

## مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مشکلات بسیاری از کشورهای جهان است که هر ساله موجب بروز خسارات فراوانی می‌شود. با توجه به شرایط طبیعی و غیرطبیعی هر منطقه ممکن است رخساره‌های مختلف فرسایشی ایجاد شود. فرسایش آبکندی یکی از شکل‌های فرسایشی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که از نظر مرفولوژیکی بسیار فعال بوده و همواره شکل آن تغییر می‌کند [۵ و ۲۲]. بنابراین توسعه آن تخریب‌های زمین‌شناسی زیادی را به همراه داشته و حجم زیادی رسوب تولید می‌کند [۹]. فرسایش آبکندی زمانی اتفاق می‌افتد که فرساینده‌های جریان آب و یا فرسایش‌پذیری رسوبات یا تشکیلات منطقه از آستانه ژئومورفولوژیک منطقه بالاتر رود [۳۴]. فرسایش آبکندی نوعی از فرسایش آبی است که در نتیجه انحلال و قلیایی بودن سازند در اراضی مختلف (جنگل، مرتع، کشاورزی) بوجود می‌آید. بر اساس مطالعات سالیان اخیر، مکانیسم فرسایش آبکندی با سایر اشکال فرسایش آبی تفاوت دارد و معمولاً در اراضی کم شیب (تا ۱۵ درصد) شدت فرسایش آبکندی چندین برابر اراضی شیبدار است [۱ و ۱۵]. فرسایش آبکندی به لحاظ انتقال افق‌های حاصلخیز خاک خاک و کاهش ظرفیت نگهداری آب، بسیار خطرناک است. به همین دلیل، امروزه ارزیابی میزان و نحوه ایجاد فرسایش آبکندی در اکثر مناطق جهان به یک موضوع اساسی تبدیل شده است [۶]. به‌طور کلی فرسایش آبکندی از دو نظر نسبت به انواع دیگر فرسایش اهمیت بیشتری دارد؛ اول اینکه تحقیقات کمتری در مورد آن صورت گرفته و کمبود اطلاعات در مورد آن احساس می‌شود، درحالی‌که تحقیقات زیادی در مورد فرسایش‌های دیگر مانند فرسایش سطحی، رودخانه‌ای و حرکات توده‌ای در چند دهه اخیر صورت گرفته است و شاهد آن، ارائه و گسترش مدل‌های مربوط به این نوع فرسایش‌ها است. دوم اینکه فرسایش آبکندی چندین برابر فرسایش سطحی تولید رسوب می‌کند که برای مخازن سدها، هدررفت خاک حاصلخیز و رسوب‌گذاری رودخانه‌ها بسیار مهم است [۲۶]. این نوع فرسایش در دهه‌های اخیر بر اثر کشت غیراصولی و تغییرات کاربری روند سریعی در پیش گرفته است. از سوی دیگر، تغییرات آب و هوایی و به دنبال آن، تغییرات در بیلان آب زمینه را برای تشکیل آبکنند مساعد کرده است [۳] و [۳۱]. شکل‌گیری آبکندها همراه با فرسایش و تغییر شکل ظاهری زمین همراه است و سبب تولید میزان قابل توجهی رسوب، تخریب اراضی، جاده‌ها، شبکه‌های آبیاری، پر شدن سدها، کاهش آب‌های زیرزمینی و کاهش تولیدات کشاورزی می‌شود [۴ و ۳۲]. فرسایش آبکندی هم‌چنین باعث کاهش امکان ترد وسایل نقلیه و ماشین‌های کشاورزی می‌شود و

## بررسی دقت نقشه حساسیت‌پذیری فرسایش آبکندی با استفاده از روش‌های SVM و MARS در حوزه آبخیز سازند

علی اکبر داودی‌راد<sup>۱</sup> و مجید محمدی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲

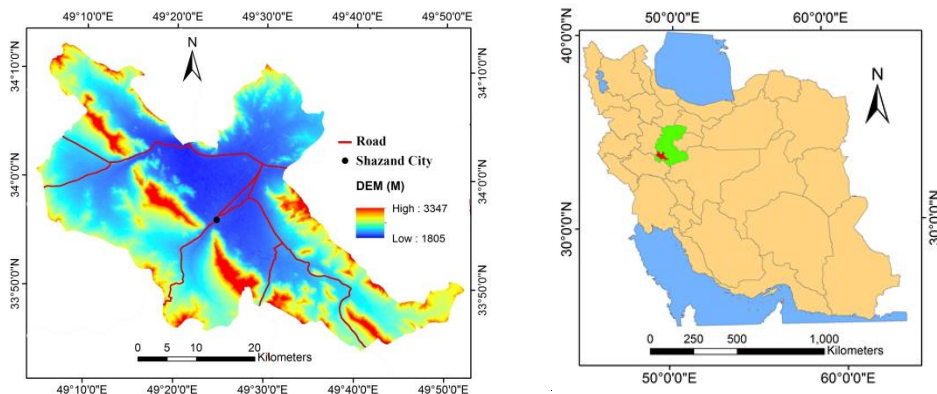
## چکیده

فرسایش آبکندی به‌عنوان یکی از شکل‌های معمول فرسایش در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شود. به دلیل اهمیت این پدیده، مطالعات مختلفی در سراسر جهان به منظور بررسی فرسایش آبکندی و اثرات آن انجام شده است. هدف این تحقیق تعیین دقت نقشه حساسیت فرسایش آبکندی با استفاده از مدل‌های SVM و MARS در حوزه آبخیز سازند بود. جمع‌آوری اطلاعات آبکندهای منطقه مورد مطالعه انجام شد. محل آبکندها با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، گوگل ارث تعیین و در بازدیدهای میدانی ثبت شد. بعد از تهیه نقش حساسیت فرسایش آبکندی با استفاده از روش‌های مذکور، از منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر این منحنی برای ارزیابی دقت نقشه‌ها استفاده شد. سطح زیر منحنی برای مدل‌های SVM و MARS به ترتیب ۰/۷۸۱ و ۰/۶۹۷ به دست آمد. نتایج ارزیابی نشان داد که دقت مدل‌های SVM و MARS به ترتیب در طبقه خوب و متوسط قرار گرفته است. نتایج تحقیق می‌تواند ابزار مفیدی برای مدیریت منابع طبیعی و محیط‌زیست و هم‌چنین کاهش تخریب خاک باشد.

**کلیدواژه‌ها:** فرسایش آبکندی، رگرسیون چندمتغیره انطباقی

اسپالین، ماشین بردار پشتیبان، حوزه آبخیز سازند

۱- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. اراک، ایران.  
۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. پست الکترونیک: majid.mohammady@semnan.ac.ir



شکل ۱- موقعیت مکانی حوزه آبخیز شازند  
Fig 1. Location of Shazand watershed

و ارتفاع کمینه و بیشینه منطقه به ترتیب ۱۸۰۵ و ۳۳۴۷ متر از سطح دریا است. میزان بارش متوسط سالانه در حوزه آبخیز شازند ۴۲۰ میلی متر بوده و متوسط دمای آن ۱۲ درجه سانتی گراد است. کاربری اراضی منطقه شامل کشاورزی، باغ، مرتع، مسکونی و زمین بایر است. سازندهای زمین شناسی منطقه شامل رسوبات آبرفتی، ماسه سنگ، شیل، آهک و مارن است ولی بخش عمده منطقه از آبرفت های کواترنر پوشیده شده است.

### عوامل مؤثر بر فرسایش آبکندی

عوامل مختلفی در وقوع فرسایش آبکندی تأثیرگذار است. در این پژوهش عوامل مؤثر با استفاده از مرور منابع و موجودیت داده ها در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. ابتدا نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) از داده های ماهواره ای (سنجنده ASTER) تهیه شد. در مرحله بعد نقشه های درجه شیب، جهت شیب، انحنای سطح<sup>۳</sup>، انحنای نیمرخ<sup>۴</sup>، شاخص رطوبت توپوگرافی<sup>۵</sup> (TWI) و عامل طول شیب با استفاده از نقشه DEM و در محیط نرم افزارهای ArcGIS10.3 و SAGA-GIS تهیه شد (شکل ۲).

نقشه های زمین شناسی و گسل از سازمان زمین شناسی کشور در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. نقشه زمین شناسی رقومی شده و بر اساس جنس سازندها در ۷ گروه طبقه بندی شد. نقشه شبکه آبراه ها و جاده ها از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استخراج شد. در محیط نرم افزار فاصله از گسل، جاده و آبراهه محاسبه و نقشه آنها به دست آمد (شکل ۲). با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ و با استفاده از روش ترکیبی نقشه کاربری اراضی تهیه شد (شکل ۱). در روش ترکیبی از چندین تصویر در یک سال و هم زمان از روش نظارت نشده ایزودیتا، نظارت شده بیشینه احتمال و داده های کمکی استفاده شد. جزئیات این روش در تحقیق محمدی<sup>۶</sup> و همکاران [۲۴] ارائه شده است. داده های بارش مربوط به ایستگاه های داخل و

در نتیجه هزینه ارتباطات افزایش یافته و در برخی موارد موجب فساد تولیدات کشاورزی به دلیل نبود راه های ارتباطی می شود [۲]. با توجه به موارد اشاره شده، توجه به فرسایش آبکندی و کنترل آن امری ضروری است. یکی از مهم ترین اقدامات لازم برای شناخت و مدیریت فرسایش آبکندی، شناسایی مناطق مستعد این پدیده است. به این منظور مدل های مختلفی در سراسر جهان به منظور تحلیل خطر و حساسیت پذیری این پدیده استفاده شده است. در این پژوهش نیز نقشه حساسیت پذیری فرسایش آبکندی در حوزه آبخیز شازند با استفاده از روش های ماشین بردار پشتیبان<sup>۱</sup> (SVM) و رگرسیون چندمتغیره انطباقی اسپلاین (MARS)<sup>۲</sup> تهیه شد. روش MARS تکنیک قدرتمندی برای بررسی روابط خطی و غیرخطی بین متغیرهای مستقل است [۱۶]. مبنای کاری مدل SVM نیز، دسته بندی خطی داده ها است و در تقسیم خطی داده ها سعی می کند خطی را انتخاب نماید که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. این دو مدل در بسیاری از تحقیقات برای بررسی حساسیت پذیری عوارض مختلف مانند زمین لغزش، فرونشست و فرسایش آبکندی استفاده شده و دقت آنها تأیید شده است [۷، ۸]. نتایج تحقیقات نشان می دهد نقش عوامل مؤثر بر فرسایش آبکندی در مناطق مختلف متفاوت است. هم چنین ممکن است یک مدل در یک منطقه دقت زیادی داشته باشد در حالی که در منطقه ای دیگر کارایی چندانی نداشته باشد. با توجه به این شرایط نیاز است در هر منطقه عوامل و مدل های مختلف بررسی شده و بعد از تعیین دقت مدل ها، در نهایت برای یک منطقه مدل مناسب پیشنهاد گردد.

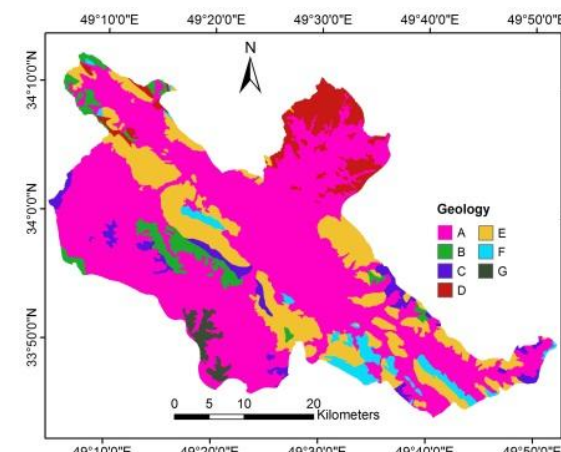
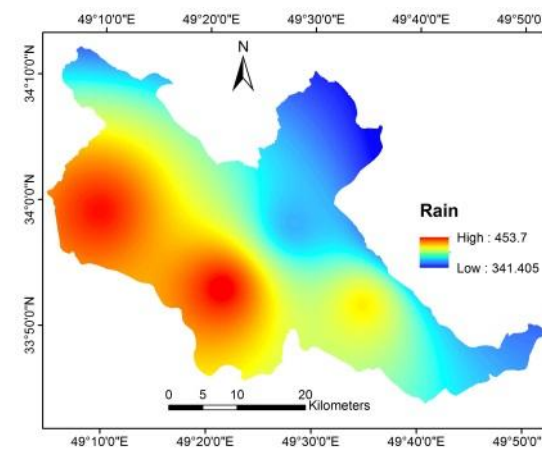
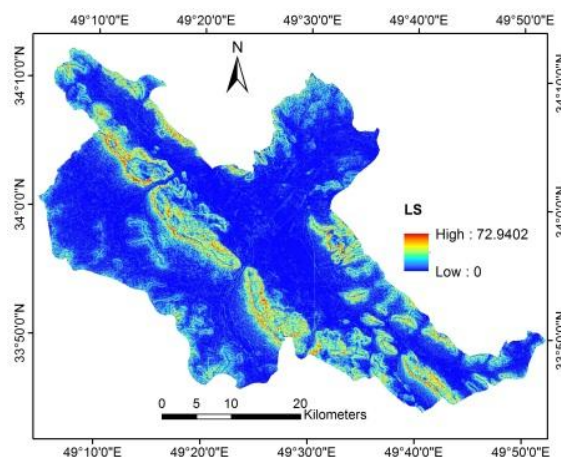
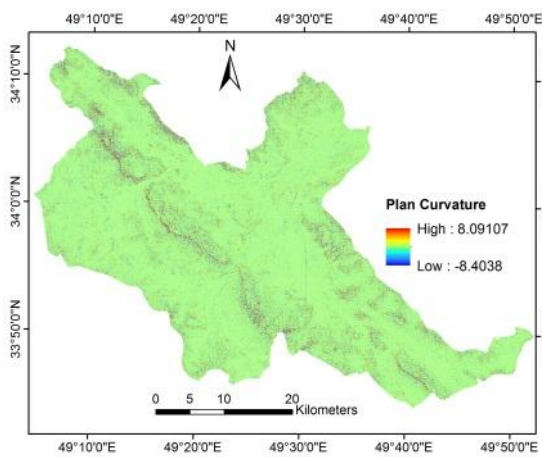
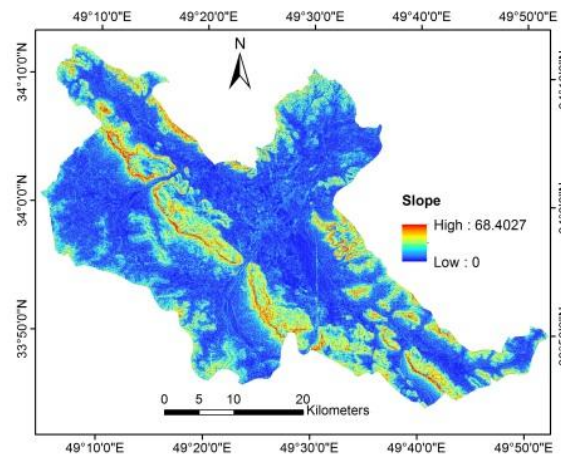
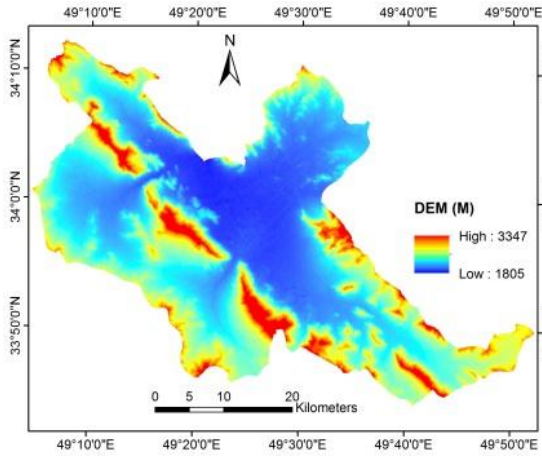
### مواد و روش ها

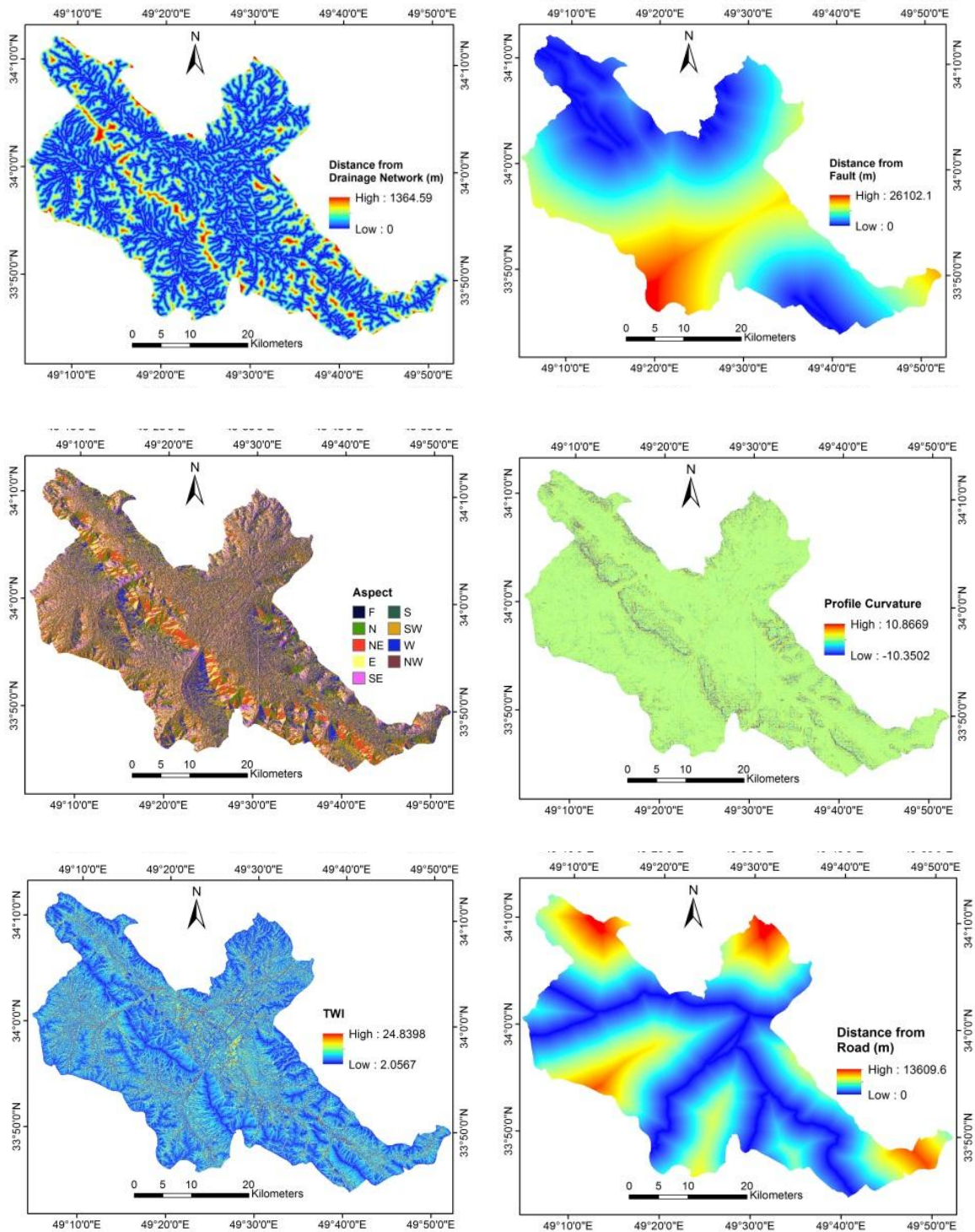
#### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شازند بین عرض های ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و طول های ۴۹ درجه و ۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی در جنوب غربی استان مرکزی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت منطقه در حدود ۱۶۵۰ کیلومتر مربع بوده

3. plan curvature  
4. profile curvature  
5. topographic wetness index  
6. Mohammady

1. support vector machine  
2. multivariate adaptive regression splines



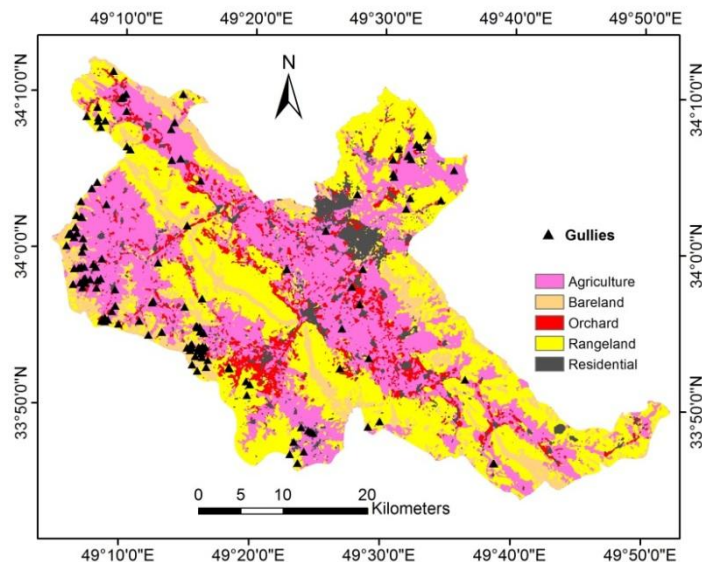


شکل ۲- عوامل مؤثر بر فرسایش آبکندی در منطقه مورد مطالعه  
 Fig 2. Conditioning factors of gully erosion in the study area

و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی استفاده می‌شود [۲۵]. شکل ۳ نقشه پراکنش آبکندها را نشان می‌دهد. نقشه پراکنش آبکندها به‌عنوان متغیر وابسته و نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر به‌عنوان متغیر مستقل وارد مدل می‌شود. در شکل ۴ نیز نمونه‌ای از آبکندهای موجود در منطقه نشان داده شده است.

#### نقشه پراکنش آبکندها

نقشه پراکنش آبکندها، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، گوگل ارث و پیمایش زمینی تهیه شد. در حوزه آبخیز مورد نظر ۱۴۲ آبکند شناسایی و به صورت تصادفی به دو گروه تقسیم شد. ۹۶ آبکند برای تهیه نقشه حساسیت و ۴۶ آبکند برای اعتبارسنجی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. معمولاً حدود ۷۰ درصد نمونه‌ها برای مدل‌سازی



شکل ۳- نقشه پراکنش آبکندها در حوزه آبخیز شازند  
Fig 3. Gullies distribution map in Shazand watershed



شکل ۴- نمونه‌هایی از آبکندهای حوزه آبخیز شازند  
Fig 4. A number of gullies in Shazand watershed

که در آن  $\|w\|$  اصل اقلیدوسی و  $b$  ضریب ثابت است. به منظور تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان از نرم‌افزار R و تابع پایه شعاعی (رابطه ۲) استفاده شد.

$$K(X_i, X_j) = (-\gamma \|X_i - X_j\|), \gamma > 0 \quad (2)$$

که در آن  $\gamma$  مقدار گاما و  $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) مجموعه‌ای از بردارهای خطی تفکیک‌پذیر هستند.

#### رگرسیون چندمتغیره انطباقی اسپلاین (MARS)

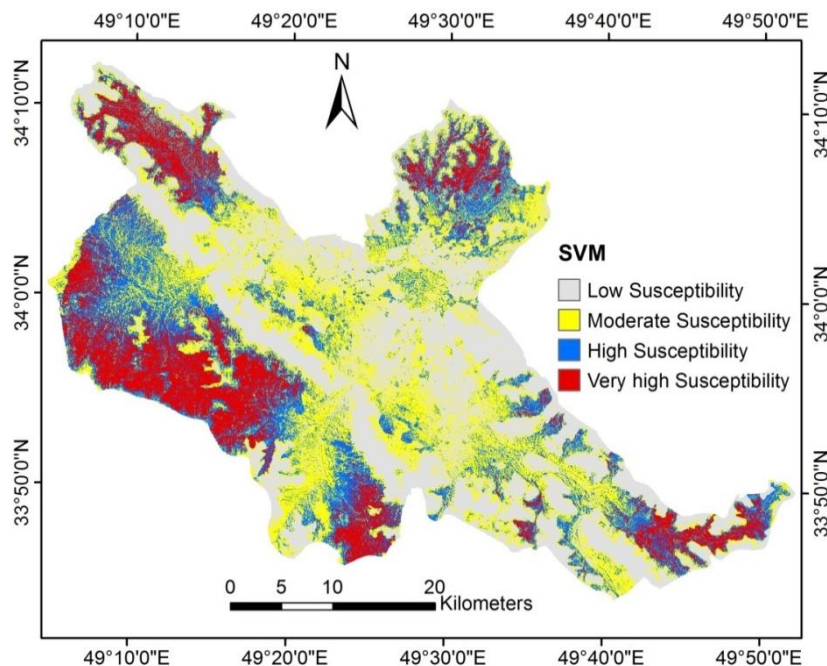
در الگوریتم MARS ارتباط بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل با استفاده از روابط ساده بررسی می‌شود [۱۱]. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این است که این مدل می‌تواند یک رابطه کاربردی با استفاده از تعدادی ضرایب بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل تعریف کند که برای محاسبه اثر هر یک از متغیرها مهم است [۳۰]. بنابراین این الگوریتم برخی عملگرهای اساسی با فواصل مختلف در هر یک از متغیرها را تعریف می‌کند [۲۰]. با توجه به کارایی الگوریتم

#### تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)

به منظور تهیه نقشه حساسیت فرسایش آبکندی با استفاده از الگوریتم SVM، از تابع پایه شعاعی به دلیل عملکرد بهتر آن در مقایسه با دیگر توابع استفاده شد [۲۸]. هدف اصلی الگوریتم SVM، شناسایی یک ابرصفحه  $n$  بعدی برای تمایز حداقل فاصله<sup>۱</sup> بین مناطق مستعد فرسایش آبکندی و مناطق فاقد آبکند است. بنابراین یک مجموعه از بردارهای آموزشی قابل تفکیک خطی  $X_i$  از دو کلاس  $Y_i (\pm 1)$  تشکیل شد. لذا وقتی برای حل مساله بهینه‌سازی موجود از ضرب لاگرانژ ( $\lambda_i$ ) استفاده می‌شود، تابع ارزش به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود.

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

1. Gap



شکل ۵- نقشه حساسیت فرسایش آبکندی تهیه شده با مدل SVM  
 Fig 5. Gully erosion susceptibility map provided using SVM

۰/۵ تا ۱ متغیر است. هر چه سطح زیرمنحنی به یک نزدیک تر باشد، بیانگر بهترین دقت از نقشه پهنه‌بندی تهیه شده است. طبقه‌بندی میزان سطح زیرمنحنی به صورت عالی (۰/۹-۱)، خیلی خوب (۰/۹-۰/۸)، خوب (۰/۸-۰/۷)، متوسط (۰/۷-۰/۶) و ضعیف (۰/۶-۰/۵) است [۳۳].

### نتایج

#### نقشه حساسیت فرسایش آبکندی

شکل‌های ۵ و ۶ نقشه طبقه‌بندی شده حساسیت را به ترتیب برای روش‌های SVM و MARS نشان می‌دهد. در جدول ۱ مساحت طبقات مختلف حساسیت با استفاده از دو مدل نشان داده شده است.

جدول ۱- مساحت طبقات حساسیت در روش SVM و MARS

Table 1. Area of susceptibility classes of SVM and MARS

روش	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	Method
	Low	Moderate	High	Very high	
SVM	604	466	347	241	
MARS	741	267	234	415	

#### ارزیابی نقشه‌های حساسیت فرسایش آبکندی

برای ارزیابی نقشه‌های حساسیت فرسایش آبکندی، از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) و سطح زیرمنحنی استفاده شد. میزان سطح زیرمنحنی برای روش‌های SVM و MARS به ترتیب (۰/۷۸۱ و ۰/۶۹۷ به دست آمد (شکل‌های ۷ و ۸).

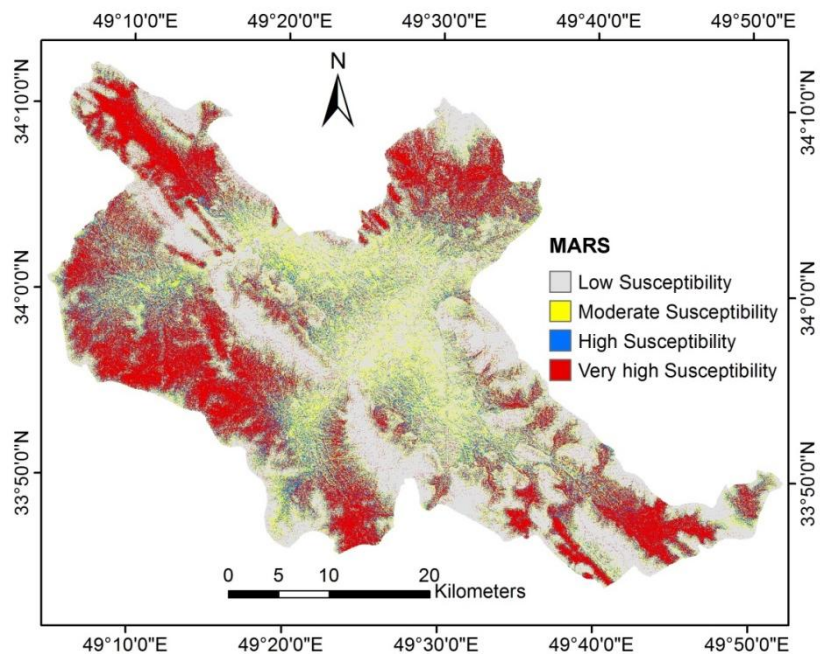
MARS، در بسیاری از مطالعات از قبیل ژئومورولوژی، محیط‌زیست، علوم مهندسی، ژئوفیزیک و اقلیم استفاده شده است [۲۱].

پس از تخمین حساسیت فرسایش آبکندی بر اساس آبکندهای شناسایی شده با استفاده از مدل‌های مذکور، مدل به کل منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شد. در واقع مدل وزن مربوط به تمام عوامل را محاسبه کرده و در فاکتور مربوطه وزن به دست آمده را وارد کرده است. در نهایت با جمع وزن‌ها میزان حساسیت به دست می‌آید. خروجی به صورت یک فایل با فرمت txt است که برای هر پیکسل از منطقه مورد مطالعه، مقدار حساسیت برآورد می‌شود. سپس این فایل به همراه مختصات هر پیکسل به فرمت اکسل در آمده، وارد نرم‌افزار ArcGIS 10.3 شده و تبدیل به نقشه نقطه‌ای شد. در نهایت این فایل به نقشه رستری حساسیت فرسایش آبکندی تبدیل و بر اساس روش شکست طبیعی<sup>۱</sup> منحنی توزیع وزن پیکسل‌ها به طبقات مختلف خطر شامل حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد [۲۵].

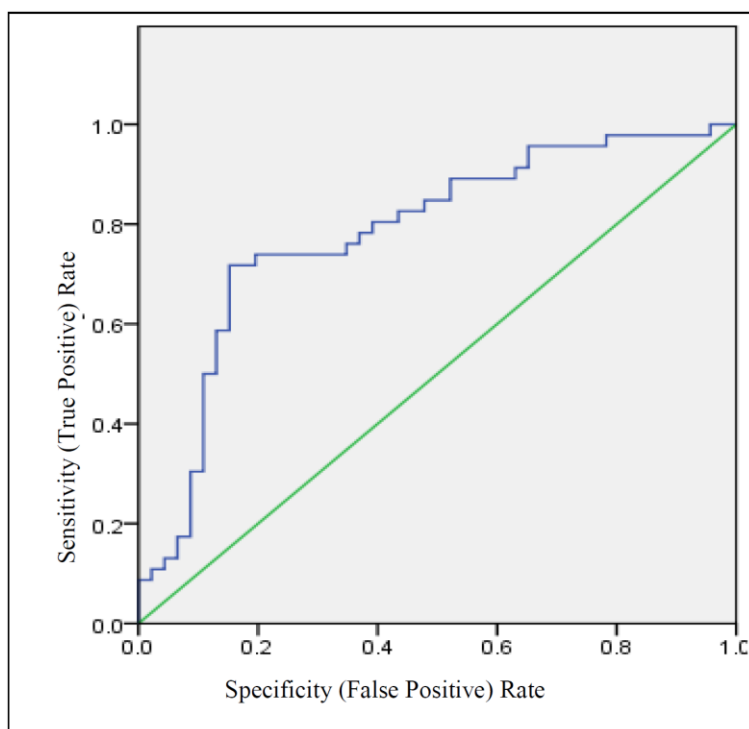
#### ارزیابی نقشه‌های حساسیت فرسایش آبکندی

از منحنی تشخیص عملکرد نسبی<sup>۲</sup> (ROC) و سطح زیر منحنی<sup>۳</sup> (AUC) برای ارزیابی نقشه‌های تهیه شده استفاده شد. سطح زیر منحنی ROC، بیانگر مقدار پیش‌بینی سامانه از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده (رخداد آبکند) و عدم وقوع رخداد (عدم رخداد آبکند) آن است. مقادیر سطح زیر منحنی از

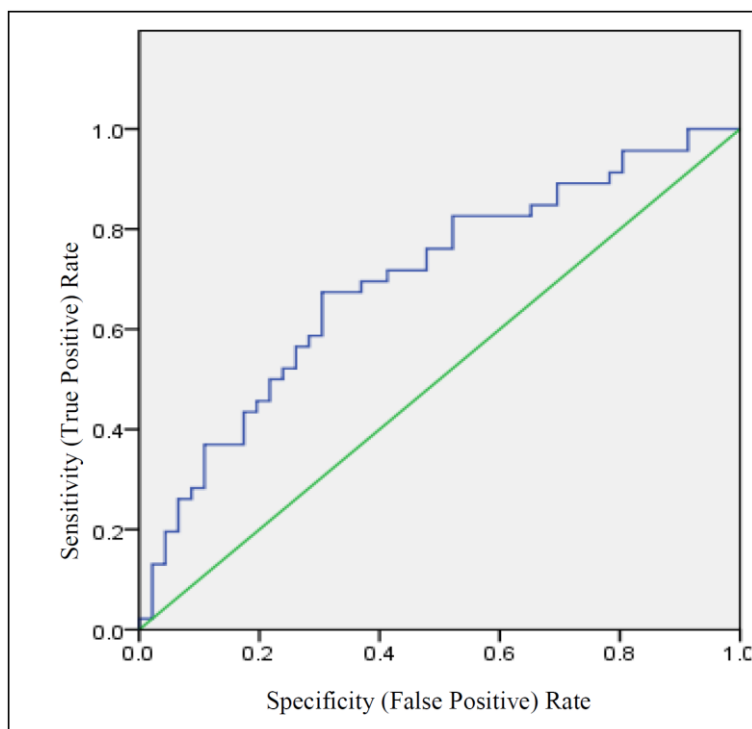
1. Natural break
2. Receiver operating characteristic curve
3. Area under the curve



شکل ۶- نقشه حساسیت فرسایش آبکندی تهیه شده با مدل MARS  
 Fig 6. Gully erosion susceptibility map provided using MARS



شکل ۷- منحنی تشخیص عملکرد نسبی برای مدل SVM  
 Fig 7. ROC curve of SVM model



شکل ۸- منحنی تشخیص عملکرد نسبی برای مدل MARS

Fig 8. ROC curve of MARS model

### بحث و نتیجه گیری

فرسایش آبکندی در بسیاری از مناطق دنیا به عنوان خطر جدی برای منابع طبیعی و انسانی شناخته شده است. در حوزه آبخیز شازند نیز فرسایش آبکندی یکی از مهم ترین اشکال فرسایشی بوده و هر ساله حجم زیادی خاک از این طریق از بین می رود. دقت در نقشه های حساسیت پذیری تهیه شده نشان می دهد که حدود ۳۵ درصد در مدل SVM و ۴۰ درصد منطقه در مدل MARS در طبقه با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. این موضوع اهمیت بررسی این پدیده را مشخص می کند.

عوامل مختلفی موجب بروز و گسترش فرسایش آبکندی می شود که در این پژوهش برخی از آنها استفاده شد. یکی از مهم ترین عوامل که در بسیاری از تحقیقات نیز استفاده شده است کاربری اراضی است [۱۴ و ۳۴]. بررسی ها نشان می دهد در منطقه مورد مطالعه حدود ۶۳ درصد آبکندها (۹۰ آبکند) در زمین های کشاورزی اتفاق افتاده است در حالیکه مساحت مناطق کشاورزی ۳۸ درصد منطقه است. در مناطق کشاورزی معمولاً خاک دستکاری شده و شرایط فرسایش بیشتر فراهم است. از طرفی زمین های کشاورزی در بخشی از سال بدون پوشش بوده و شرایط برای تخریب خاک بسیار مساعد است. زوکا<sup>۱</sup> و همکاران [۳۴] و داب<sup>۲</sup> و همکاران [۱۴] نیز عوامل مؤثر بر فرسایش آبکندی را به ترتیب در بخشی از ایتالیا و زیمباوه

بررسی کرده و کاربری اراضی و زمین های کشاورزی را به عنوان یکی از مهم ترین عوامل معرفی نمودند. پراکنش آبکندهای منطقه در سازندهای زمین شناسی نشان می دهد سازندهای آبرفتی کواترنر بیش ترین حساسیت را نسبت به فرسایش آبکندی دارند. حدود ۹۰ درصد آبکندها (۱۲۸ آبکند) در سازندهای کواترنر قرار گرفته است و مساحت این سازند ۶۵ درصد منطقه است. دلیل آن سست بودن این سازندها و قابلیت تخریب و انتقال آسان تر آنهاست. کونوستی<sup>۳</sup> و همکاران [۱۰] نیز به اهمیت خصوصیات زمین شناسی در وقوع فرسایش آبکندی در سیسیل ایتالیا اشاره نموده اند. بارش یکی دیگر از عوامل مؤثر بر فرسایش آبکندی در منطقه است که توسط محققین دیگری از جمله پالیس<sup>۴</sup> و همکاران [۲۷] و پویسن<sup>۵</sup> و همکاران [۲۶] به اهمیت آن اشاره شده است. فاصله از عوارض خطی جاده و آبراهه نیز بر وقوع آبکندها مؤثر بود و بیشتر آبکندها در فاصله کمی از این عوارض رخ داده اند به طوری که حدود ۲۰ درصد آبکندها در فاصله ۱۰۰۰ متری جاده بوده و مساحت این بخش حدود ۱۵ درصد است. ضمناً از جاده های فرعی نقشه ای موجود نیست و این درصد آبکندها فقط اطراف جاده های اصلی رخ داده است. هم چنین ۹۵ درصد آبکندها (۱۳۵ آبکند) در فاصله ۵۰۰ متری آبراهه تشکیل شده در حالیکه این منطقه حدود ۸۵ درصد منطقه را شامل می شود.

3. Conoscenti  
4. Pulice  
5. Poesen

1. Zucca  
2. Dube



جاده‌ها حالت طبیعی منطقه را بهم زده و با تغییر مسیر آب و یا تجمع آب در یک قسمت منجر به افزایش فرسایش و شروع فرسایش آبکندی می‌شوند. محققین دیگری از جمله ریجکی<sup>۱</sup> و ساسکیا<sup>۲</sup> [۲۹] و یازی<sup>۳</sup> و همکاران [۳۲] جاده را به‌عنوان یک عامل مؤثر در وقوع فرسایش آبکندی معرفی نمودند. تأثیر نزدیکی به شبکه آبراهه در وقوع فرسایش آبکندی نیز در تحقیق جوشی<sup>۴</sup> و همکاران [۱۹] مورد تأکید قرار گرفت.

خصوصیات توپوگرافی از قبیل ارتفاع، شیب و جهت شیب نیز از عوامل مؤثر بر فرسایش آبکندی است. ارتفاع از سطح دریا به‌طور غیرمستقیم تعیین‌کننده بسیاری از عوامل مانند مقدار بارش سالانه شدت بارش، نوع بارش تغییرات دما، یخبندان، تخریب فیزیکی و شیمیایی بوده [۲۳] و به همین دلیل از عوامل مؤثر بر فرسایش آبکندی است. مقایسه آبکندهای رخ داده و تغییرات ارتفاع نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع میزان آبکندها کاهش یافته است. دلیل آن می‌تواند کم بودن ضخامت خاک در ارتفاعات بیشتر و هم‌چنین دستکاری کمتر از قبیل کشاورزی در این مناطق باشد. با وجود اینکه شیب‌های شمالی، غربی و شمال غربی ۳۰ درصد منطقه را پوشش می‌دهد حدود ۴۰ درصد آبکندها در این جهت‌ها تشکیل شده است. این موضوع نشان می‌دهد جهت‌هایی که رطوبت بیشتر و آفتاب کمتری دریافت می‌کنند برای وقوع فرسایش آبکندی مساعدتر هستند. تأثیر جهت شیب در فرسایش بیشتر غیرمستقیم و از طریق کنترل سایر پارامترهای طبیعی مثل مقدار تابش آفتاب، درجه حرارت، رطوبت خاک و پوشش گیاهی است. به‌طور کلی می‌توان گفت اثر عمده جهت شیب در میزان فرسایش به دلیل اختلاف میکروکلیمای موجود در جهت‌های مختلف است [۱۲]. شیب میزان رواناب تراکم زهکشی و برداشت رسوبات را کنترل کرده و به همین دلیل نقش زیادی در فرسایش آبکندی دارد [۱۹]. با توجه به اینکه در شیب‌های کم سرعت آب کم بوده و نفوذ زیاد است و در شیب‌های زیاد عمق خاک بسیار کم است، لذا شیب‌های متوسط (۱۰ تا ۱۵ درصد) بیش‌ترین حساسیت را نسبت به وقوع فرسایش آبکندی دارند. بیش از ۹۰ درصد آبکندها در شیب کمتر از ۱۸ درصد تشکیل شده است در حالیکه مساحت مناطق با شیب کمتر از ۱۰ درجه حدود ۶۰ درصد منطقه است. یکی از این عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش آبکندی گسل‌های منطقه است. معمولاً گسل‌ها موجب حرکت صفحات در سازندهای آبرفتی می‌شود [۳] که این موضوع می‌تواند وقوع آبکندها را افزایش دهد.

بررسی کارایی مدل‌های مورد استفاده نشان داد دقت مدل SVM در طبقه خوب و مدل MARS در طبقه متوسط قرار می‌گیرد. یکی از دلایل پایین بودن نسبی دقت مدل‌ها ممکن است تأثیر عاملی باشد که به دلیل محدودیت داده‌ها در این مدل استفاده نشده است.

1. Rijkee
2. Sasskia
3. Yazie
4. Joshi

به‌عنوان مثال بافت، تخلخل و خصوصیات شیمیایی خاک در بسیاری از تحقیقات به‌عنوان عوامل مهم در نظر گرفته شده است و در این تحقیق این داده‌ها موجود نیست که ممکن است منجر به کم شدن دقت نقشه‌های تهیه شده شود. به‌طور کلی مدل‌های مذکور در بسیاری از مطالعات دیگر استفاده شده و کارایی آنها مورد تأیید قرار گرفته است. به‌عنوان مثال گوتیرز<sup>۵</sup> و همکاران [۱۷]، چو<sup>۶</sup> و همکاران [۸] و محمدی و همکاران [۲۵] کارایی مدل MARS را به ترتیب در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش، فرسایش آبکندی و فرونشست زمین تأیید کردند. هم‌چنین چن<sup>۷</sup> و همکاران [۷] از مدل SVM در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش استفاده نموده و دقت آن را مناسب بیان نمودند.

به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد حوزه آبخیز شازند نسبت به وقوع و توسعه فرسایش آبکندی بسیار مساعد است. تعداد زیاد آبکندهای موجود در منطقه و حساسیت بالای بخش‌های زیادی از منطقه به فرسایش آبکندی در نقشه‌های تهیه شده گویای این موضوع است. توصیه می‌شود در مناطقی که حساسیت بالایی به این پدیده دارند هرگونه تغییر کاربری و دست‌کاری طبیعت محدود شده و در صورت امکان اقدامات حفاظتی و مدیریتی انجام شود. نتایج این تحقیق و نقشه‌های حساسیت‌پذیری تهیه شده نیز می‌تواند مبنایی برای حفاظت از منابع طبیعی و محیط‌زیست قرار گرفته و تا حد امکان از توسعه فرسایش آبکندی جلوگیری شود.

## تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر تحت نظر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی در قالب دوره "فرصت مطالعاتی در جامعه و صنعت" انجام شده است. بر خود وظیفه می‌دانیم از این مجموعه و به‌ویژه آقای دکتر غلام‌رضا گودرزی (رئیس مرکز) به خاطر حمایت و حسن نظر نسبت به این تحقیق کمال تشکر را داشته باشیم.

## منابع

1. Ahmadi, H. 1999. Applied Geomorphology, Vol. 1 (water erosion), 3rd Edition. The Tehran University Press. Tehran, 688 p (In Persian).
2. Archibold, QW. 1996. A Device for measuring Gully headwall morphology. Earth surface processes and landforms. 21(11): 1001-1005.
3. Bouwer, H. 1977. Land subsidence and cracking due to ground water depletion. Ground Water. 15 (5): 358-364.
4. Burkard, MB. and Kostaschuk, 1997. Patterns and control

5. Gutiérrez
6. Chu
7. Chen

Investigation of gully erosion in Marly Agha-Jari formation in Zagross (Case study: Ghasre-Shirin, Kermanshah). *Pajouhesh & Sazandegi*. 20(1): 32-40 (In Persian).

16. Friedman, JH. 1991. Multivariate adaptive regression splines. *Annals of Statistics*. 19(1):1-67.

17. Gutiérrez, ÁG. Schnabel S. and Contador, JFL. 2009. Using and comparing two nonparametric methods (CART and MARS) to model the potential distribution of gullies. *Ecological Modelling*. 220(24):3630-3637.

18. Hembram, K. Paul, GC. and Saha, S. 2018. Spatial prediction of susceptibility to gully erosion in Jainti River basin, Eastern India: a comparison of information value and logistic regression models. *Modeling Earth Systems and Environment*. 5(4): 689–708.

19. Joshi, VU. Daniels, MJ. and Kale, VS. 2013. Morphology and origin of valley-side gullies formed along the watersheds of Deccan province, India and the Rangeland of Colorado, USA. *Transactions*. 35(1): 103–122.

20. Krzemień, A. 2019. Fire risk prevention in underground coal gasification (UCG) within active mines: Temperature forecast by means of MARS models. *Energy*, 170(3): 777-790.

21. Luoto, M. and Hjort, J. 2008. Downscaling of coarse grained geomorphological data. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*. 33(1):75-89.

22. Marzolf, I. and Poesen, J. 2009. The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system. *Geomorphology*. 111(1-2): 48–60.

23. Moghimi, E. Alavipanah, SK. and Jafari, T. 2008. Evaluation and zonation of effective factors on landslide Occurrence of aladagh northern slopes. *Physical geography research quarterly*. 64(3): 53-75. (In Persian).

24. Mohammady, M. Morady, HR. Zeinivand, H. and Temme, AJAM. 2015. A comparison of supervised, unsupervised and synthetic land use classification methods in the North of Iran. *International Journal of Environmental Sciences and Technology*. 12(5):1515–1526.

25. Mohammady, M. Pourghasemi, HR. Amiri, M. and Tiefenbacher, JP. 2021. Spatial modeling of susceptibility to subsidence using machine learning techniques. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 35(8): 1689–1700.

26. Poesen, J. Nachtergaele, J. Verstraeten, G. and Valentin, C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50(2-4): 91–133.

of gully growth along the shoreline of Kake Huron. *Earth Surface Processes and Landforms*. 22(10): 901-911.

5. Cantalice, JR. Filho, MC. Santos, C. Guerra, S. Cavalcante, D. and Silva, M. 2017. Gully erosion and sediment delivery ratio from a semi-arid watershed. In 19th EGU general assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23–28 April, 2017 in Vienna, Austria, p. 1300.

6. Chaplot, V. Giboire, G. Marchand, P. and Valentin, C. 2005. Dynamic modelling for linear erosion initiation and development under climate and land-use changes in northern Laos. *Catena*. 63(2): 318-328.

7. Chen, W. Pourghasemi, HR. Kornejady, A. and Zhang, N. 2017. Landslide spatial modeling: introducing new ensembles of ANN, MaxEnt, and SVM machine learning techniques. *Geoderma*. 305(1): 314-327.

8. Chu, L. Wang, LJ. Jiang, J. Liu, X. Sawada, K. and Zhang, J. 2018. Comparison of landslide susceptibility maps using random forest and multivariate adaptive regression spline models in combination with catchment map units. *Geosciences Journal*. 23(2): 341–355

9. Conforti, M. and Buttafuoco, G. 2017. Assessing space-time variation of denudation processes and related soil loss from 1955 to 2016 in southern Italy (Calabria region). *Environmental Earth Science*. 76(457): 1-18.

10. Conoscenti, C. Angileri, S. Cappadonia, C. Rotigliano, E. Agnesi, V. and Märker, M. 2014. Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression: A case of Sicily (Italy). *Geomorphology*. 204(4):399-411.

11. Darabi, H. Haghghi, AT. Mohamadi, MA. Rashidpour, M. Ziegler, AD. Hekmatzadeh, AA. and Klöve, B. 2020. Urban flood risk mapping using data-driven geospatial techniques for a flood-prone case area in Iran. *Hydrology Research*. 51(1):127–142.

12. Davudirad, AA. 2016. Zoning Gully Erosion Susceptibility using of Artificial Neural Network. *Research Plan. Agricultural & Natural Resources Research and Education Center of Markazi province*. 83 p.

13. Dotterweich, M. 2005. High Resolution Reconstruction of a 1300 Year Old Gully system in Northern Bavarian. *The Holocene*. 15(7): 997-1005.

14. Dube, F. Nhapi, I. Murwira, A. Gumindoga, W. Goldin, J. and Mashauri, DA. 2014. Potential of weight of evidence modelling for gully erosion hazard assessment in Mbire District–Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 67(6):145-152.

15. Feiznia, S. Heshmati, M. Ahmadi, H. and Ghodosi, J. 2007.

31. Valentin, C. Poesen, J. and Li, Y. 2005. Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena*, 63(2-3): 132–153.
32. Yazie, T. Mekonnen, M. and Derebe, A. 2020. Gully erosion and its impacts on soil loss and crop yield in three decades, northwest Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*. 7(4): 2491–2500.
33. Yesilnacar, EK. 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey, Ph.D Thesis. Department of Geomatics the University of Melbourne. 423 p.
34. Zucca, C. Canu, A. and Della Peruta, R. 2006. Effects of land use and landscape on spatial distribution and morphological features of gullies in an agropastoral area in Sardinia (Italy). *Catena*, 68(2): 87–95.
27. Pulice, I. Scarciglia, F. Leonardi, L. Robustelli, G. Conforti, M. and Cuscino, M. 2009. Studio multidisciplinare di forme e processi denudazionali nell'area di Vrica (Calabria orientale). *Bollettino della Società Geografica Italiana*, 87(1–2): 399–414.
28. Pourghasemi, HR. Goli Jirandeh, A. Pradhan, B. Xu, C. and Gokceoglu, C. 2013. Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS. *Journal of Earth System Science*. 122 (2):349-369.
29. Rijkee, P. Sasskia, SD. and Mekonnen, M. 2015. Low-land gully formation in the Amhara Region, Ethiopia. *Geophysical Research Abstracts*, EGU General Assembly
30. Serrano, NB. Sánchez, AS. Lasheras, FS. Iglesias-Rodríguez, F.J. and Valverde, GF. 2020. Identification of gender differences in the factors influencing shoulders, neck and upper limb MSD by means of multivariate adaptive regression splines (MARS). *Applied Ergonomics*, 82:102981.
- DOI: 10.1016/j.apergo.2019.102981

## Accuracy Assessment of Gully Erosion Susceptibility Map Using SVM and MARS Methods in Shazand Watershed

A. A. Davudirad<sup>1</sup> and M. Mohammady<sup>2</sup>

Received: 09-10-2021 Accepted: 13-11-2021

### Abstract

Gully erosion found to be typical erosion form in semiarid and arid landscape. Because of the importance of this phenomenon, various studies have been conducted around the world to assess gully erosion and its effects. The purpose of this research was accuracy assessment of gully erosion susceptibility maps using SVM and MARS models in the Shazand watershed. Acquiring information about the gully erosion occurred in the study area was done. Locations of the gullies were specified using Landsat satellite images, google earth and field surveys. After gully erosion susceptibility mapping using mentioned models, the receiver operating characteristic (ROC) curve and area under the curve (AUC) were used to assess accuracy of these maps. The AUC for the SVM and MARS models obtained 0.781 and 0.697 respectively. Results of accuracy assessment show that accuracy of SVM and MARS models is located into the good and moderate class respectively. The research results can be a useful tool to manage natural resources and environment and also reduction of soil degradation.

**Keywords:** *Gully erosion, MARS, SVM, Shazand watershed*

1. Assistant Professor, Markazi Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Arak, Iran.

2. Corresponding Author and Assistant professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources, Semnan University, Semnan, Iran. Email: majid.mohammady@semnan.ac.ir