲ کیلومتر مربع وسعت دارد. در شرق حوضه درکه، دره دربند و در شمال آن قله توچال و غرب آن دره فرحزاد واقع شده است. رود دایمی درکه این حوضه را زهکشی می‌کند. از نظر زمین‌شناسی ساختمانی جزیری از البرز محسوب می‌شود. این حوضه در زون البرز مرکزی و بخش پنجم ساختاری البرز، یعنی زون جنوبی ترشیاری که دارای ولکانیک‌های بسیار ضخیم ائوسن می‌باشد، واقع گردیده است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جنس مناطق شمالی عمدتاً مربوط به سازند کرج و دوران سنوزوئیک آغازین می‌باشد، که در دو بخش شیل زیرین و بخش توف میانی است. مهم‌ترین عناصر ساختاری منطقه به ترتیب از گسل‌ها، درزها و چین‌ها هستند که پس از جنس سنگ، بیشترین نقش را در شکل‌دهی زمین و فرسایش سنگ‌ها به عهده داشته‌اند؛ در حالی که منطقه شرق دره فرحزاد، به ویژه در قسمت شمالی، جنس زمین عمدتاً از کریستالیتیک توف و خاکستر توف سبز رنگ و به طور محلی لایه‌های سنگ آهک تشکیل شده است. قسمت‌های جنوبی دره فرحزاد و درکه به وسیله تراست بزرگ تهران از قسمت شمالی بر روی نقشه زمین‌شناسی جدا شده، عمدتاً مربوط به کواترنر می‌باشد. از دیدگاه ژئومورفولوژی ساختمانی منطقه مورد مطالعه در ابتدای دوران چهارم زمین‌شناسی حرکات زمین‌ساخت شدیدی که آخرین حرکت مهم در البرز بوده، را متحمل می‌شود. جبهه جنوبی البرز به ویژه نواحی مورد مطالعه به شدت تحت‌تأثیر این حرکات قرار داشته و دارد. با توجه به جهت نیروها بلوک‌های تکتونیکی به صورت تقاطعی در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌های بزرگ به سمت جنوب جابه‌جا شده، ارتفاع یافته و می‌یابد.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از:

الف) داده‌های اسنادی مشتمل بر مطالعات کتابخانه‌ای؛

ب) داده‌های سنجش از دوری مشتمل بر مدل رقومی ارتفاعی با اندازه سلولی ۳۰ متر (ASTER) و ثبت

نقاط زمین‌لغزش از روی تصویر ماهواره‌ای Quick bird؛

ج) داده‌های حاصل از مشاهده میدانی و عکسبرداری از زمین‌لغزش‌های رخ داده.

سپس برای انجام این تحقیق با استفاده از داده‌های فوق و بر اساس الگوریتم SVM نقشه پهنه‌های

حساس به زمین‌لغزش در حوضه آبریز درکه مشخص گردید. باید یادآور شویم الگوریتم SVM، بر پایه

تئوری یادگیری آماری بنا شده است. بر اساس این تئوری 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 طبقه بندی کننده‌ها را نشان می‌دهند. 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. بنابراین، از آنجایی که حاشیه جداسازی به بعد داده‌های ورودی بستگی ندارد، این طبقه‌بندی کننده، کارایی مناسبی دارد. الگوریتم SVM که در دو دهه اخیر استفاده از آن گسترش یافته بر پایه انتقال غیرخطی همگام با یک ابعاد بالای فضایی ویژه است (واپنیک^۱، ۱۹۹۵: ۱). دو ایده اصلی زمینه مدل‌سازی SVM برای مشخص کردن نوع مشکلات آماری وجود داشت. اولین آن یک فرایند مجزای خطی بهینه است که الگوهای داده‌ای مجزا هستند. دومین ایده استفاده از توابع هسته‌ای برای تبدیل الگوهای داده‌ای غیرخطی اصلی به فرمتی است که خطی مجزا در یک فضای ویژه ابعاد بالا می‌باشد (یاو و همکاران، ۲۰۰۸: ۵۷۳). جزئیات توضیحی درباره دو کلاس مدل‌سازی SVM در پژوهش (یاو و همکاران، ۲۰۰۸: ۵۷۲) آمده که به طور خلاصه از این قرار است:

در نظر گرفتن مجموعه‌ای از سلول‌های آموزشی مجزای خطی

$$x_i \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

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

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

که منوط به محدود کردن زیر است:

$$Y_i ((w \cdot x_i) + b) \geq 1$$

که $\|w\|$ قاعده‌ای از فرایند نرمال بوده یک پایه عددی بوده و (\cdot) مشخص کننده عمل تولید عددی

است. با استفاده از چند ضریبی لاگرانژیان^۲ ارزش محاسبه عملکردی می‌تواند تعریف شود به عنوان:

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

که λ_i چند ضریبی لاگرانژیان است. این راه حل می‌تواند از طریق کمینه‌سازی دوتایی معادله ۳

محاسبه شود. ارزش‌گذاری متغیرهای W و B در طی روش‌های استاندارد صورت گرفته است:

1 Vapnik

2 Lagrangian

$$y_i((w \cdot x_i) + b) \geq 1 - \xi_i.$$

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

که معادله ۱ می‌شود:

که $V(0, 1)$ معرفی به حساب شده برای طبقه‌بندی (شولکوف^۱ و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۲۰۷؛ هاستی^۲ و همکاران، ۲۰۰۱: ۲). به علاوه (واپنیک، ۱۹۹۵: ۲) یک عملکرد هسته‌ای به شمارش برای مرز تصمیم غیر خطی 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 نشان می‌دهند عبارتند از:

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

$$K(x_i, x_j) = (\gamma \cdot x_i^T \cdot x_j + r)^d, \gamma > 0 \quad \text{تابع چند جمله‌ای:}$$

$$K(x_i, x_j) = e^{-\gamma(x_i - x_j)^2}, \gamma > 0 \quad \text{تابع پایه شعاعی:}$$

$$\tanh(\gamma \cdot x_i^T \cdot x_j + r) \quad \text{تابع حلقوی:}$$

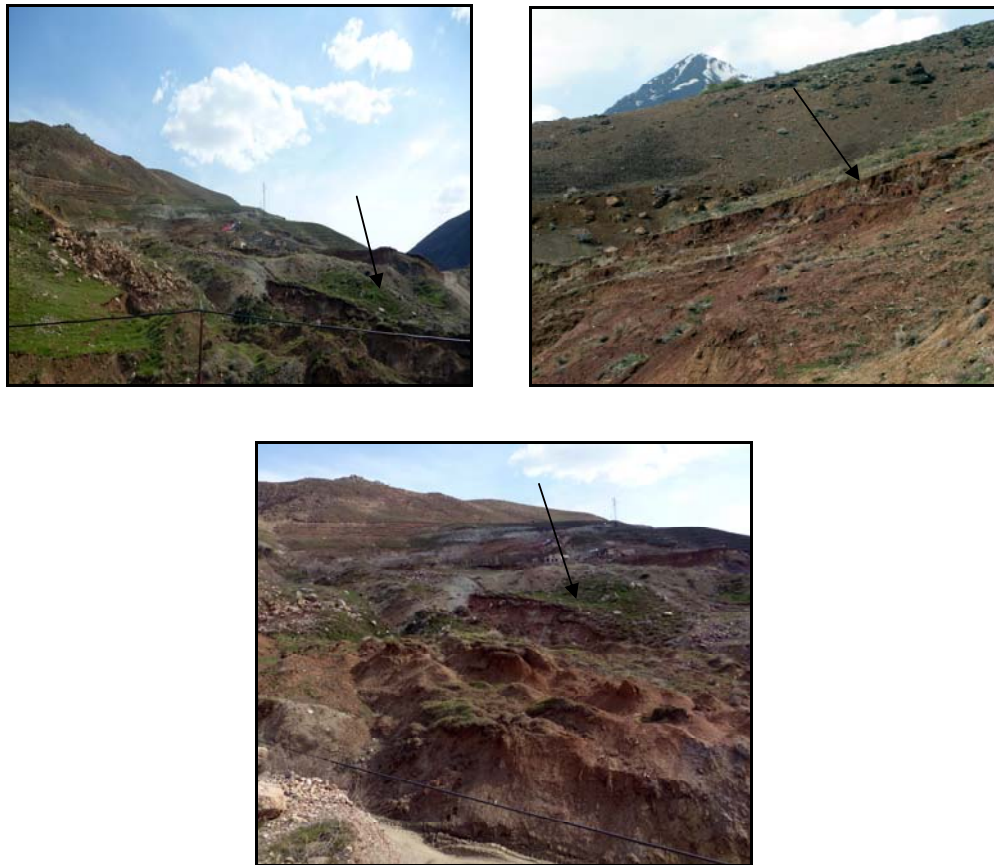
که d, γ, r و پارامترهای توابع هسته‌ای هستند و به صورت دستی وارد می‌شوند. بعضی مواقع توابع هسته‌ای به عنوان پارامتر زیر استفاده می‌شوند:

$$\gamma = 1/2\sigma^2$$

که σ در این یک پارامتر قابل تنظیم بوده که حاکمیت انجام هسته‌ای را دارد. اگر بالا گرفته شوند، رفتار نمایی تقریباً خطی و آنجایی که امکان از دست دادن غیرخطی در طرح‌های بزرگ-ابعاد وجود دارد، درحالی که اگر پایین گرفته شوند، مرز تصمیم برای خطا در داده‌های آموزشی محسوس می‌شود. در مطالعه و تحقیق حاضر +۱ و -۱، به ترتیب زمین لغزش و پایداری شیب مکان را ارائه می‌دهند. با توجه به این الگوریتم ابتدا در نرم‌افزارهای پردازش تصویر (ENVI, Erdas) مدل‌سازی انجام گرفت و خروجی‌ها در نرم‌افزار ArcGIS بهینه و پهنه‌های حساس به زمین لغزش در حوضه درکه به صورت نقشه مشخص شدند.

بحث و نتایج

از جمله مخاطرات ژئومورفولوژیکی که در حوضه درکه رخ می‌دهد، زمین لغزش می‌باشد (اشکال ۲ الف، ب و ج).



اشکال ۲ (الف، ب و ج) - زمین لغزش های رخ داده در حوضه درکه

برای انجام روش SVM در ابتدا نقشه پارامترهای تأثیرگذار بر زمین لغزش که مد نظر این الگوریتم هستند، تهیه گردید.

(الف) فاصله از آبراهه: شبکه زهکشی و تراکم آن نیز نقش مؤثری را در وقوع زمین لغزش ها ایفا می کنند. در محیط نرم افزاری ArcGIS فاصله از آبراهه در ۵ کلاس ترسیم و مشخص گردید (شکل ۳، الف).

(ب) زمین شناسی: عامل زمین شناسی به عنوان یکی از پارامترها (متغیر مستقل) در وقوع زمین لغزش ها به شمار می رود. زیرا زمین شناسی و ساختار متنوع آن اغلب باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ ها و همچنین تنوع جنس خاک می شود (آیالو و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۵). حتی برخی از محققین لیتولوژی را عامل بنیادی در کنترل لندفرم ها می دانند (دای^۱ و همکاران، ۲۰۰۱: ۶۶). با استفاده از نقشه زمین شناسی تهران به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ لیتولوژی محدوده مورد مطالعه در ۱۱ کلاس طبقه بندی (جدول ۱) و در شکل (۳، ب) نشان داده شده است.

جدول ۱ واحدهای زمین‌شناسی و توضیحات آن

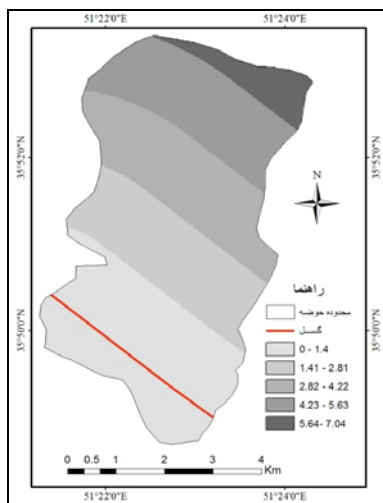
شماره	واحد زمین‌شناسی	توضیحات لیتولوژیکی
۱	E_1^b	گدازه‌های برشی آندزیتی و جریان‌های گدازه
۲	E_1^{da}	جریان‌های گدازه داسیتی - آندزیتی و پیروکلاستیت‌های
۳	E_1^r	توف‌های ریولیتی و جریان‌های گدازه
۴	E_1^r	توف‌های ریولیتی
۵	E_2^r	توف‌های ریولیتی و در مواردی همراه با میان‌لایه‌های شیل
۶	E_2^r	تناوب شیل و سیلتستون توفی
۷	E_2^r	کریستال توف و خاکستر توف سبز، توف برش و به‌طور محلی با میان‌لایه‌های سنگ آهک
۸	E_2^{sh}	تناوب شیل و سیلتستون توفی
۹	E_2^{sh}	تناوب توف سبز و شیل
۱۰	Q^f	مخروط افکنه
۱۱	Q^{sc}	واریزه

ج) ارتفاع: برخی از محققین از ارتفاع به عنوان یک عامل کنترلی در وقوع زمین‌لغزش‌ها استفاده می‌کنند (یلماز^۱، ۲۰۱۰: ۸۲۲). این عامل، جهت آبراهه‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک و میزان شیب دامنه‌ها تأثیر قابل توجهی دارد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸، ۲۹). برای ترسیم نقشه ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاع محدوده مورد مطالعه (۳۰ متر) استفاده گردید و در محیط نرم‌افزاری ArcGIS استخراج شد (شکل ۳، ج).

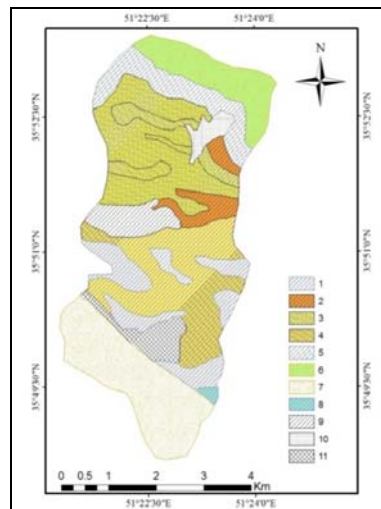
د) گسل: وجود گسل‌ها و خطواره‌ها به عنوان عامل ثانویه و یک متغیر مستقل در وقوع زمین‌لغزش‌ها مورد توجه واقع شده است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸، ۲۹). گسل اصلی از روی نقشه زمین‌شناسی ترسیم گردید و سپس فاصله‌ها از گسل در ۵ کلاس به فاصله ۱/۴ کیلومتر در محیط نرم‌افزاری ArcGIS ترسیم شد (شکل ۳، د).

س) جهت شیب: زاویه شیب نیز از مدل رقومی ارتفاع استخراج گردیده و در ۹ کلاس طبقه‌بندی می‌شود (شکل ۳، س).

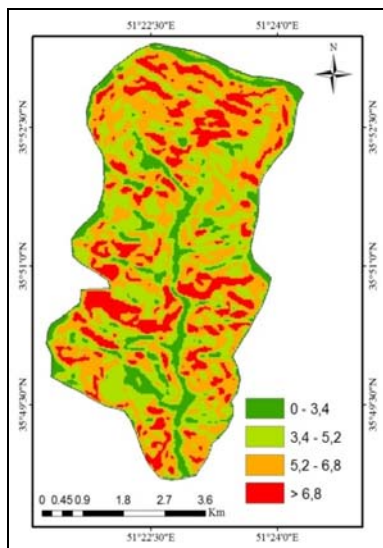
ز) زاویه شیب: زاویه شیب به عنوان یک پارامتر اساسی در ارزیابی پایداری شیب محسوب می‌شود. همچنان‌که زاویه شیب افزایش پیدا می‌کند، سطح ثقلی نیز کاهش یافته، تنش برشی در خاک‌های آبرفتی و نهشته‌ای افزایش می‌یابد. بنابراین دامنه‌های آرام‌تر کمتر در معرض زمین‌لغزش هستند (دای و همکاران، ۲۰۰۱: ۶۷). زاویه شیب هم بر اساس مدل رقومی ارتفاع استخراج گردید (شکل ۳ ز).



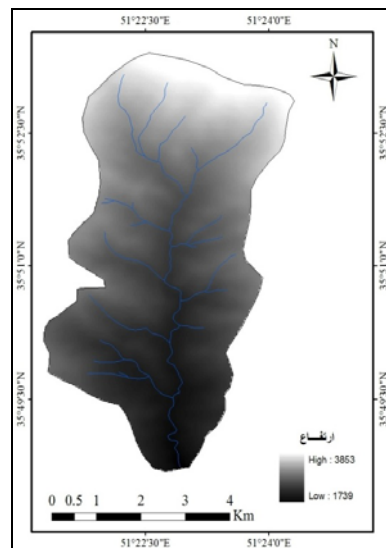
شکل ۳ ب- نقشه فاصله از گسل



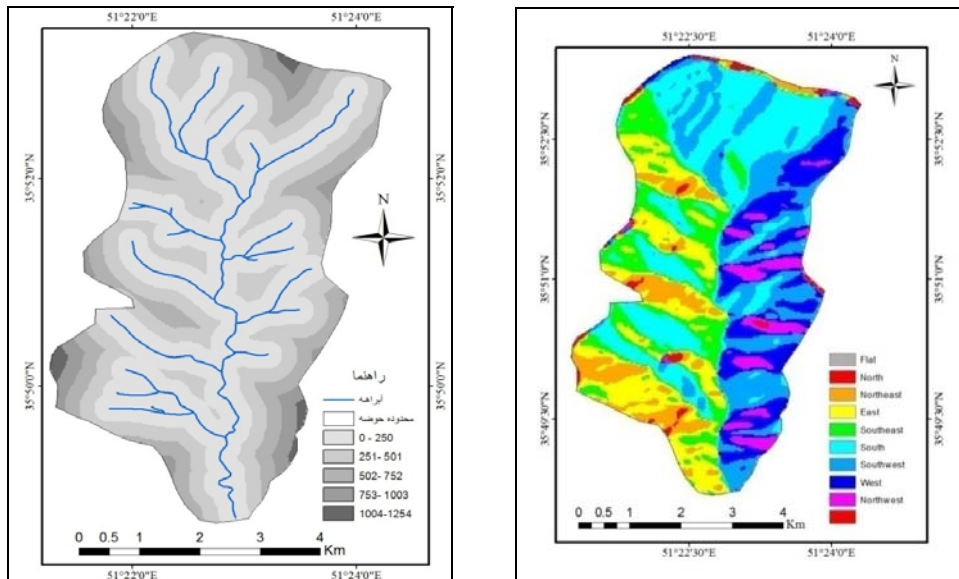
شکل ۳ الف- واحدهای لیتولوژیکی حوضه آبریز درکه



شکل ۳ د- نقشه زاویه شیب حوضه



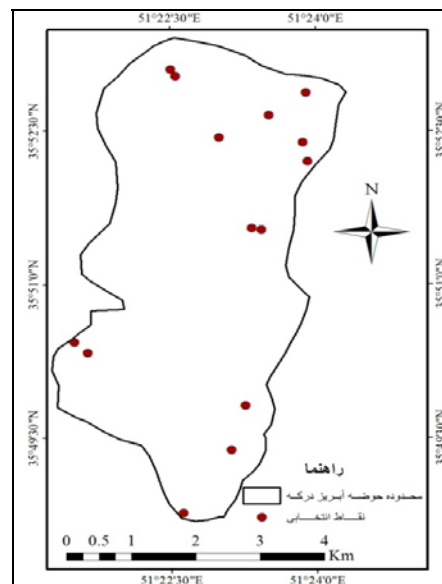
شکل ۳ ج- مدل رقومی ارتفاعی حوضه



شکل ۳ - نقشه جهت شیب حوضه

شکل ۳ ز - نقشه فاصله از آبراه‌ها در حوضه

بعد از تهیه نقشه‌های مورد نیاز باید نقاطی از زمین‌لغزش‌ها تهیه شود و این نقاط بر اساس الگوریتم SVM آموزش داده شوند. این نقاط با استفاده از تصویر ماهواره‌ای Quick bird منطقه مطالعاتی برداشت شده‌اند (شکل ۴).



شکل ۴ نقاط زمین‌لغزش‌های رخ داده جهت آموزش

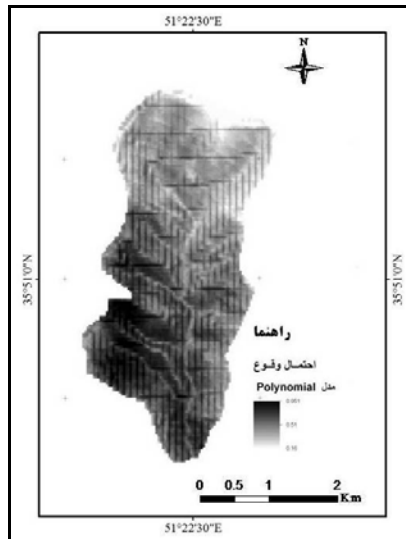
بر اساس این الگوریتم چهار نقشه خروجی از میزان حساسیت حوضه به زمین لغزش استخراج گردید (اشکال ۵، ۶، ۷، ۸). میزان حساسیت بین عدد صفر تا یک هست و هر چه به عدد یک نزدیک تر باشد، حساسیت زیادی به وقوع زمین لغزش داشته و امکان رخداد آن بیشتر است. بر طبق نقشه خروجی تابع خطی بیشتر پهنه حوضه آبریز در که حساسیت متوسطی به رخداد زمین لغزش دارد. طبق این تابع نیمه غربی حوضه حساسیت بیشتری برای زمین لغزش دارد و امکان وقوع این مخاطره در غرب حوضه بسیار زیاد می باشد. همین طور در شمال حوضه نیز این شرایط حاکم بوده و امکان وقوع زمین لغزش در آنجا نیز زیاد است. بر اساس این نقشه مناطق نزدیک به آبراهه و گسل که در غرب حوضه قرار دارند امکان لغزش پذیری زیادی دارند. در نتیجه می توان گفت بر طبق این تابع گسل و آبراهه بیشترین تأثیر را در وقوع مخاطره زمین لغزش دارند. بعد از این دو عامل نیز جنس زمین شناسی (گدازه های برشی آندزیتی و جریان های گدازه) تأثیرگذار خواهد بود (شکل ۵).

نقشه خروجی بر طبق تابع چند جمله ای بیانگر حساسیت پذیری متوسط به بالای حوضه به مخاطره زمین لغزش است. این نقشه نشان می دهد که در غرب و جنوب شرق حوضه احتمال وقوع زمین لغزش بسیار زیاد بوده است؛ در حالی که در شمال حوضه این احتمال تا حد متوسط پایین می آید. همچنین در شرق حوضه نیز حساسیت بالا ملاحظه می گردد. بر اساس این تابع نیز فاصله از آبراهه و گسل در میزان حساسیت حوضه به زمین لغزش نقش قابل ملاحظه ای دارند. همچنین جنس زمین (کریستال توف و خاکستر توف سبز، توف برش و به طور محلی با میان لایه های سنگ آهک، گدازه های برشی آندزیتی و جریان های گدازه، توف های ریولیتی و در مواردی همراه با میان لایه های شیل) نیز تأثیرگذار است (شکل ۶).

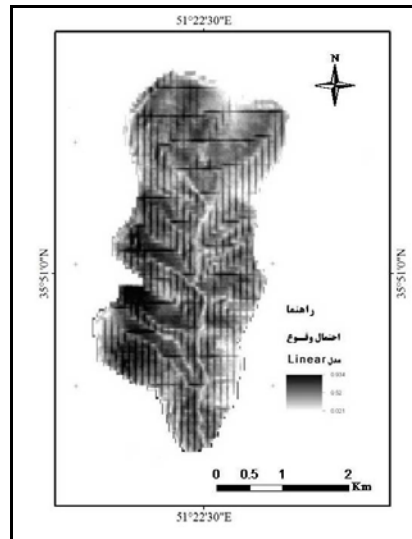
نقشه خروجی حاصل از اجرای تابع شعاعی نیز نشان دهنده حساسیت بیشتر قسمت غربی حوضه به زمین لغزش می باشد. هر چند که در این نقشه قسمت های شرقی حوضه نیز حساسیت متوسط تا بالایی را نشان می دهد. همچنین در قسمت های شمالی و شرقی حوضه نیز پهنه هایی دیده می شود که بیانگر حساسیت زیاد به زمین لغزش است. بر طبق این تابع، فاصله از گسل و آبراهه در وهله اول نقش زیادی در حساسیت پذیری حوضه نسبت به زمین لغزش دارند. همچنین ارتفاع و جنس زمین شناسی (گدازه های برشی آندزیتی و جریان های گدازه، توف های ریولیتی و در مواردی همراه با میان لایه های شیل، تناوب شیل و سیلتستون توفی، کریستال توف و خاکستر توف سبز، توف برش و به طور محلی با میان لایه های سنگ آهک) نیز تأثیر قابل توجهی در ایجاد زمین لغزش دارند (شکل ۷).

بر اساس نقشه خروجی حاصل از تابع حلقوی، قسمت غربی بیشترین حساسیت را دارد. بر طبق این نقشه اکثر پهنه این حوضه حساسیت متوسط تا بالایی را نشان می دهد. در جنوب شرقی حوضه نیز یک پهنه با میزان حساسیت بالا مشاهده می شود. در قسمت شرقی و شمالی حوضه لکه هایی با حساسیت بسیار زیاد وجود دارند. هر چند در نقشه خروجی تابع شعاعی این پهنه ها به صورت نقاطی نیز دیده می شوند، اما در تابع حلقوی این نقاط به عدد یک،

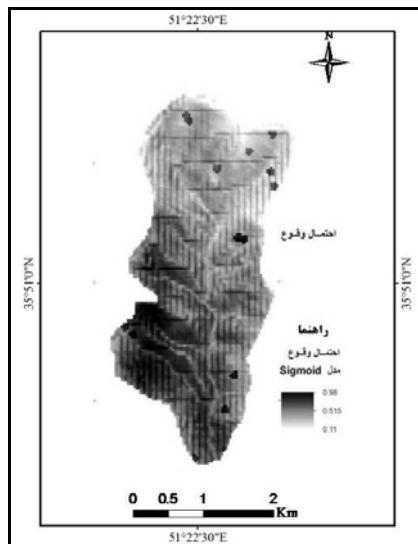
که بیانگر حساسیت خیلی زیاد بوده، نزدیک تر هستند. بر اساس این تابع نیز فاصله از گسل و آبراهه‌ها نقش اساسی در ایجاد حساسیت به زمین لغزش را دارند. عامل زمین‌شناسی و ارتفاع نیز نقش قابل توجهی در میزان حساسیت به زمین لغزش دارند. در جنوب حوضه که پایاب آبراهه محسوب می‌گردد، نیز یک پهنه کوچک دیده می‌شود که بیانگر حساسیت بالای این قسمت نسبت به رخداد مخاطره زمین لغزش می‌باشد (شکل ۸).



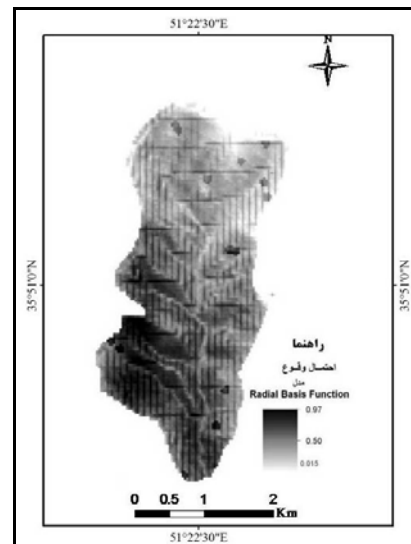
شکل ۶ نقشه حساسیت بر اساس تابع چندجمله‌ای



شکل ۵ نقشه حساسیت بر اساس تابع خطی

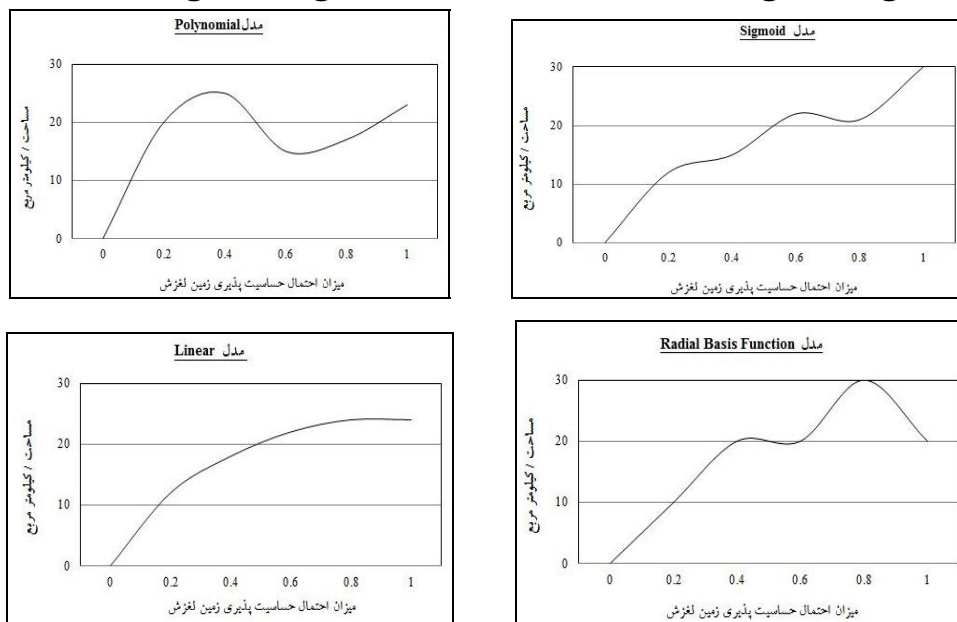


شکل ۸ نقشه حساسیت بر اساس تابع حلقوی



شکل ۷ نقشه حساسیت بر اساس تابع شعاعی

برای مقایسه، یک میانگینی از مساحت حوضه آبریز که بین صفر تا ۳۰ کیلومتر مربع است، انتخاب گردید. دلیل این انتخاب، وجود اکثر نقاط آموزش دیده در این محدوده است. در تابع حلقوی با افزایش مساحت حوضه، میزان احتمال حساسیت به زمین لغزش در حوضه افزایش می‌یابد. البته این میزان افزایش به صورت تدریجی رخ می‌دهد و در مساحت ۳۰ کیلومتر مربع به حداکثر احتمال می‌رسد، در حالی که این احتمال در مساحت ۲۰ تا ۲۲ کیلومتر مربع نسبتاً ثابتی را طی می‌کند (شکل ۹ بالا سمت راست). در تابع چندجمله‌ای حداکثر افزایش را در ۲۵ کیلومتر مربع مشاهده می‌شود. از صفر کیلومتر مربع تا ۲۵ کیلومتر مربع احتمال حساسیت به زمین لغزش به طور یکنواختی افزایش یافته در حالی که این افزایش بعد از یک تغییر تدریجی تا میزان ۱۵ کیلومتر مربع کاهش می‌یابد و سپس بعد از یک افزایش به میزان ۲۲ کیلومتر مربع می‌رسد (شکل ۹ بالا سمت چپ). در تابع شعاعی میزان احتمال حساسیت از ۰ تا ۲۰ کیلومتر مربع افزایش نسبتاً یکنواختی را نشان می‌دهد، سپس در حدود ۲۰ کیلومتر یک مسیر ثابتی را نشان می‌دهد. بعد از آن تا ۳۰ کیلومتر مربع افزایش قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌گردد و بلافاصله این میزان تا عدد ۲۰ کیلومتر مربع کاهش می‌یابد. بدین معنی که حداکثر احتمال در این تابع ۲۰ کیلومتر مربع است (شکل ۹ پایین سمت راست). در تابع خطی حداکثر میزان افزایش از ۰ تا ۱۲ کیلومتر مربع به طور یکنواختی افزایش می‌یابد، سپس از ۱۲ تا ۲۳ کیلومتر مربع این میزان افزایش کندتر صورت می‌گیرد تا این که در میزان ۲۳ کیلومتر مربع مسیری ثابت را طی می‌کند و حداکثر احتمال ۲۳ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۹ پایین سمت چپ). مقایسه توابع فوق بیانگر این مطلب است که حداکثر مساحت با ۳۰ کیلومتر مربع متعلق به تابع حلقوی و حداقل احتمال به میزان ۲۰ کیلومتر مربع مربوط به تابع شعاعی است.



شکل ۹ فراوانی توزیع احتمال حساسیت پذیری زمین لغزش در توابع حلقوی، چند جمله‌ای، شعاعی و خطی

اعتبار سنجی الگوریتم

برای اعتبار سنجی دقت الگوریتم SVM و توابع آن از نقاط آموزشی (شکل ۴) استفاده گردید و خروجی‌های به دست آمده از توابع با نمونه‌های انتخابی مقایسه شد (منظور از نمونه‌های انتخابی، زمین‌لغزش‌های رخ داده است که تعدادشان ۱۴ زمین‌لغزش است). در بین توابع اجرا شده، تابع حلقوی به خاطر انطباق بیشتر با واقعیت بهترین عملکرد و دقت را داراست. پس از آن به ترتیب توابع شعاعی، چند جمله‌ای و خطی از نظر عملکرد و نشان دادن میزان حساسیت در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

نتیجه‌گیری

زمین‌لغزش یکی از مخاطرات محیطی است که در حوضه آبریز درکه رخ می‌دهد (شکل ۲ الف، ب، ج). نزدیکی این حوضه به شهر تهران، جنبه گردشگری آن و استقرار مراکز سکونتگاهی همچون روستای درکه باعث شده‌اند تا توجه و دقت به مخاطره زمین‌لغزش در مدیریت محیطی حوضه آبریز درکه دارای اهمیت قابل توجهی باشد. هوش مصنوعی از جمله فنونی است که در سال‌های اخیر برای مشخص کردن پهنه‌های زمین‌لغزش و میزان احتمال حساسیت به زمین‌لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بین این فنون، الگوریتم SVM یک روش کاربردی است که در سال‌های اخیر برای مطالعه زمین‌لغزش مورد توجه قرار گرفته است. در الگوریتم SVM چهار تابع حلقوی، شعاعی، خطی و چند جمله‌ای مد نظر است. بر اساس نقشه خروجی حاصل از تابع حلقوی، قسمت غربی بیشترین حساسیت را دارد. بر طبق این نقشه، اکثر پهنه این حوضه حساسیت متوسط تا بالایی را نشان می‌دهد. در جنوب شرقی حوضه نیز یک پهنه با میزان حساسیت بالا مشاهده می‌شود. در قسمت شرقی و شمالی حوضه لکه‌هایی با حساسیت بسیار زیاد وجود دارند. بر اساس نقشه خروجی تابع خطی بیشتر پهنه حوضه آبریز درکه حساسیت متوسطی به رخداد زمین‌لغزش دارد. طبق این تابع نیمه غربی حوضه حساسیت بیشتری برای زمین‌لغزش دارد و امکان وقوع این مخاطره در غرب حوضه بسیار زیاد می‌باشد. همین‌طور در شمال حوضه نیز این شرایط حاکم بوده و امکان وقوع زمین‌لغزش در آنجا نیز زیاد است. نقشه خروجی حاصل از اجرای تابع شعاعی نیز نشان‌دهنده حساسیت بیشتر قسمت غربی حوضه به زمین‌لغزش است. هرچند در این نقشه، قسمت‌های شرقی حوضه نیز حساسیت متوسط تا بالایی را نشان می‌دهد. همچنین در قسمت‌های شمالی و شرقی حوضه نیز پهنه‌هایی دیده می‌شود که بیانگر حساسیت زیاد به زمین‌لغزش است. نقشه خروجی بر طبق مدل چند جمله‌ای بیانگر حساسیت‌پذیری متوسط به بالای حوضه به مخاطره زمین‌لغزش می‌باشد. این نقشه نشان می‌دهد که در غرب و جنوب شرق حوضه احتمال وقوع زمین‌لغزش بسیار زیاد بوده است؛ در حالی که در شمال حوضه این احتمال تا حد متوسط پایین می‌آید. بر اساس توابع اجرا شده، عامل فاصله از گسل و آبراهه و وضعیت لیتولوژیکی بیشترین نقش را

در میزان حساسیت به زمین لغزش در حوضه آبریز درکه ایفا می‌نمایند. با توجه به محاسبات صورت گرفته حداکثر مساحت احتمالی حساس به زمین لغزش با ۳۰ کیلومتر مربع متعلق به تابع حلقوی و حداقل مساحت احتمالی به میزان ۲۰ کیلومتر مربع مربوط به تابع شعاعی می‌باشد. در بین توابع اجرا شده تابع حلقوی به خاطر انطباق بیشتر با واقعیت بهترین عملکرد و دقت را داراست. همچنین تابع خطی از نظر عملکرد پایین‌ترین دقت را نشان داد.

References

- Atkinson, P., Massari, I., 1998. Generalized linear modeling of landslide susceptibility in the Central Apennines, Italy. *Computers & Geosciences* 24, 373–385.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the kakuda-yahiko Mountains, central Japan, *Geomorphology*. 65, 15-31.
- Ayalew, L., 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* 1, 73–81.
- Bai, S. J., Wang, Lü, P., Zhou, S., Hou, S. Xu., 2010. GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area. *China, Geomorphology* 115, 23–31.
- Ballabio, C., S. Sterlacchini., 2012. Support Vector Machines for Landslide Susceptibility Mapping: The Staffora River Basin Case Study. *Italy, Math Geosci*, 44, 47–70.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms* 16, 427–445.
- Dai, F.C., Lee, C.F., 2001. Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case study. *Canadian Geotechnical Journal* 38, 911–923.
- Ermini, L., Catani, F., Casagli, N., 2005. Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology* 66, 327–343.
- Ghanavati, E., 2011. Landslide hazard zonation in Jajrud Basin Using Hierarchical Analysis Method. *Journal of Applied Research Geographical Sciences* 20, 51- 68.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study. *central Italy. Geomorphology* 31, 181–216.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., 2006. Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology* 81, 166–184.
- Hashemi, S. H., J. Karami., J. Amini., A. Alimohamadi., 2010, Zoning areas susceptible to landslides using Fuzzy Topsis algorithms and GIS (Case Study: Lorestan Province). *Journal of Remote Sensing and GIS* 8, 23- 36.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J.H., 2001. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining. Inference and Prediction*. Springer Verlag, New York.
- Hattanji, T., H. Moriwaki., 2009. Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance of future landslides, *Geomorphology* 103, 447–454.

- Hosainezadeh. M., M. Servati., A. Mansouri., B. Mirbagheri., S. Khezri., 2009. Zoning risk of mass movements using a logistic regression model (case study: the path of the Sanandaj - Dehgolan). *Journal of Iran Geology* 11, 27- 37.
- Jade, S., Sarkar, S., 1993. Statistical models for slope stability classification. *Engineering Geology* 36, 91-98.
- 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, 347-366.
- Karam.A., 2004. Application of Linear mixed models in landslide occurrence potential zonation (Case Study: Sarkhon area in Charmahal and Bakhteyari Province). *Journal of Geography and Development* 4, 131- 146.
- Karimisinghini. E., M. Onagh., A. Sadaldin., A. Najafinejad., 2010. Landslide hazard zonation using multiple regression statistical methods and GIS in Chel Chay basin of Golestan province. *Journal of Forest and Range* 88, 20- 26.
- Khaledi. Sh., Kh. Derafshi., A. Mehrjo., S. gharehchhi., Sh. Khaledi., 2012. Assessment of the landslide effective factors and zonation of this event using logistic regression in the GIS environment: the Taleghan watershed case study). *Quarterly of Geography and Environmental Hazards* 1, 65- 82.
- Komac, M., 2005. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology* 74, 17-28.
- Lee, S., Ryu, J.H., Won, J.S., Park, H.J., 2004. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology* 71, 289-302.
- Lin. Y., H. J. Chu., C. F. Wu., 2010, Spatial pattern analysis of landslide using landscape metrics and logistic regression: a case study in Central Taiwan, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss* 7, 3423-3451.
- Marjanovic. M., M. Kovacevic., B. Bajat., V. Vozenilek., 2011. Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm. *Engineering Geology* 123, 225-234.
- Mohamadi. M., H. Moradi., S. Faiznia., H. Pourghasemi., 2009, Priority of influencing factors and landslide hazard mapping using models of data and analytic hierarchy process (case study: part of Haraz watershed). *Journal of Earth Sciences*, 27- 32.
- Moradi. H., H. Pourghasemi., M. Mohamadi., M. MahdaviFar., 2010, Landslide hazard zonation using fuzzy gamma operator (Case Study: Haraz watershed). *Journal of Environmental Sciences* 4, 129- 142.
- Mosavikhatir. S. Z., A. Kaviani., K. Solaimani., 2010. Preparation of Landslide susceptibility map in Sejarod Basin Using a logistic regression model. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 53, 99- 111.
- Mosfaei, J., M. Onagh., Z. Faridkia., 2009. Landslide hazard zonation using the correlation equation modeling and hierarchical analysis (case study: Alamut River Watershed). *Journal of Forest and Range* 84, 50- 57.
- Niazi. Y., M. Ekhtesasi., A. Talebi., S. Arkhi., M. H. Mokhtari., 2010. Performance evaluation of two multivariate statistical model to predict landslide hazard (case study: Ilam dam area). *Journal of sciences and Watershed Engineering Iran* 10, 9- 20.
- Ohlmacher, C.G., Davis, C.J., 2003. Using multiple regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas. USA. *Engineering Geology* 69, 331-343.

- Pourghasemi, H., H. Moradi., S. M, Fatemioghda., M. MahdaviFar., 2009. Landslide risk assessment using a multi-criteria decision making in fuzzy. *Journal of sciences and Watershed Engineering Iran* 8, 51- 62.
- Rakei. B., M. Khamehchian., P. Abdolmalaki., P. Giachi., 2007. Application of Artificial Neural Network in The landslide hazard zonation, Case Study: Safidargale area in Semnan province. *Journal of Sciences* 1, 57- 64.
- Roering, J.J., Kirchner, J.W., Dietrich, W.E., 2005. Characterizing structural and lithologi controls on deep-seated landsliding: Implications for topographic relief and landscape evolution in the Oregon Coast Range. USA. *Geological Society of America Bulletin* 117, 654–668.
- S.sakar., D.P.Kanungo., G.S.Mehrotar., 1995. Landslide zonation: A case study in garhwal Himalaya. India, *Mountain Research and Development*, Vol1 5 (4), 300-301.
- Scholkoph, B., Smola, A.J., Williamson, R.C., Bartlett, P.L., 2000. New support vector algorithms. *Neural Computation* 12, 1207–1245.
- Suzen, M.L., Doyuran, V., 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu Catchment, Turkey. *Engineering Geology* 71, 303–321.
- Vapnik, V.N., 1995. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer Verlag, New York.
- Xu. C., F. Dai., X. Xu., Y. Lee., 2012. GIS-based support vector machine modeling of earthquake triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed. China, *Geomorphology* 145–146, 70–80.
- Yao, X., Tham, L.G., Dai, F.C., 2008. Landslide susceptibility mapping based on Support Vector Machine: a case study on natural slopes of Hong Kong. China. *Geomorphology* 101, 572–582.
- Yesilnacar, E., Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study. Hendek region (Turkey). *Engineering Geology* 79, 251–266.
- Yilmaz, I., 2010. Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: conditional probability, logistic regression, artificial neural networks, and support vector machine. *Environmental Earth Sciences* 61, 821–836.
- Zhu. L., H. Jing-Feng., 2006. GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A* 7 (12): 2007-2017.