

## **Determining Prone Areas to Rill Erosion Using Maximum Entropy Method (Case Study: Kaji Wetland South Khorasan Province)**

H. Hoseini<sup>1</sup>, J. Chezgi<sup>2\*</sup>, S.M. Tajbakhsh Fakhrabadi<sup>3</sup>

1. MS.c Student in Watershed Management, Natural Resources Department, Faculty Natural Resources & Environment Science, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. Assistant professor Management, Natural Resources Department, Faculty Natural Resources & Environment Science, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. Associate professor, in Watershed Management, Natural Resources Department, Faculty Natural Resources & Environment Science, University of Birjand, Birjand, Iran.

\* Corresponding Author: [chezgi@birjand.ac.ir](mailto:chezgi@birjand.ac.ir)

Received date: 18/10/2023

Accepted date: 16/12/2023



[10.22034/JDMAL.2023.2013862.1442](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.2013862.1442)

### **Extended Abstract**

#### **Introduction**

Soil erosion is a serious threat to human well-being and life, especially in arid and semi-arid regions, and is one of the important issues in land management. Rill erosion is one of the most significant events in water erosion that affect soil loss, landscape, water resources, and land degradation can cause significant loss of soil in different climates. Identifying the effective processes that lead to the creation and expansion of rill erosion is necessary, and finding effective solutions to prevent rills is essential. In the meantime, one of the management solutions is determining the prone area to rill erosion. The high sensitivity of the lands of Nehbandan city (Kaji wetland watershed) to erosion is the reason for determining the prone areas to rill erosion. The maximum entropy method was used to identify the area that is susceptible to rill erosion.

#### **Material and Methods**

The modeling process used 9 effective factors, including height, slope steepness, slope direction, rainfall, land use, land cover, soil texture, geomorphology, and geology, based on similar research. Factors affecting the occurrence of rill erosion were analyzed as independent variables. The first step in preparing a rill erosion sensitivity map was to determine the location of rill erosions in the Kaji wetland watershed using Google Earth and then to conduct field surveys. The basin was monitored in the field using GPS and 138 cases of rill erosion were recorded. The occurrence points were divided into two groups: training and validation, with a 70:30 ratio. The total occurrence points were divided into 97 incident points that were randomly selected for model training (validation stage) and 41 incident points that were used for validation purposes. The MaxEnt model relied on the data set used for training as independent variables. In order to use the maximum entropy model to determine rill erosion, first the independent variables (factors affecting the occurrence of rill erosion) and the dependent variable (identification of points with rill erosion) was converted to the required format and introduced to MaxEnt software. To evaluate the effectiveness of the model in detecting occurrence points (rill erosion) from pseudo-non-



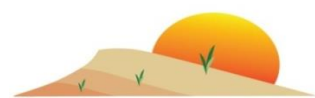
occurrence points, the area under the ROC curve was used. The Jack Knife test was utilized to investigate the identification and prioritization of 9 influential factors (independent variables) that influence the results. The model was implemented using the remaining variables as input factors after removing the independent variables separately for this purpose. The efficiency of the model built using all independent variables was measured in comparison to the case where the model was built based on other variables. To determine its effect on the output, the contribution of the omitted independent variable was examined.

### **Results and Discussion**

According to the validation results, the sensitivity map for rill erosion has a high efficiency. The test stage should have a ROC curve of 0.859 (very good) and the test stage should have an average curve of 0.6 (moderate). The Jack Knife test revealed that the slope's steepness was the most significant environmental factor in the predicted sensitivity map for rill erosion in the study area. Geology and land cover were also recognized as other important factors. The MaxEnt model was found to be an effective model for preparing the rill erosion susceptibility map, according to the results. According to the findings, the slope steepness factor, which is 25%, is the main factor that affects the rill erosion of the Kaji wetland watershed. The high frequency of the slope class with a slope class below 20% suggests that this slope class is a significant factor in the development of rill erosion. The geological map of the region indicates that the majority of the region is dedicated to Quaternary formations, which is crucial for the development and creation of erosion in the region. The watershed's proneness to rill erosion is caused by poor rangeland usage. Management of vegetation and rangeland is necessary to reduce the potential for soil erosion in the region. According to the results, the soil texture of the region had less effect on the development of rill erosion; because most of the soil in the area is related to sand-gravel texture, which has a low effect on rill erosion. The MaxEnt model's high accuracy in modeling the sensitivity of rill erosion is evidenced by the results of the present study.

**Keywords:** Kaji Wetland Watershed; Maximum Entropy Method; Rill erosion; ROC Curve





## تعیین مناطق مستعد فرسایش شیاری با استفاده از روش آنتروپی بیشینه در تالاب کجی خراسان جنوبی

حوا حسینی<sup>۱</sup>، جواد چزگی<sup>۲\*</sup>، سید محمد تاجبخش فخرآبادی<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
  ۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
  ۳. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
- \* نویسنده مسئول: [chezgi@birjand.ac.ir](mailto:chezgi@birjand.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵

 [10.22034/JDMAL.2023.2013862.1442](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.2013862.1442)

### چکیده

فرسایش شیاری به عنوان یکی از فرآیندهای آغازین در هدررفت خاک، منجر به اثرات درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای در سطح سیمای سرزمین می‌شود. استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین می‌تواند برای پیش‌بینی تغییرات مکانی فرسایش اشکال فرسایش بکار گرفته شود. برای این منظور مناطق مستعد فرسایش شیاری با استفاده از روش آنتروپی بیشینه (MaxEnt) در حوزه آبخیز تالاب کجی استان خراسان جنوبی تعیین شد. نه متغیر مستقل سنگ‌شناسی، تندی شیب، بافت خاک، ژئومورفولوژی، کاربری زمین، پوشش گیاهی، ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب و بارش استفاده شد. داده‌های میدانی از ۱۳۸ برداشت صحرائی به عنوان متغیر وابسته به مدل معرفی گردید. بمنظور بررسی کارایی مدل، از شاخص ROC استفاده شد. نتایج پژوهش بیانگر دقت مدل آنتروپی بیشینه بود که نشان از مناسب بودن مدل مذکور در مدل‌سازی حساسیت‌پذیری فرسایش شیاری داشته است، به طوری که مقدار AUC در مرحله آموزش برابر ۰/۸۸۵ و در مرحله آزمون برابر ۰/۸۵۹ بدست آمد است که بیانگر طبقه خیلی خوب مدل می‌باشد. نتایج شاخص جک‌نایف به منظور تعیین اهمیت عامل‌ها نشان داد تندی شیب و حساسیت‌پذیری واحدهای زمین‌شناسی به عنوان مهمترین عوامل و درصد مشارکت در مدل‌سازی فرسایش شیاری هستند. بر اساس همپوشانی لایه‌های ورودی متغیرهای مستقل و نقشه حساسیت فرسایش شیاری مشخص شد که در رقوم ارتفاعی بالاتر از ۱۷۰۰ m با شیب ۸ تا ۲۰٪ و جهات شیب شرقی تا جنوبی بیشترین فراوانی فرسایش شیاری رخ داده است. علاوه بر این، در مناطقی که مراتع ضعیف و پوشش کم تا متوسط گیاهان استپی بر روی خاک عمدتاً شنی سنگریزه‌دار گسترش یافته‌اند و بارش سالانه بیشتر از ۱۵۰ mm/year است، فرسایش شیاری از فراوانی بیشتری برخوردار است. ضمن اینکه واحد زمین‌شناسی آبرفتی مخروطه افکنه‌ای بر روی تپه‌ها، فلات‌ها و تراس‌ها اهمیت بیشتری در وقوع فرسایش شیاری داشتند. در کل نتایج نشان داد مدل آنتروپی بیشینه به منظور مدل‌سازی فرسایش شیاری حوزه آبخیز تالاب کجی نهبندان از کارایی مناسبی برخوردار است. ضمن اینکه با استفاده از متغیرهای محیطی شامل تندی شیب و واحدهای زمین‌شناسی نیز می‌تواند به مدل‌سازی حساسیت‌پذیری فرسایش شیاری در منطقه مطالعاتی بپردازد.

**واژگان کلیدی:** فرسایش خاک؛ همپوشانی لایه‌ها؛ حساسیت واحدهای زمین‌شناسی؛ یادگیری ماشین



## ■ مقدمه

فرسایش خاک تهدید جدی برای رفاه و زندگی انسان، گیاهان و جانوران است و خطر آن به عنوان یکی از موارد مهم در مدیریت زمین مطرح شده است (۲). فرسایش خاک در مناطقی که کوهستانی با اقلیم نیمه خشک هستند، یکی از پیامدهای مهم تغییر اقلیم یا به طور کلی یکی از آثار بارز تغییرات محیطی و اکولوژیکی است (۱۳). از میان انواع مختلف اشکال فرسایش آبی، فرسایش شیاری یکی از مهمترین رخداد‌های مؤثر در هدررفت خاک، تغییر منظر زمین و منابع آب و تخریب اراضی است (۱۸). بنابراین فرسایش شیاری یک فرایند مهم تخریب خاک است که باعث از بین رفتن بخش قابل توجه خاک می‌شود. خاکی که توسط شیار فرسایش می‌یابد، در نهایت با رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها، مخازن سدها و مناطق بندری، خسارت‌های اقتصادی زیادی را به دنبال دارد (۱۶).

از نظر ژئومورفولوژی، فرسایش فرآیند قدرتمندی است که شکل زمین را به طرق مختلف و با نیروهای مختلف تغییر می‌دهد. این نیروها شامل فرآیندهای آب، باد و یخبندان است (۱۱). در یک نگاه کلی، دو گروه از عوامل برای وقوع فرآیند فرسایش باید وجود داشته باشد: الف) نیروهای عامل؛ ب) عوامل ژئومورفولوژیک که به طور مستقیم و غیرمستقیم موجب افزایش و کاهش قدرت نیروهای عامل می‌شوند. عوامل ژئومورفولوژیک شامل زمین‌شناسی، شیب، مساحت حوضه و... می‌باشد. بنابراین لازم است با شناسایی فرایندهای مؤثر بر ایجاد و گسترش فرسایش شیاری، راهکارهای مؤثر در پیشگیری از ایجاد شیارها مشخص شود. در این بین یکی از راهکارهای مدیریتی، تعیین مناطق مستعد فرسایش شیاری می‌باشد. عواملی از جمله ویژگی‌های هندسی حوزه آبخیز، خاک، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فعالیت‌های انسانی و اقلیم که در این فرآیند دخیل هستند که لازم است ارتباط آنها با فرسایش شیاری تعیین شود. از طرفی میزان رسوب-زایی شیارها به عنوان شاخصی از توسعه آن محسوب می‌شود که ضروری است با دقت محاسبه و علت‌سنجی شود (۱۵).

حوزه‌های آبخیز ایران از نظر عوامل فیزیوگرافی، اقلیمی و انسانی مؤثر بر فرسایش بسیار متفاوت هستند. با توجه به روند رو به افزایش فرسایش خاک، لزوم برنامه ریزی صحیح

و متناسب با شرایط حوزه‌های آبخیز کشور در جهت حفاظت از منابع آب و خاک ضروری است. برآوردهای متعددی برای نرخ فرسایش سالانه در ایران بیان شده است (بین ۰/۷ تا ۷ میلیارد تن) و خسارت زیادی بر جای می‌گذارد (۲۲). علاوه بر این، وقوع فرسایش سطحی در دامنه‌ها و تجمیع و انتقال رواناب به در طول کوتاهی به پایین دست، منجر به شکل‌گیری کانال‌هایی در مقیاس میکرو به نام شیار خواهد شد. بنابراین تمرکز جریان و شیب دامنه، دلیل اصلی تشکیل و توسعه فرسایش شیاری است (۱).

از سالیان گذشته پژوهش‌های بسیاری در مورد فرسایش شیاری انجام شده است، اما همچنان دست‌یابی به مدلی برتر و با دقت مناسب با توجه به پیچیدگی‌ها و رفتار غیرخطی عوامل مؤثر، چالشی برای محققین در این زمینه می‌باشد. با بررسی اثر شیب و ویژگی‌های خاک در شکل‌گیری فرسایش شیاری در حوزه آبخیز تهم‌چای زنجان مشخص شد تندی شیب مهمترین خصوصیت توپوگرافی مؤثر در شکل‌گیری فرسایش شیاری است (۳۰). در پژوهشی دیگر با بررسی پایداری برآوردهای فرسایش شیاری با مدل حداکثر آنتروپی در حوزه آبخیز گل استان ایلام نتیجه گرفته شد که مدل بیشینه آنتروپی قادر به تولید نقشه حساسیت‌پذیری فرسایش شیاری است و مهم‌ترین اجزا در مدل‌سازی حساسیت‌پذیری فرسایش شیاری، سنگ‌شناسی و فاصله از آبراهه می‌باشد (۲۱). با بررسی حساسیت برخی خاک‌های منطقه نیمه‌خشک به فرسایش شیاری و بین شیاری با استفاده از شبیه‌ساز باران، مشخص شد مقدار سیلت عامل اصلی مهار تفاوت هدررفت خاک است (۲۸). با بررسی الگوی تغییرات زمانی تولید رواناب و فرسایش شیاری مشخص شد که الگوی تغییرات زمانی تولید رواناب و فرسایش شیاری تحت تأثیر نوع خاک بافت و ساختمان و شیب سطح قرار می‌گیرند (۲۹). با بررسی اثر پوشش گیاهی و پایداری ساختمان خاک بر فرسایش بین شیاری و رواناب نتیجه گرفته شد افزایش پوشش گیاهی منجر به افزایش پایداری ساختمان خاک و کاهش بار رسوب می‌شود (۳۱). با ارزیابی حساسیت فرسایش بدلندی و شیاری در ایتالیا با استفاده از مدل آنتروپی حداکثر، مدل خطی تعمیم یافته و رویکرد درخت رگرسیون تقویت شده نشان داده شد که محرک‌های

## ■ مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز تالاب کجی در استان خراسان جنوبی، شهرستان نهبندان با مختصات  $59^{\circ}$  و  $34'$  تا  $60^{\circ}$  و  $14'$  طول شرقی و  $31^{\circ}$  و  $45'$  تا  $32^{\circ}$  و  $30'$  عرض شمالی قرار گرفته است. مساحت کلی این حوضه  $2615 \text{ km}^2$  است که تالاب کجی حدود  $7 \text{ km}^2$  از این مساحت را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۱). متوسط ارتفاع حوضه  $1860 \text{ m}$  از سطح آب‌های آزاد است. این منطقه از شمال به کوه‌های آخوند شفیع و شیرشتر، از جنوب به شهر شوسف، از شرق به تالاب کجی و از غرب به کوه‌های طارق محدود می‌شود. بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک نهبندان، حداقل و حداکثر بارندگی منطقه به ترتیب حدود  $125 \text{ mm}$  و  $165 \text{ mm}$  و میانگین بارندگی منطقه  $131 \text{ mm}$  است که بیشترین بارش  $24$  ساعته برابر  $65 \text{ mm}$  است. میانگین دمای سالانه منطقه مورد مطالعه  $19/8^{\circ}\text{C}$  و میانگین تبخیر سالانه نیز  $2970 \text{ mm}$  در سال است. کمینه و بیشینه مطلق دما به ترتیب  $12^{\circ}\text{C}$ - و  $45^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. همچنین اقلیم منطقه خشک و بیابانی است که طول دوره خشکی از اوایل فروردین تا اواخر آذر می‌باشد. نوع پوشش گیاهی منطقه، استپ بیابانی و وضعیت طبیعی منطقه نیز بیابانی و تپه ماهوری با عمدتاً پوشش واحد زمین‌شناسی آبرفتی است. محوطه تالاب کجی پوشش گیاهی خاص خود را دارد که از جمله آن می‌توان به نی، تاغ و گز اشاره نمود. از مراکز مهم جمعیتی این منطقه می‌توان به شهر شوسف اشاره کرد (۶). مدیریت منابع آب این منطقه با کد  $4636$  به نام محدوده مطالعاتی سهل آباد توسط شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی است که جزء دشت‌های ممنوعه کشور محسوب می‌شود و جزء حوزه آبخیز درجه یک فلات مرکزی و شرقی و حوضه آبریز درجه دو کویر لوت است.

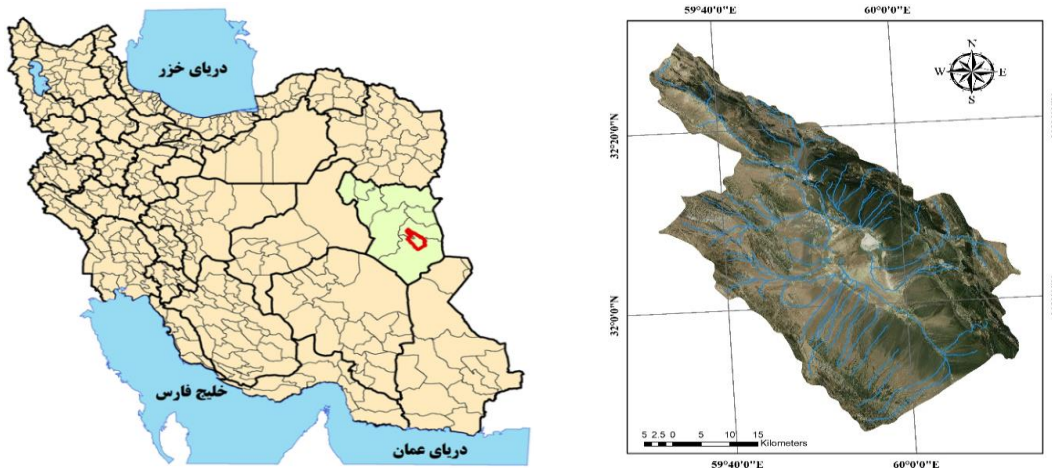
### مدل‌سازی

به‌منظور تعیین مناطق مستعد فرسایش شیاری با استفاده از روش آنتروپی بیشینه، فلوجارت روش کار مطابق با شکل ۲ تهیه شده است که در ادامه روش کار توضیح داده می‌شود.

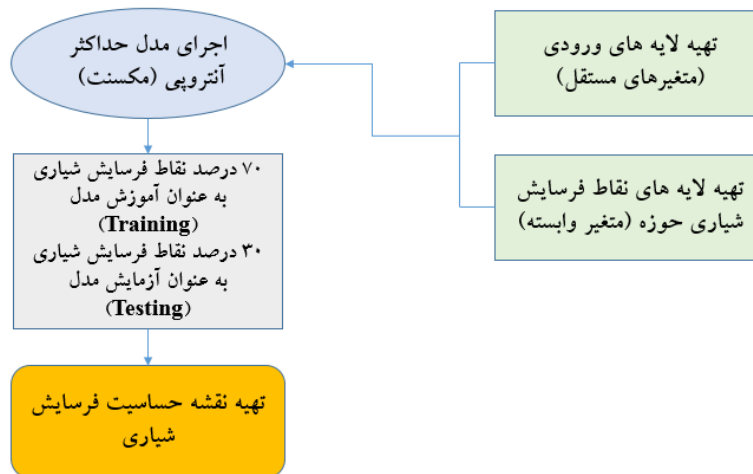
اصلی کنترل کننده توزیع مکانی فرسایش آبی در منطقه مورد مطالعه شامل، نوع خاک، شیب، ارتفاع و شاخص رطوبت توپوگرافی است. همچنین نتایج مدل آنتروپی بیشینه<sup>۱</sup> از نظر اهمیت متغیرهای پیش‌بینی شده تایید شد (۱۴). با بررسی ارتباط ویژگی‌های توسعه شیاری با تولید رسوب در خاک‌های سطحی در چین نشان داده شد که سرعت فرسایش خاک با تکامل فرسایش افزایش می‌یابد؛ به طوری که خاک با محتوای رس و ماسه زیاد، حداقل نرخ فرسایش شیاری را دارد (۱۷). همچنین مدل حداکثر آنتروپی در پژوهش‌هایی برای شناخت توزیع مکانی احتمال رخداد فرسایش خندقی (۳، ۱۲، ۲۳، ۲۷)، اولویت‌بندی عوامل موثر و پهنه‌بندی حساسیت نسبت به رخداد زمین‌لغزش (۸، ۹، ۲۴، ۲۶، ۳۲) و به‌منظور شناسایی اراضی بارز بوم‌شناختی و برای حفاظت (۱۰، ۲۵) از کارایی قابل قبولی برخوردار بود.

مدل آنتروپی بیشینه یکی از فن‌های یادگیری ماشین می‌باشد که در زمینه‌های مختلف علوم محیطی از قابلیت پیش‌بینی مکانی بالایی برخوردار است (۲۰). بالا بردن قطعیت در پیش‌بینی کانون‌های تولید بحران از جمله فرسایش خاک شیاری، از مزیت‌های استفاده از این مدل می‌باشد (۱۹). مدل آنتروپی بیشینه نیازی به تعریف مفروضات اساسی ندارد؛ زیرا با انواع مختلفی از متغیرهای مستقل پیاده‌سازی می‌شود. توانایی بالایی در ایجاد رابطه غیر خطی بین پیش‌بینی کننده‌ها دارد و مطالعات کمی برای آزمایش عملکرد این مدل برای پیش‌بینی حساسیت فرسایش شیاری انجام شده است. هدف از پژوهش حاضر استفاده از مدل آنتروپی بیشینه به عنوان یک مدل یادگیری ماشین برای پیش‌بینی تغییرات مکانی فرسایش شیاری است. زیرا اولویت بندی مناطق حساس به فرسایش شیاری برای برنامه ریزان حفاظت خاک و آبخیزداری دارای اهمیت ویژه‌ای است. در بسیاری از مطالعات انجام شده قبلی در ایران کمتر به استفاده از مدل‌های آماری احتمالی از جمله مدل آنتروپی بیشینه بر اساس داده‌های فیزیوگرافی حوزه پرداخته شده است که لازم است با دقت بیشتری این موضوع بررسی شود.

1. Maximum entropy



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز تالاب کجی در استان خراسان جنوبی و ایران



شکل ۲. مدل مفهومی پژوهش

در ارتفاعات بالاتر و دریافت بارش بیشتر، در وقوع فرسایش شیاری بسیار مستعد هستند (۷). لایه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی، بافت خاک، زمین شناسی و ژئومورفولوژی بر مبنای بانک اطلاعاتی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد و بر اساس نقاط کنترل زمینی تدقیق گردید. در ادامه لایه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 بازبینی شدند و بصورت طبقه‌بندی شده برای ادامه کار مرتب گردیدند.

برای تهیه نقشه حساسیت‌پذیری فرسایش شیاری، ابتدا موقعیت‌های فرسایش شیاری اتفاق افتاده در حوزه آبخیز تالاب کجی از طریق پیمایش‌های صحرائی تعیین شد. در پایش میدانی حوزه، ۱۳۸ مورد واقعه فرسایش شیاری بصورت تصادفی با استفاده از GPS ثبت شد. نقاط وقوع به

معمولاً در مطالعات فرسایش خاک، چارچوب استاندارد و منظمی برای تعیین و انتخاب عوامل موثر در مدل‌سازی دیده نمی‌شود، بنابراین بر مبنای بررسی پژوهش‌های مشابه ۱۴، ۲۱، ۲۸، ۳۰، ۹ متغیر مؤثر شامل ارتفاع از سطح دریا، بارش، تندی شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، بافت خاک، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی در فرایند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند و در ادامه در وقوع فرسایش شیاری به‌عنوان متغیرهای مستقل بر مبنای استعداد سنجی، تجزیه و تحلیل شد.

لایه‌های ارتفاع از سطح دریا، بارش، تندی شیب و جهت شیب، از مدل رقومی ارتفاعی ۵۰m در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 استخراج شد. درصد شیب بر سرعت جریان آب تأثیر می‌گذارد که در نتیجه، دامنه‌های با شیب تندتر

شیاری از نرم‌افزار آنتروپی بیشینه نسخه ۳/۳/۳ استفاده شد. نقاط مشاهده ای با فرمت CSV و همچنین لایه‌های مربوط به پارامترهای مؤثر، با فرمت ASCII به مدل معرفی شدند. از سطح زیر منحنی ROC به عنوان معیاری از عملکرد مدل به دست آمده در تشخیص نقاط وقوع فرسایش شیاری از نقاط شبه عدم وقوع استفاده گردید. نحوه همبستگی کیفی کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین در پنج طبقه (جدول ۱) تعریف شده است (۳۳). ضرایب مذکور بر اساس روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند.

$$s_e = \frac{T_p}{T_p + F_n} \quad (۳)$$

$$s_p = \frac{T_n}{T_n + F_p} \quad (۴)$$

$T_n$  و  $T_p$  سلول هایی هستند که به ترتیب، وقوع و عدم وقوع فرسایش شیاری را به درستی طبقه‌بندی کرده‌اند. ضرایب  $F_n$  و  $F_p$  نیز تعداد سلول هایی می‌باشند که در امر پیش‌بینی، دچار اشتباه در وقوع و عدم وقوع فرسایش شیاری شده‌اند.

از آزمون جک نایف برای شناسایی و اولویت‌بندی متغیرهای مستقل ۹ گانه بر پیش‌بینی نتایج، استفاده شد. آزمون جک نایف عوامل مؤثر را تعیین می‌کند و سهم هر یک از این عوامل را نشان می‌دهد. بدین منظور، متغیرهای مستقل به صورت جداگانه از مدل خارج شد و مدل با استفاده از بقیه متغیرها به عنوان عوامل ورودی اجرا شد. سپس، کارایی مدل ساخته شده با استفاده از کل متغیرهای مستقل در مقایسه با حالتی که مدل بر اساس سایر متغیرها ساخته شده است مورد سنجش قرار گرفت.

دو گروه آموزش و اعتبارسنجی با نسبت ۷۰ به ۳۰ طبقه‌بندی شد. از کل نقاط وقوع، ۹۷ واقعه به صورت اتفاقی برای آموزش مدل مرحله واسنجی و ۴۱ مورد با هدف اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. مجموعه داده‌های استفاده شده برای آموزش در مدل آنتروپی بیشینه به عنوان متغیرهای مستقل مورد استفاده قرار گرفت.

برای استفاده از مدل آنتروپی بیشینه به منظور تعیین فرسایش شیاری، ابتدا متغیرهای مستقل شامل عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش شیاری و متغیر وابسته که نقاط برداشتی هستند به نرم‌افزار آنتروپی بیشینه معرفی شدند. در این مرحله فقط از داده‌های فرسایش شیاری به منظور آموزش و واسنجی مدل استفاده شد. مدل آنتروپی بیشینه می‌تواند توزیع احتمالاتی داده‌های هر یک از لایه‌های ورودی را استخراج کند که در مدل، این توزیع‌ها بر اساس رابطه (۱) قابل محاسبه است (۲۰).

$$H(\hat{\pi}) = - \sum_{x \in X} \hat{\pi}(x) \ln \hat{\pi}(x) \quad (۱)$$

که  $H(\hat{\pi})$  مقدار آنتروپی توزیع احتمالاتی عامل،  $\ln$  لگاریتم طبیعی،  $x$  مقدار ارزش هر سلول و  $X$  مجموعه‌ای از داده‌های یک لایه ورودی است. توزیع احتمالاتی Gibbs برای هر یک از متغیرهای مستقل مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (۴).

$$q_{\lambda}(x) = \frac{e^{\lambda f(x)}}{Z_{\lambda}} \quad (۲)$$

که  $q_{\lambda}(x)$  تابع توزیع Gibbs،  $\lambda$  وزن متغیر،  $Z_{\lambda}$  ثابت نرمال کننده تابع Gibbs می‌باشند (۵). به منظور برآورد مناطق دارای پتانسیل وقوع فرسایش

جدول ۱. همبستگی کیفی کمی سطح زیر منحنی

همبستگی کیفی	همبستگی کمی
عالی	> ۰/۹
خیلی خوب	۰/۸-۰/۹
خوب	۰/۷-۰/۸
متوسط	۰/۶-۰/۷
ضعیف	۰/۶<

ارتفاعی بالاتر از ۱۷۰۰m، شیب‌های بین ۸ تا ۲۰٪، جهات شیب شرقی تا جنوبی، بارش سالانه بیشتر از ۱۵۰mm در سال، کاربری با مراتع ضعیف و پوشش کم تا متوسط گیاهان استپی، خاک عمدتاً شنی سنگریزه‌دار بر روی واحدهای تپه‌ای و فلات‌ها و تراس‌ها با واحد زمین‌شناسی مخروطه افکنه‌ای آبرفتی است (شکل‌های ۳ تا ۴). بعد از تهیه نقشه حساسیت فرسایش شیاری حوزه آبخیز تالاب کجی، نمودار ROC مراحل آزمایش و آزمون مدل بیشینه آنتروپی تهیه شد.

بنابراین، اهمیت متغیر مستقل حذف شده مورد بررسی قرار گرفت که چه تأثیری بر خروجی دارد. در انتها نیز درصد مشارکت در دو حالت همراه با دیگر متغیرهای و حذف دیگر متغیرها تعیین شد.

## نتایج

با توجه به تحلیل لایه‌های ورودی متغیرهای مستقل (جدول ۲ تا ۱۰) و نقشه حساسیت فرسایش شیاری مشخص شد که بیشترین فراوانی این نوع فرسایش در رقوم

جدول ۲. طبقات ارتفاعی حوزه آبخیز تالاب کجی

طبقات ارتفاعی (m)	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
کمتر از ۱۶۰۰	۱۱۵۳/۶	۴۵/۶
بین ۱۶۰۰ تا ۱۹۰۰	۹۴۰/۶	۳۷/۲
بین ۱۹۰۰ تا ۲۲۰۰	۳۹۹/۸	۱۵/۸
بین ۲۲۰۰ تا ۲۵۰۰	۳۲/۶	۱/۳
بیشتر از ۲۵۰۰	۰/۲	۰/۱

جدول ۳. طبقات تندی شیب حوزه آبخیز تالاب کجی

تندی شیب (%)	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
کمتر از ۸	۱۶۰۰/۵	۶۳/۶
بین ۸ تا ۲۰	۶۱۱/۰	۲۴/۳
بین ۲۰ تا ۴۵	۲۸۱/۰	۱۱/۲
بیشتر از ۴۵	۲۲/۸	۰/۹

جدول ۴. طبقات جهت شیب حوزه آبخیز تالاب کجی

جهت شیب	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
صاف و بدون شیب	۴۷/۹	۱/۹
شمالی و شمال شرقی	۶۳۰/۲	۲۵/۰
شرقی و جنوب شرقی	۷۰۲/۵	۲۷/۹
جنوب و جنوب غربی	۵۷۹/۹	۲۳/۱
غربی و شمال غربی	۵۵۴/۸	۲۲/۱

جدول ۵. طبقات بارش حوزه آبخیز تالاب کجی

بارش (mm)	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
بین ۱۰۰ تا ۱۳۰	۱۲۸۲/۴	۵۱/۰
بین ۱۳۰ تا ۱۵۰	۷۱۸/۳	۲۸/۵
بین ۱۵۰ تا ۱۷۰	۵۱۴/۷	۲۰/۵



جدول ۶. طبقات کاربری اراضی حوزه آبخیز تالاب کجی

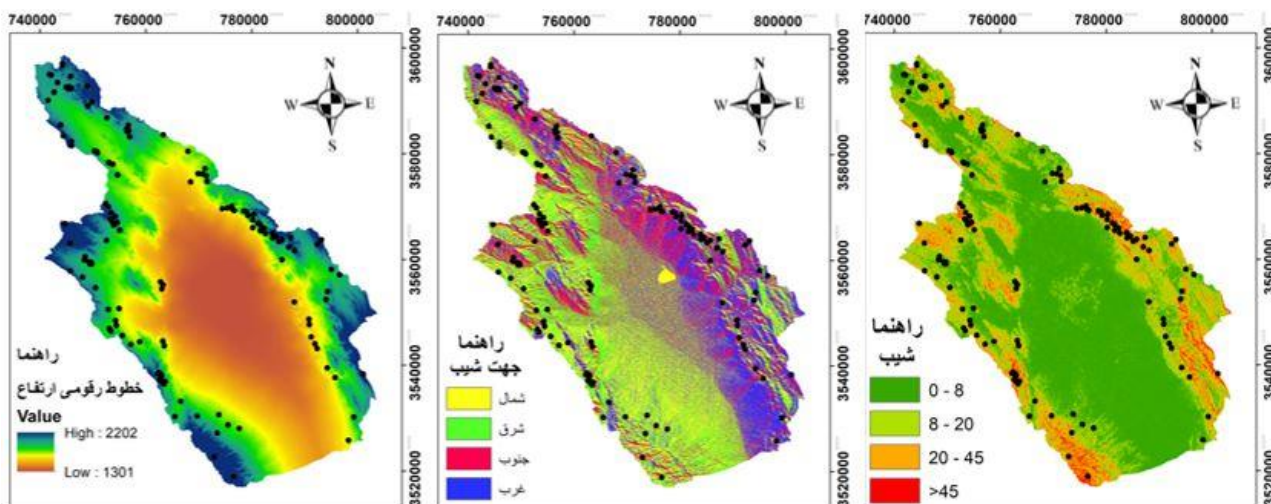
کاربری	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
اراضی شور	۶۸/۲	۲/۷
اراضی مرطوب	۷۸/۷	۳/۱
باغ	۷/۸	۰/۳
بدون پوشش	۴/۱	۰/۱۶
تاغزار	۵۱۰/۹	۲۰/۲۲
کشاورزی	۸۶/۴	۳/۴۲
مرتع متوسط	۸۹/۸	۳/۵۵
مرتع ضعیف	۱۶۸۰/۹	۶۶/۵۲

جدول ۷. طبقات پوشش گیاهی آبخیز تالاب کجی

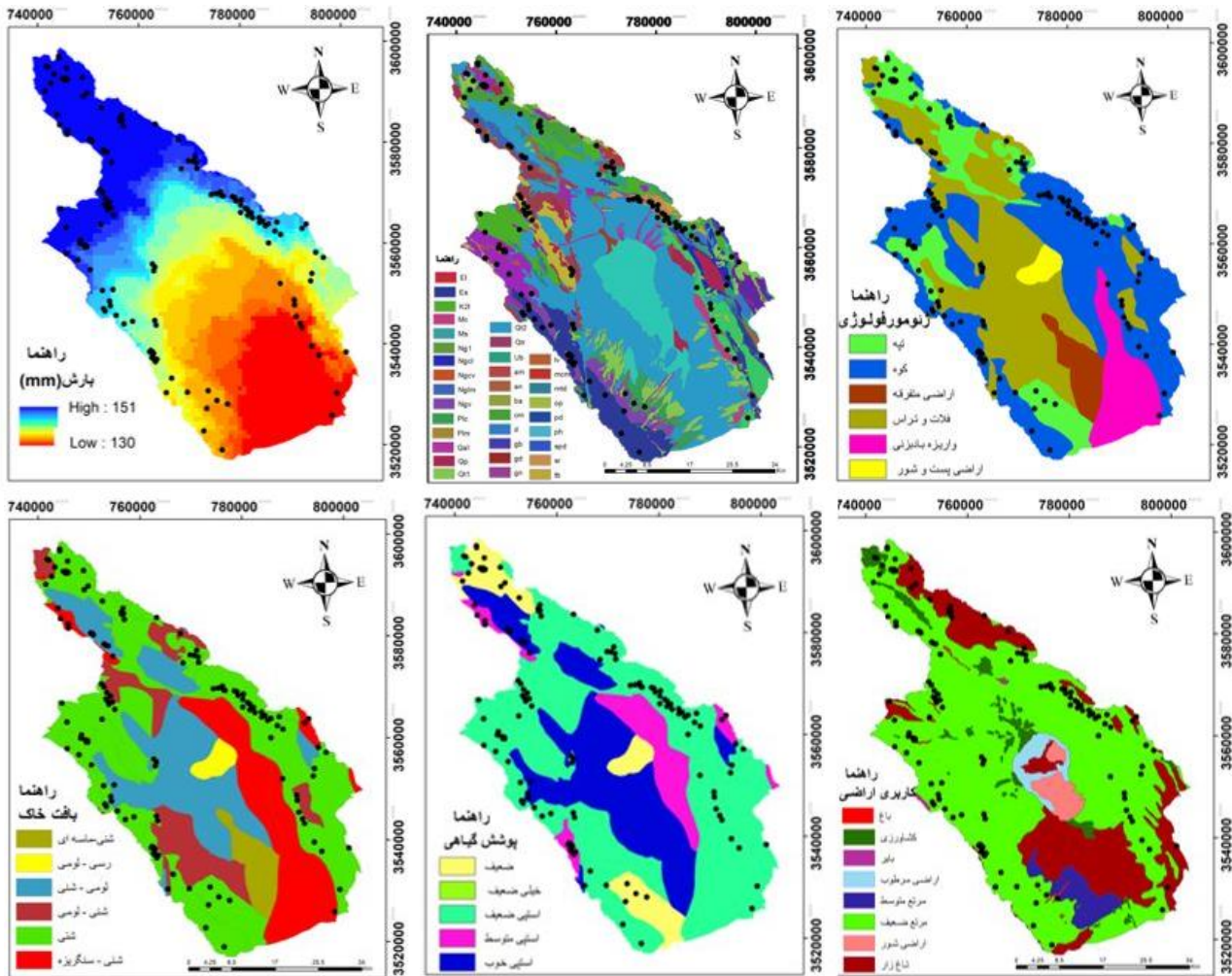
پوشش گیاهی	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
پوشش گیاهی بسیار پراکنده و لخت	۱۴۶/۵	۵/۷۱
پوشش گیاهی خیلی ضعیف غالباً لخت	۲۵۵/۲	۱۰/۱۳
پوشش گیاهی بسیار پراکنده گیاهان استپی	۱۳۱/۳	۵/۲۲
پوشش گیاهی کم تا متوسط گیاهان استپی	۱۵۷۹/۲	۶۲/۵۱
پوشش متوسط و بعضاً زیاد گیاهان استپی	۴۱۴/۴	۱۶/۴۳

جدول ۸. طبقات خاک حوزه آبخیز تالاب کجی

بافت خاک	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
شنی - رسی	۱۴۴/۰	۵/۷
لومی - رسی	۸۸/۴	۳/۵
لومی - شنی	۵۲۸/۱	۲۰/۹
شنی - لومی	۲۳۵/۰	۹/۳
شنی - سنگریزه	۱۱۴۷/۲	۴۵/۴
شنی	۳۸۴/۱	۱۵/۲



شکل ۳. لایه‌های ورودی به مدل MaxEnt



ادامه شکل ۳. لایه‌های ورودی به مدل MaxEnt

جدول ۹. طبقات ژئومورفولوژی حوزه آبخیز تالاب کچی

ژئومورفولوژی	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
اراضی متفرقه	۱۴۴/۰	۵/۷
اراضی پست و شور	۸۸/۴	۳/۵
تپه ها	۳۴۱/۱	۱۳/۵
فلات‌ها و تراس‌ها	۶۷۲/۱	۲۶/۶
کوه‌ها	۹۹۳/۰	۳۹/۳
واریزه‌های بادبزنی	۲۸۸/۱	۱۱/۴

جدول ۱۰. سازندهای زمین‌شناسی حوزه آبخیز تالاب کچی

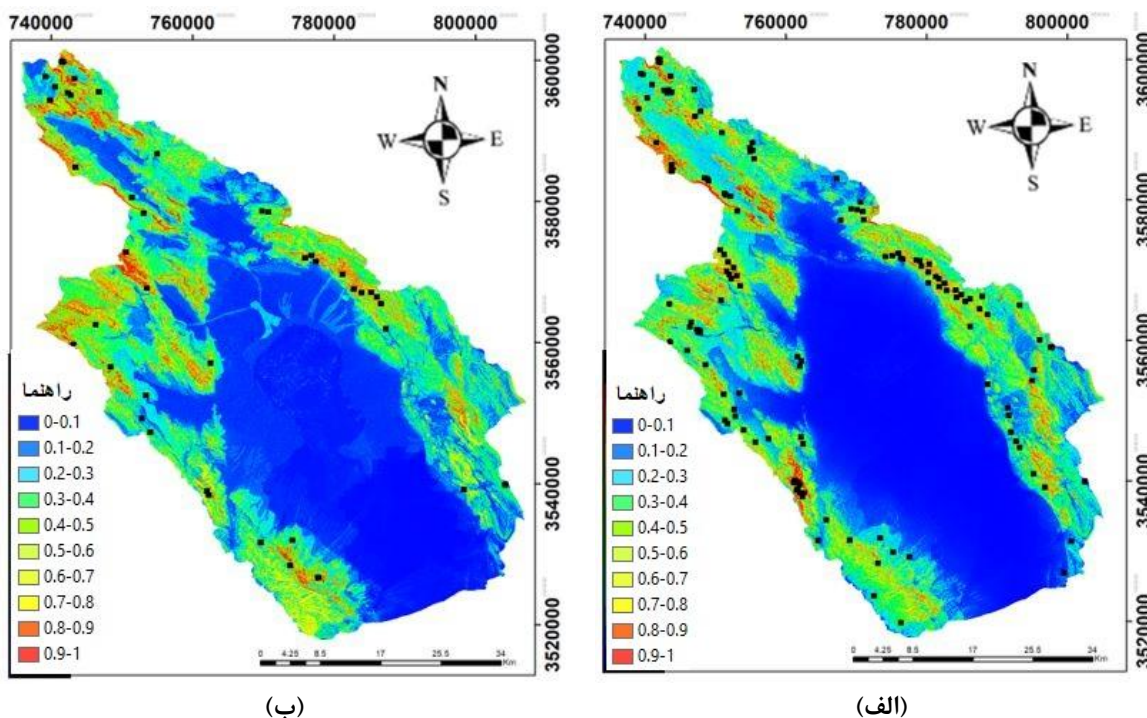
زمین‌شناسی	تشریح	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
Q2	پادگانه‌های آبرفتی جوان	۶۱۸/۳	۲۴/۵
Qt2	پادگانه‌ها و تراس‌های آبرفتی جوانتر	۲۶۰/۱	۱۰/۳
Qsf	کفه نمکی	۱۶۷/۱	۶/۶
Esh	شیل، ماسه سنگ، سنگ آهک تقریباً دگرگون شده	۱۴۷/۳	۵/۸
-	سایر واحدها	۱۳۳۴/۰	۵۲/۸

**تالاب کجی در مرحله آنتروپی بیشینه**

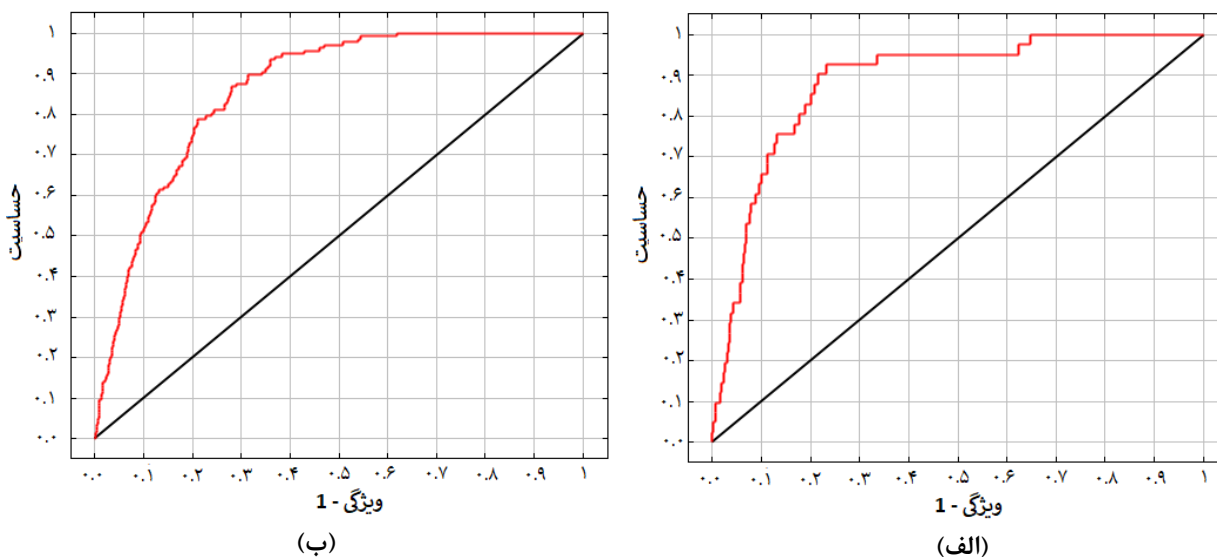
نتایج نشان داد سطح زیر منحنی در مرحله آزمایش برابر ۰/۸۸۵ و در مرحله آزمون برابر ۰/۸۵۹ است که بیانگر طبقه خیلی خوب می باشد (شکل ۵). به عبارت دیگر، نتایج نشان داد که مدل آنتروپی در تهیه نقشه حساسیت پذیری

فرسایش شیاری کارایی قابل قبولی دارد.

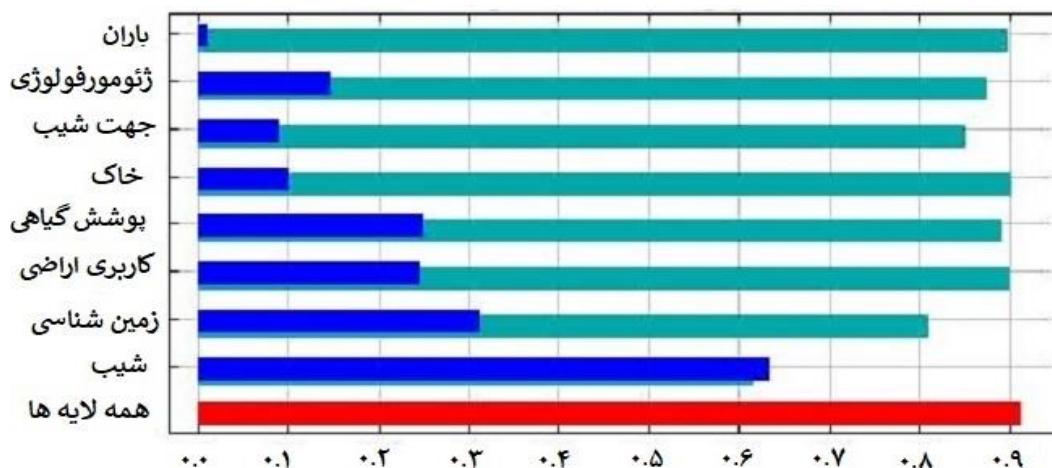
به منظور بررسی شناسایی و اولویت بندی عوامل اثرگذار ۹ گانه متغیرهای مستقل بر پیش بینی نتایج، آزمون جک نایف بر اساس حذف گام به گام متغیرهای مستقل مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶).



شکل ۴. نقشه حساسیت فرسایش شیاری حوزه آبخیز تالاب کجی در مرحله یادگیری مدل آنتروپی بیشینه (الف) و مرحله اعتبارسنجی فرسایش شیاری حوزه آبخیز (ب)



شکل ۵. نتایج نمودار ROC مراحل آموزش (الف) (AUC=0.885) و اعتبارسنجی (ب) مدل آنتروپی بیشینه (AUC=0.859)



شکل ۶. نتایج آزمون جک نایف در اولویت‌بندی متغیرهای مستقل

جدول ۱۱. درصد مشارکت عوامل اثرگذار ۹ گانه در فرسایش شیاری حوزه آبخیز تالاب کجی

عوامل	درصد مشارکت با حذف سایر عوامل	درصد مشارکت همراه با سایر عوامل
تندی شیب	۱۰۰	۴۱
زمین‌شناسی	۳۹	۱۶
پوشش گیاهی	۳۱	۱۳
کاربری زمین	۲۸	۱۲
ژئومورفولوژی	۱۸	۷
بافت خاک	۱۱	۵
جهت شیب	۱۰	۴
بارش	۳	۱
ارتفاع	۱	۰

## ■ بحث و نتیجه‌گیری

تعیین مناطق مستعد فرسایش از موضوعاتی است که باید با دقت و صحت بیشتر در حوزه‌های آبخیز کشور که دارای تنش بالا در انواع مختلف فرسایش خاک هستند بررسی شود. بدین منظور در پژوهش حاضر به تعیین مناطق مستعد فرسایش شیاری پرداخته می‌شود که با توجه به حساسیت بالای اراضی حوزه آبخیز تالاب کجی شهرستان نهبندان به فرسایش شیاری، این منطقه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. تاکنون در حوزه آبخیز تالاب کجی نهبندان تعیین مناطق مستعد فرسایش شیاری با استفاده از روش آنتروپی بیشینه انجام نشده است که ضرورت دارد به منظور شناسایی عوامل اثرگذار در شکل‌گیری این نوع فرسایش و همچنین شناسایی مناطق مستعد آن، پژوهشی انجام شود. از طرفی موضوعاتی که با تشخیص مدل احتمال روبرو هستند، می‌توانند با روش حداکثر آنتروپی حل شوند.

به همین دلیل در پژوهش حاضر، اقدام به اجرای مدل حداکثر آنتروپی گردید.

با توجه به نتایج و مباحث صورت گرفته، مشخص شد مدل آنتروپی بیشینه بر مبنای شاخص ROC دارای عملکرد خوبی در نقشه حساسیت فرسایش شیاری حوزه آبخیز تالاب کجی بوده است. به طوری که مقدار AUC در مرحله آموزش معادل ۰/۸۸۵ و در مرحله اعتبارسنجی برابر ۰/۸۵۹ می‌باشد که بیانگر طبقه خیلی خوب است. بنابراین آنتروپی بیشینه قادر به تولید نقشه حساسیت‌پذیری فرسایش شیاری در این منطقه می‌باشد. این نتایج با نتایج مطالعاتی (۳، ۸، ۹، ۱۰، ۲۵، ۲۳، ۲۶، ۲۷، ۳۲) که از این مدل به عنوان ابزاری مؤثر در تهیه نقشه حساسیت‌پذیری خطرات طبیعی نظیر فرسایش آب‌کند، زمین‌لغزش، رواناب و محیط زیست استفاده نموده‌اند، مطابقت دارند.

مطالعات مشابه (۳۰) مطابقت دارد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز تالاب کجی، بیشترین فراوانی فرسایش شیبی بر روی واحد زمین‌شناسی مخروطه افکنه‌ای آبرفتی اختصاص دارد که عامل مهمی در ایجاد و توسعه فرسایش منطقه است. سطح وسیعی از حوزه آبخیز تالاب کجی به کاربری مرتعی ضعیف اختصاص دارد که عامل مهمی در حساسیت به فرسایش شیبی است. بنابراین به منظور کاهش پتانسیل خاک در برابر فرسایش خاک، مدیریت پوشش گیاهی و مراتع حوزه آبخیز تالاب کجی، ضروری است. طبق نتایج، بافت خاک منطقه اثر کمتری بر توسعه فرسایش شیبی داشت؛ چرا که بیشتر خاک منطقه مربوط به بافت شنی - سنگریزه است که اثر پایینی در فرسایش شیبی دارد.

در کل، نتایج مدل‌سازی به منظور پیش‌بینی فرسایش شیبی در حوزه آبخیز تالاب کجی، بیانگر دقت مدل مذکور بود. مهمترین دستاورد پژوهش این بود که با تعداد عوامل کمتر که اهمیت بیشتری در شکل‌گیری و توسعه فرسایش شیبی دارند نیز می‌توان نقشه حساسیت‌پذیری با دقت قابل قبول تهیه کرد. ضمن اینکه ضروری است مدل آنتروپی بیشینه به‌منظور تدوین برنامه‌ریزی کاربری اراضی و مدیریت خطرات فرسایش در سایر حوزه‌های آبخیز کشور نیز بررسی و ارزیابی شود. در انتها پیشنهاد می‌شود با توجه به توسعه روز افزون مدل‌های هوشمند، از مدل‌هایی نظیر جنگل تصادفی و ماشین بردار در مقایسه با روش حداکثر آنتروپی برای پیش‌بینی فرسایش شیبی حوزه آبخیز تالاب کجی استفاده شود.

### ■ سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند می‌باشد. بدینوسیله از دانشگاه بیرجند تقدیر و تشکر می‌شود.

آزمون جک نایف مشخص نمود تندی شیب به عنوان مهم‌ترین فاکتور محیطی در نقشه حساسیت‌پذیری پیش‌بینی شده برای فرسایش شیبی در منطقه مطالعاتی می‌باشد. زمین‌شناسی و پوشش گیاهی نیز به عنوان دیگر عوامل مهم شناخته شدند (شکل ۶). به عبارتی، تندی شیب و زمین‌شناسی مهم‌ترین عامل در مدل‌سازی حساسیت‌پذیری فرسایش شیبی عوامل است که با نتایج مطالعات مشابه (۲۱) مطابقت دارد. این در حالی است که عامل ارتفاع کمترین تأثیر را در فرایند مدل‌سازی داشت. همچنین با توجه به اهمیت پوشش گیاهی بعد از عوامل تندی شیب و واحدهای زمین‌شناسی، در پژوهش‌های دیگر (۱۴، ۳۱) نیز نتیجه گرفته شد که عامل پوشش گیاهی نقش بارزی در کنترل فرسایش خاک دارد. از طرفی بافت خاک در این منطقه، از اهمیت کمتری به جهت اثرگذاری در تولید و توسعه فرسایش شیبی دارد. مطابق با پژوهشی مشابه (۱۷) شن و سنگدانه‌های سطح خاک از جمله مهمترین عواملی هستند که میزان فرسایش خاک را کنترل می‌کنند. بیشترین درصد مشارکت با حذف سایر عوامل به ترتیب با ۱۰۰ و ۳۹٪ مربوط به تندی شیب و واحدهای زمین‌شناسی است. همچنین همراه با سایر عوامل درصد مشارکت این دو عامل به ترتیب برابر ۴۱ و ۱۶٪ است. طبق نتایج این بخش، بارش و ارتفاع کمترین اهمیت و درصد مشارکت را داشتند (جدول ۲).

طبق نتایج آزمون جک نایف، عامل تندی بیشترین اهمیت را بر فرسایش شیبی حوزه آبخیز تالاب کجی است. به طوری که درصد مشارکت این عامل با حذف سایر پارامترها برابر ۱۰۰٪ و همراه با سایر عوامل برابر ۴۱٪ است. به عبارتی، می‌توان تنها با در اختیار داشتن داده‌های تندی شیب، پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش شیبی را در حوزه مطالعاتی انجام داد. همانطور که در بخش نتایج مشخص شد، با توجه به فراوانی زیاد طبقه شیب کمتر از ۲۰٪ در منطقه، به نظر می‌رسد شیب‌های کمتر از ۲۰٪ عامل مهمی در توسعه فرسایش شیبی باشند که با نتایج

### ■ References

1. Bewket, W. & Teferi, E. (2009). Assessment of soil erosion hazard and prioritization for treatment at the watershed level: case study in the Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 20(6), 609-622. DOI: doi.org/10.1002/ldr.944

2. Bou-imajjane, L., Belfoul, M.A., Elkadiri, R. & Stokes, M. (2020). Soil erosion assessment in a semi-arid environment: a case study from the Argana Corridor, Morocco. *Environmental Earth Sciences*, 79,1-14. DOI: doi.org/10.1007/s12665-020-09127-8
3. Chuma, G.B., Mugumaarhahama, Y., Mond, J.M., Bagula, E.M., Ndeko, A.B., Lucungu, P.B., Karume, K., Mushagalusa, G.N., & Schmitz, S. (2023). Gully erosion susceptibility mapping using four machine learning methods in Luzinzi watershed, eastern Democratic Republic of Congo. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 129(2), 103295. DOI: doi.org/10.1016/j.pce.2022.103295
4. Elith, J.S., Phillips, T., Hastie, M., Dudík, Y., Chee, L., & Yates, C. (2010). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Journal of Diversity and Distributions*. 17(1), 43–57. DOI: doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x
5. Graham, C.H., Elith, J., Hijmans, A.J., Guisan, A., Peterson, A.T., & Loiselle, B.A. (2008). The influence of spatial errors in species occurrence data used in distribution models. *Journal of Applied Ecology*. 45(1), 239–247. DOI: doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01408.x
6. Hosseinpour, R., Onagh, M., Komaki, B., & Ramazani gask, M. (2017). Hazard assessment of desertification using the MICD model: a case study of Kaji pond watershed in Nehbandan, Iran. *Desert Ecosystem Engineering*. 6(14), 33-44. DOI: doi:10.22052/6.14.33 [In Persian]
7. Jiang, F., Zhan, Z., Chen, J., Lin, J., Wang, MK., Ge, H., & Huang, Y. (2018). Rill erosion processes on a steep colluvial deposit slope under heavy rainfall in flume experiments with artificial rain. *Catena*. 169(1), 46-58. DOI: doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.023
8. Jiao, Y., Zhao, D., Ding, Y., Liu, Y., Xu, Q., Qiu, Y., Liu, C., Liu, Z., Zha, Z., & Li, R. (2019). Performance evaluation for four GIS-based models purposed to predict and map landslide susceptibility: A case study at a World Heritage site in Southwest China. *Catena*. 183(1), 104221. DOI: doi.org/10.1016/j.catena.2019.104221
9. Kerekes, A.H., Poszet, S.L., & Gal, A. (2018). Landslide susceptibility assessment using the maximum entropy model in a sector of the Cluj– Napoca Municipality, Romania. *Revista de Geomorfologie*. 20(2), 130-146. DOI: doi.org/10.21094/rg.2018.039
10. Li, Z., Liu, Y., & Zeng, H. (2022). Application of the MaxEnt model in improving the accuracy of ecological red line identification: A case study of Zhanjiang, China. *Ecological Indicators*, 137(1), 108767. DOI: doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108767
11. Lowe, M.A., McGrath, G. & Leopold, M. (2021). The impact of soil water repellency and slope upon runoff and erosion. *Soil and Tillage Research*, 205(1), 104756. DOI: doi.org/10.1016/j.still.2020.104756
12. Madadi, A., Asghari Saraskanroud, S., Negahban, S., & Marhamat, M. (2022). Evaluation of gully erosion sensitivity using maximum entropy model in Shoor river watershed (Mohr Township). *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 11(3), 123-145. DOI: doi.org/10.22067/geoeh.2022.76707.1228 [In Persian]
13. Maeda, E.E., Pellikka, P.K., Siljander, M. & Clark, B.J. (2010). Potential impacts of agricultural expansion and climate change on soil erosion in the Eastern Arc Mountains of Kenya. *Geomorphology*, 123(4), 279-289. DOI: doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.07.019
14. Maerker, M., Bosino, A., Scopesi, C., Giordani, P., Firpo, M., & Rellini, I. (2020). Assessment of calanchi and rill-interrill erosion susceptibility in northern Liguria, Italy: A case study using a probabilistic modelling framework. *Geoderma*, 371(1), 114367. DOI: doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114367

15. Munro, R.N., Deckers, J., Haile, M., Grove, A.T., Poesen, J. & Nyssen, J. (2008). Soil landscapes, land cover change and erosion features of the Central Plateau region of Tigray, Ethiopia: Photo-monitoring with an interval of 30 years. *Catena*, 75(1), 55-64. DOI: doi.org/10.1016/j.catena.2008.04.009
16. Nekooimehr, M., Yousefi, S. & Emami, S.N. (2022). Identify the important driving forces on gully erosion, Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. *In Computers in Earth and Environmental Sciences*. 21(2). 191-197. DOI: doi.org/10.1016/B978-0-323-89861-4.00012-9
17. Ni, S., Zhang, Z., Wang, J., & Cai, C. (2022). Linking rill development characteristics to sediment production on different coarse-textured granite topsoils. *Catena*, 214(2), 106295. DOI: doi.org/10.1016/j.catena.2022.106295
18. Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Meusburger, K., Ballabio, C., Lugato, E., Montanarella, L. & Alewell, C. (2016). Reply to the comment on “The new assessment of soil loss by water erosion in Europe” by Fiener & Auerswald. *Environmental Science & Policy*, 57(1), 143-150. DOI: doi.org/10.1016/j.envsci.2015.12.011
19. Park, N.W. (2015). Using maximum entropy modeling for landslide susceptibility mapping with multiple geoenvironmental datasets. *Environment Earth Science*, 73(3), 937-949. DOI: doi.org/10.1007/s12665-014-3442-z
20. Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190, 231–259. DOI: doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
21. Pournader, M., Feiznia, S., Ahmadi, H., Karimi, H., & Peirovan, H. (2020). Assessing the stability of maximum entropy prediction for rill erosion modelling. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 9(2), 123-139. [In Persian]
22. Sadeghi, S.H.R. (2017). Soil erosion in Iran: state of the art, tendency and solutions. *Poljoprivreda i Sumarstvo*, 63(3), 33-37. DOI: doi.org/10.17707/AgricultForest.63.3.04
23. Shahbazi A, Vakili Tajareh F, Alvandi E, Bayat A, & Asadi Nalivan O. (2021). Assessment of artificial neural network models and maximum entropy in zoning of gully erosion sensitivity of golestan dam Basin. *Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 15(52), 12-23. [In Persian]
24. Shirani K., & Naderi Samani, R. (2022). Prioritization of effective parameters and landslide susceptibility zonation using maximum entropy and dempster shafer in Doab Samsami, Chaharmahal Bakhtiyari. *Range and Watershed Management*, 75(1), 51-72. DOI: doi.org/10.22059/jrwm.2022.324882.1592 [In Persian]
25. Singh, K.R., Ajays, R.D., & Kumar, K.B. (2019). An investigation on water quality variability and identification of ideal monitoring locations by using entropy based disorder indices. *The Total of Environment*, 647(3), 1444-1455. DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.463
26. Teimouri, M., & Asadi Nalivan, O. (2020). Susceptibility zoning and prioritization of the factors affecting landslide using MaxEnt, geographic information system and remote sensing models (Case study: Lorestan province). *Hydrogeomorphology*, 6(21), 155-179. [In Persian]
27. Teimurian, T., Nazari Samani, A., Feiznia, S., Ahmadaali, K., & Soleimanpour, S. M. (2022). Determining the spatial distribution of gully erosion probability using the MaxEnt model. *Watershed Management Research Journal*. 35(2), 2-15. DOI: doi.org/10.22092/wmrj.2021.354647.1415 [In Persian]
28. Vaezi A R, Sahandi K., & Sadeghian N. (2020). Determination of susceptibility to rill and interrill erosion of some semi-arid soils using rainfall simulator in laboratory conditions. *Journal of Water and Soil Science*. 24(2), 1-11. DOI: doi.org/10.47176/jwss.24.2.133013 [In Persian]

29. Vaezi A, & Mohammadi E. (2022). Temporal variation pattern of runoff generation and rill erosion in different soils and slope gradients. *Journal of Water and Soil Science*. 25(4), 19-31. DOI: doi/10.47176/jwss.25.4.12741 [In Persian]
30. Vaezi, A.R., Gharehdaghi, H., & Marzvan, S. (2016). The role of slope steepness and soil properties in rill erosion in the hillslopes (a case study: Taham Chai catchment, NW Zanjan). *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(4), 83-100. DOI: doi.org/10.22069/jwfst.2016.8978.2280 [In Persian]
31. Wildhaber, Y. S., D. Banninger, K. & Burri, C. Alewell. (2012). Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland. *Catena*, 91(2), 56-62. DOI: doi.org/10.1016/j.catena.2011.03.004
32. Zakerinejad, R., & Amoshahi, N. (2022). Assessment of landslide hazard using remote sensing data and the maximum entropy model (Case Study: Kome watershed, in south of Isfahan Province). *Quantitative Geomorphological Research*. 11(2), 128-149. DOI: doi/10.22034/gmpj.2022.340900.1349 [In Persian]
33. Zhu, C., & Wang, X. (2009). Landslide susceptibility mapping: A comparison of information and weights-of-evidence methods in Three Gorges Area. *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. 187(2), 342-346. DOI: doi.org/10.1109/ESIAT.2009.187