

The site selection of check dams using machine learning model in Dehdar watershed

Mehdi Teimouri¹, Asghar Bayat², Ali Shahbazi², Omid Asadi Nalivan^{*3}

1- Department of Nature Engineering, Shirvan Faculty of Agriculture, University of Bojnord, Bojnord, Iran

2- Office of Natural Resources and Watershed Management of Alborz Province, Alborz, Karaj, Iran

3- Ph.D. in Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

* Corresponding author; omid.asadi@ut.ac.ir

(Received: 05 Febury 2024

Revised: 18 March 2024

Accepted: 17 April 2024)

Extended Abstract

Introduction: Soil erosion and water crisis are among the most significant threats that endanger the security of water and soil in the country. In order to address these problems, measures are being taken to soil and water conservation. The most important stage in implementing these plans is the structural measures of watershed management, which involves identifying the correct locations for implementing these plans. Proper site selection of check dams has a significant impact on reducing the cost of watershed activities and increasing their effectiveness. Traditional methods of locating check dams based on more information layers and the need for their integration and analysis are difficult and may result in errors, while modern and highly efficient data mining methods based on the quality and quantity of data and machine learning have been introduced. In this study, the maximum entropy (MaxEnt) model was used to locate check dams in the Dehdar Taleghan watershed.

Materials and methods: The Dehdar Taleghan watershed is located in the north of Alborz province, with variable elevation from the highest point at 4050 meters above sea level to the outlet of the watershed at 2248 meters. There are two villages located within the basin, which covers an area of 4780 hectares. The locations of existing and proposed check dams were extracted based on the database of implemented check dams in the Natural Resources and Watershed Management head office of Alborz province and the mechanical check dams' manuals of detailed-executive studies. In this study, 14 factors that affect the placement of watershed check dams including DEM, slope, distance from stream, roads, and faults, density of stream, roads, and faults, lithology, land use, stream power, stream rank, flow accumulation, and precipitation were used to determine suitable locations. The multicollinearity was checked using the variance inflation factor (VIF) and tolerance index. After confirming the absence of multicollinearity between variables, the existing check dam's points were randomly divided into training data (70%) and validation data (30%). The importance of each variable in explaining the model was determined using the MaxEnt model and the Jackknife plot, which was performed using MaxEnt software. In this study, the performance of the model in the training and validation stages was evaluated using the receiver operating characteristic (ROC) curve and its area under the curve (AUC).

Results and Discussion: The results showed that there is no linear relationship between the factors, and therefore all factors were used in the modeling process. The results of the Jackknife plot showed that distance from streams, slope, flow accumulation, stream order, elevation, mean precipitation, and lithology were the most important factors affecting the visibility of check dams, and they had a significant impact on predicting areas with potential for check dam construction. The accuracy of the model prediction was excellent in both the training (0.959) and validation (0.961) stages. Field surveys confirmed that the model accurately identified critical streams in terms of flooding and sedimentation, with a total of 30.3 kilometers of critical and supercritical stream identified. During various field visits, 11 check dams were identified in the studied streams. It is worth noting that the final map (critical areas) and the visibility of check dams, as assessed by consulting companies in detailed executive studies, had a 92% level of agreement, demonstrating the high accuracy of machine learning models for predicting check dam's visibility.

Conclusions: In this study, a map of suitable areas for check dam's construction in the Dehdar Taleghan watershed was prepared using the MaxEnt model, taking into account influential environmental variables. The ROC curve showed that the model's accuracy in estimating areas with potential for check dam's construction was excellent in both the training and validation stages, indicating excellent model performance. Based on the results, it can be said that the MaxEnt model has a high ability to determine areas with potential for check dam's construction. Due to its speed and high accuracy, the model is recommended for use in similar studies, especially in developing countries facing a shortage of facilities and financial resources. Combining geographic information systems with modern machine learning models to determine areas with potential for check dam's construction, especially in developing countries like Iran is recommended.

Keywords: Check dams, Erosion, Site Selection, Maximum Entropy, Sediment

Citation: Teimouri, M., Bayat, A., Shahbazi, A., & Asadi Nalivan, O. (2024). The site selection of check dams using machine learning model in Dehdar watershed. *Integrated Watershed Management*, 4(3), 14-29. doi: 10.22034/iwm.2024.2021371.1126

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با استفاده از مدل یادگیری ماشین در حوزه آبخیز دهر

مهدی تیموری^۱، اصغر بیات^۲، علی شهبازی^۳، امید اسدی نلیوان^{۳*}

۱- گروه آموزشی مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

۲- اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز، کرج، ایران

۳- دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

* نویسنده مسئول: omid.asadi@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

چکیده مبسوط

مقدمه: فرسایش خاک و بحران آب از مهم‌ترین تهدیداتی است که امنیت آب‌و‌خاک کشور را به خطر انداخته است. به‌منظور حل این مشکلات، اقدامات حفاظت خاک و آب در حال انجام است. مهم‌ترین مرحله اقدامات سازه‌های آبخیزداری، شناسایی درست مکان‌های موردنیاز جهت اجرای این طرح‌ها است. مکان‌یابی صحیح سازه‌های آبخیزداری، تأثیر فراوانی در کاهش هزینه فعالیت‌های آبخیزداری و افزایش اثربخشی دارد. مکان‌یابی با تکیه بر روش‌های سنتی با توجه به حجم لایه‌های اطلاعاتی و لزوم تلفیق و تحلیل آن‌ها، دشوار بوده و ضمن صرف وقت و هزینه زیاد، ممکن است موجب بروز خطا گردد. ازجمله روش‌های نوین و با کارایی زیاد روش‌های داده‌کاوی مبتنی بر کیفیت و کمیت داده‌ها بوده و مبتنی بر یادگیری ماشین (Machine Learning) است. در این پژوهش از مدل حداکثر آنتروپی به‌منظور مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری در حوزه آبخیز دهر طالقان استفاده شد.

مواد و روش‌ها: حوزه آبخیز دهر طالقان با مساحت ۴۷۸۰ هکتار در شمال استان البرز واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا از بلندترین نقطه با ارتفاع ۴۰۵۰ متر تا خروجی حوزه با ارتفاع ۲۲۴۸ متر متغیر است. برای انجام این تحقیق، ابتدا بر اساس بانک اطلاعاتی سازه‌های اجراشده موجود در اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز و کتابچه سازه‌های مکانیکی مطالعات تفصیلی-اجرائی، محل سازه‌های اجراشده و پیشنهادی (مطالعات تفصیلی-اجرائی) استخراج گردید. در تحقیق حاضر جهت تعیین مناطق مناسب سازه‌های آبخیزداری از ۱۴ عامل مؤثر در جانمایی سازه‌ها شامل مدل رقومی ارتفاعی، شیب، فاصله از آبراهه، جاده و گسل، تراکم آبراهه، جاده و گسل، سنگ‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری اراضی، شاخص قدرت آبراهه، رتبه آبراهه، تجمع جریان و بارندگی استفاده شده است. بررسی عدم وجود هم‌خطی چندگانه با استفاده از عامل تورم واریانس (VIF) و شاخص ضریب تحمل (Tolerance) انجام شد. پس از بررسی عدم وجود هم‌خطی بین متغیرها، نقاط سازه‌های موجود، با استفاده از روش تصادفی به دو دسته داده‌های مدل‌سازی (آموزش، ۷۰ درصد) و داده‌های اعتبارسنجی (آزمون، ۳۰ درصد) تقسیم شدند. میزان اهمیت هر یک از متغیرهای بکار رفته در تعیین مدل با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی و با استفاده از نمودار چکناکاف (Jackknife) تعیین و انجام این فرآیند در نرم‌افزار MaxEnt انجام شد. در این پژوهش، کارایی مدل در مراحل آموزش و اعتبارسنجی با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد گیرنده (ROC) و سطح زیر منحنی آن (AUC) ارزیابی شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که بین عوامل هم‌خطی وجود ندارد و لذا کلیه عوامل در روند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از نمودار چکناکاف نشان داد که به‌ترتیب عوامل فاصله از آبراهه، شیب، تجمع جریان، رتبه آبراهه، ارتفاع، میانگین بارندگی و لیتولوژی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر جانمایی سازه‌های آبخیزداری هستند و در پیش‌بینی مناطق دارای پتانسیل احداث سازه تأثیرگذار بوده‌اند. میزان دقت پیش‌بینی مدل در هر دو بخش آموزش (۰/۹۵۹) و اعتبارسنجی (۰/۹۶۱) عالی بوده است. نتایج بازبازرسی میدانی نشان داد که در تمامی آبراهه‌های موردبررسی، مدل به‌درستی و با دقت بسیار زیاد آبراهه‌های بحرانی را به لحاظ آورد سیل و رسوب تشخیص داده است. در ادامه و در طی بازبازرسی‌های مختلف تعداد ۱۱ سازه آبخیزداری (۶ مورد سازه سنگ و ملات، ۵ مورد سازه گابیونی) در آبراهه‌های مورد بازبازرسی جانمایی شد. لازم به ذکر است که میزان انطباق نقشه نهایی (مناطق بحرانی) و جانمایی سازه‌های آبخیزداری شرکت‌های مشاور در قالب مطالعات تفصیلی-اجرائی میزان ۹۲ درصد بوده است که دقت بالای مدل‌های یادگیری ماشینی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش نقشه مناطق مناسب احداث سازه‌های آبخیزداری حوزه آبخیز دهر طالقان با در نظر گرفتن متغیرهای محیطی تأثیرگذار و با مدل حداکثر آنتروپی تهیه شد. منحنی ROC نشان داد که دقت مدل در برآورد کردن مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی عالی بوده است که به معنای عملکرد عالی مدل است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که مدل MaxEnt توانایی زیادی در تعیین مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری دارد. به دلیل سرعت و دقت زیاد مدل پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های مشابه به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه که با کمبود امکانات و منابع مالی مواجه هستند استفاده شود. ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی با مدل‌های نوین یادگیری ماشین به‌منظور تعیین مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌ها مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه مثل ایران پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بندهای اصلاحی، حداکثر آنتروپی، رسوب، فرسایش، مکان‌یابی.

استناد: تیموری، م.، بیات، ا.، شهبازی، ع.؛ و اسدی نلیوان، ا. (۱۴۰۳). مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با استفاده از مدل یادگیری

ماشین در حوزه آبخیز دهر. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۳)، ۲۹-۱۴.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.



مقدمه

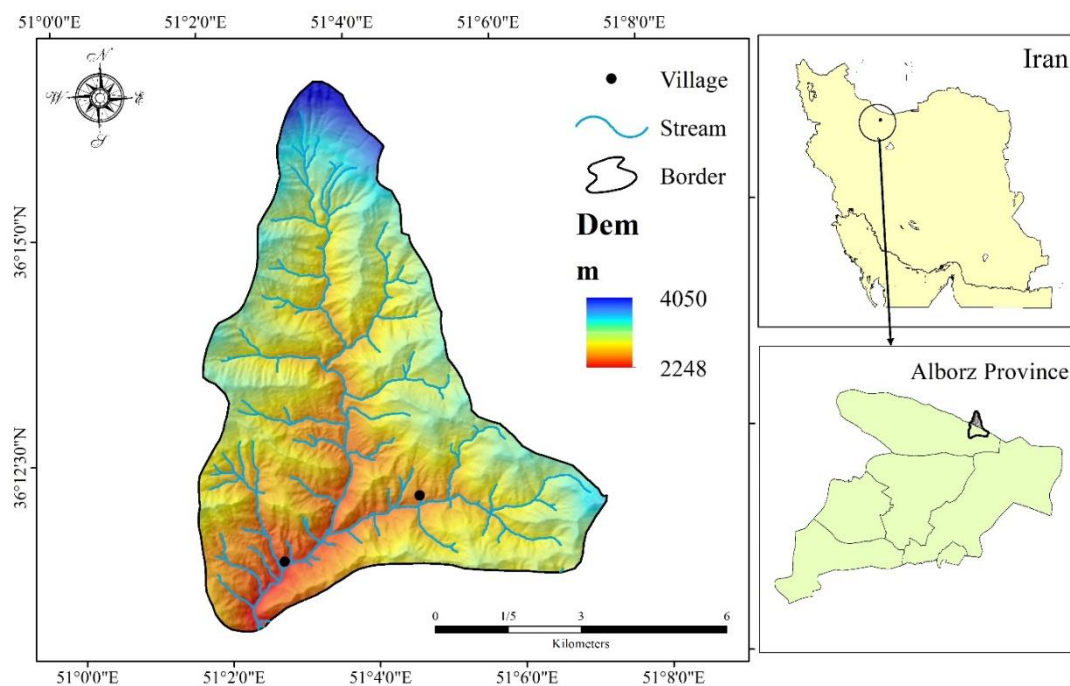
یکی از مسائل مهم در حوزه‌های آبخیز، فرسایش خاک در زمان سیلاب‌ها و انتقال بار رسوب به پایین‌دست رودخانه‌ها است. به‌منظور حل این مشکلات، اقدامات حفاظت خاک و آب در قالب برنامه‌های مختلف آبخیزداری شامل اقدامات سازه‌ای (بیومکانیکی و مکانیکی)، مدیریتی و بیولوژیکی در سطح حوزه‌های آبخیز کشور در حال انجام است (Azari & Sepehri, 2018). اجرای طرح‌های آبخیزداری، به‌عنوان اولویتی زیرساختی، نقش مهمی در کاهش تخریب‌های ناشی از جاری شدن روان آب‌ها و سیلاب‌ها ایفا می‌کند. ازجمله راه‌کارهای زودبازده جهت کاهش دبی اوج سیلاب از سوی دستگاه‌های متولی امر احداث بندهای اصلاحی است که علاوه بر مهار فرسایش در آبراهه‌ها سبب کاهش شیب آبراهه‌ها، کاهش سرعت جریان، تثبیت پروفیل طولی، افزایش زمان تمرکز و تأخیر و متعاقباً کاهش دبی اوج سیلاب می‌شود. مهم‌ترین مرحله اجرای طرح‌های بیومکانیکی و مکانیکی به‌عنوان اقدامات سازه‌ای آبخیزداری، شناسایی درست مکان‌های موردنیاز جهت اجرای این طرح‌ها است (Alocén et al., 2022; Yahya et al., 2022). مکان‌یابی صحیح سازه‌های آبخیزداری، تأثیر فراوانی در کاهش هزینه فعالیت‌های آبخیزداری و افزایش اثربخشی دارد (Souri et al., 2016). مکان‌یابی با تکیه بر روش‌های سنتی با توجه به حجم لایه‌های اطلاعاتی و لزوم تلفیق و تحلیل آن‌ها، دشوار بوده و ضمن صرف وقت و هزینه زیاد، ممکن است موجب بروز خطا گردد (Souri et al., 2016). در حال حاضر شناسایی مکان‌های موردنیاز جهت احداث سازه‌های آبخیزداری به‌صورت سنتی و عمدتاً بر مبنای بازدیدهای صحرائی و وابسته به نظر کارشناسان مکان‌یابی بوده و کمتر به نتایج مطالعات پایه پروژه‌های تفصیلی-اجرایی آبخیزداری به‌عنوان مطالعات همه‌جانبه‌نگر توجه می‌شود. نظر به اینکه معیارها و عوامل متعددی در انتخاب مکان مناسب برای احداث سازه‌های آبخیزداری دخالت دارند، استفاده از

روش‌های نوین و با کارایی زیاد به‌منظور مکان‌یابی سازه‌ها با استفاده از نتایج مطالعات پایه و تخصصی پروژه‌های تفصیلی-اجرایی آبخیزداری جهت افزایش دقت، صرفه‌جویی در وقت و همچنین کاهش هزینه ناشی از بازدیدهای میدانی طولانی‌مدت، حائز اهمیت فراوان است (Zare Bidaki et al., 2021). ازجمله روش‌های نوین و با کارایی زیاد، روش‌های داده‌کاوی مبتنی بر کیفیت و کمیت داده‌ها و همچنین مبتنی بر یادگیری ماشین (Machine Learning) است (Davoudi Moghaddam et al., 2020; Santoso & Darsono, 2019; Shao et al., 2020; Mahesh, 2020). Rahmati و همکاران (۲۰۱۹) از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و به کمک نرم‌افزار توسعه داده‌شده مکان‌یابی سایت‌های مناسب برای سازه‌های آبخیزداری در حوزه آبخیز پلدختر واقع در استان لرستان استفاده کردند. شاخص‌های مورداستفاده در این تحقیق شامل TWI, TRI, TPI, STI, SPI, شیب، تراکم زهکشی و رتبه آبراهه‌ها بودند. این مطالعه نشان داد که با توجه به ارزیابی مدل بر اساس شاخص ROC، نتایج مدل قابل‌قبول بوده است. Al-Ruzouq و همکاران (۲۰۱۹) در شارجه به‌منظور تهیه نقشه مکان‌های مناسب احداث سد با استفاده از تکنیک‌های تلفیقی AHP-GIS با مدل‌های یادگیری ماشین، سه مدل RF, GBT و SVM را بکار گرفتند. در این تحقیق ۹ معیار مورد بررسی قرار گرفت و وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارهای مربوطه با استفاده از AHP تعیین شد. بر اساس تجزیه و تحلیل مدل‌های یادگیری ماشین مدل RF با دقت ۷۶٪ به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد. بر اساس مدل برتر، سه نقطه به‌عنوان مکان‌های مناسب احداث سد ذخیره آب انتخاب گردید. نتایج داده‌کاوی همچنین نشان داد که عوامل بارندگی و تراکم زهکشی، مؤثرترین عوامل در مکان‌یابی سد می‌باشند. Bihon و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی به انتخاب محل مناسب سد با تجزیه و تحلیل حساسیت مبتنی بر GIS و تعیین وزن عوامل مؤثر بر آن در رودخانه بیر واقع در اتیوپی پرداختند. آن‌ها در این تحقیق از ۹ شاخص استفاده

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز دهدر طالقان در شمال استان البرز و بین مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. حوزه آبخیز مورد مطالعه از نظر توپوگرافی، کوهستانی بوده و از دامنه‌های پرشیب و قله مرتفع تشکیل شده است. ارتفاع از سطح دریا از بلندترین نقطه با ارتفاع ۴۰۵۰ متر تا خروجی حوزه با ارتفاع ۲۲۴۸ متر متغیر است. بیشترین و کمترین مقدار بارندگی متوسط سالانه به ترتیب معادل ۹۳۲ و ۵۷۱ میلی‌متر محاسبه شده است. تعداد ۲ روستا در حوزه واقع شده‌اند. حوزه آبخیز دهدر ۴۷۸۰ هکتار مساحت دارد (شکل ۱).

کردند. بر اساس نتایج وزن عوامل به ترتیب فاصله از گسل، زمین‌شناسی، بافت خاک، شیب، نرخ فرسایش، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و ارتفاع بود. در نهایت ۴۷ درصد منطقه به‌عنوان مناطق مناسب جهت احداث سد پیشنهاد شد. بررسی سوابق تحقیقاتی داخلی و خارجی حاکی از آن است که پژوهش‌های محدودی در زمینه مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با به‌کارگیری این رویکرد انجام شده است. در این پژوهش از مدل حداکثر آنتروپی (ME) (Teimouri & asadi Nalivan, 2021)؛ (Pourghasemi *et al.*, 2020) به‌منظور مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری (گابیونی و سنگ و ملات) در حوزه آبخیز دهدر طالقان استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز دهدر در ایران و استان البرز

Figure 1- Location of Dehdar watershed in Iran and Alborz province

به‌صورت تصادفی، موقعیت مکانی سازه‌های آبخیزداری اجرا شده و پیشنهادی (تعدادی از نقاط) با استفاده از GPS ثبت گردید و اطلاعات سازه‌های منتخب وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و نقشه موقعیت مکانی سازه‌های آبخیزداری اجرا شده و پیشنهادی شرکت‌های مطالعاتی در قالب مطالعات تفصیلی-اجرایی تهیه شد (شکل ۲).

ابتدا بر اساس بانک اطلاعات سازه‌های اجرا شده موجود در اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز و کتابچه سازه‌های مکانیکی مطالعات تفصیلی-اجرایی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه، محل سازه‌های اجرا شده و پیشنهادی (مطالعات تفصیلی-اجرایی) استخراج گردید. در مرحله بعد با انجام پیمایش صحرایی و

تیموری و همکاران

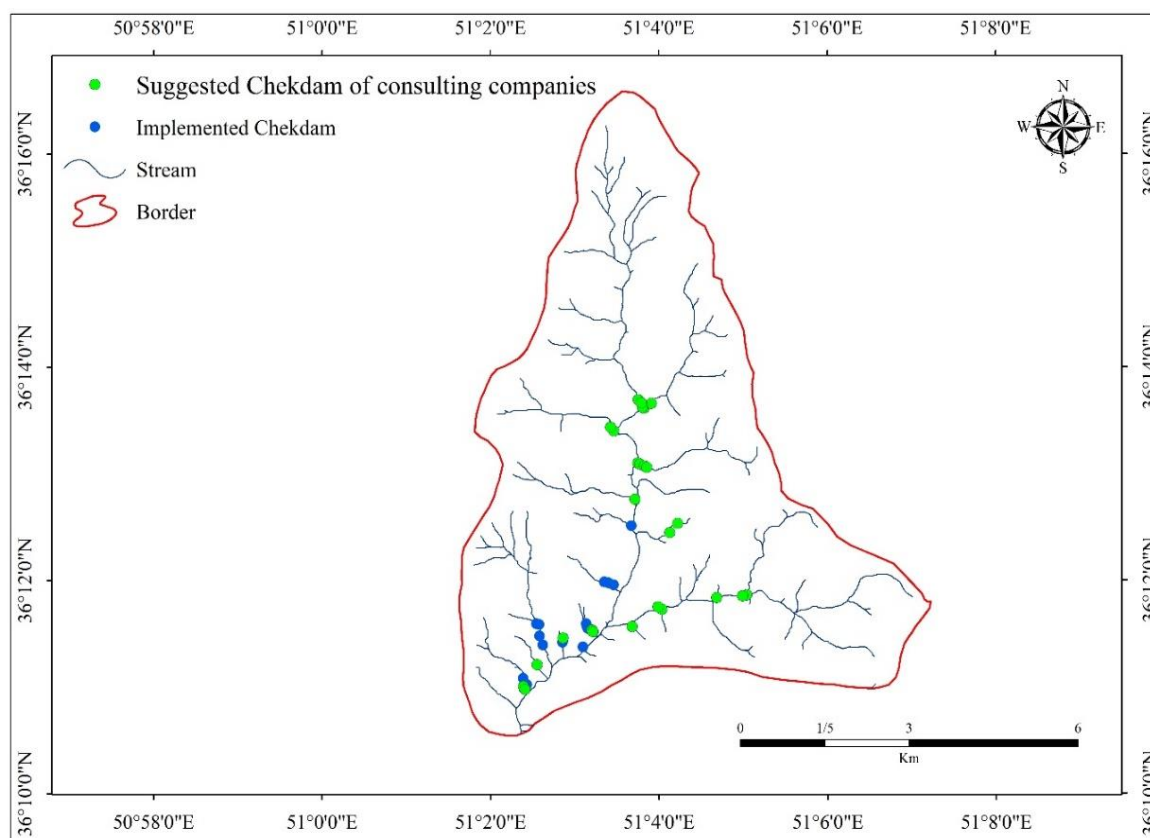
Mohammed *et al.*, 2019; Rahmati *et al.*, 2020; Shao *et al.*, 2020; Zare Bidaki *et al.*, 2021; Bihon *et al.*, 2022; Hagos *et al.*, 2022; Zada *et al.*, 2023

در تحقیق حاضر جهت تعیین مناطق مناسب سازه‌های آبخیزداری از ۱۴ شاخص (جدول ۱) مؤثر در جانمایی سازه‌ها استفاده شده است (Al-Ruzouq *et al.*, 2019;)

جدول ۱- عوامل به کاررفته برای تعیین مناطق مناسب سازه‌های آبخیزداری

Table 1- Factors used to determine suitable areas for check dams

منبع Resource	عامل (متغیر) Factor
بر اساس نقاط ارتفاعی و خطوط تراز (۱۰*۱۰ متر)	مدل رقومی ارتفاعی (m)
بر اساس مدل رقومی ارتفاعی در نرم‌افزار ArcGIS	شیب (Percent)
تابع Euclidean distance در نرم‌افزار ArcGIS	فاصله از آبراهه، جاده و گسل (m)
تابع Line Density در نرم‌افزار ArcGIS	تراکم آبراهه، جاده و گسل (km/km ²)
بر اساس نقشه زمین‌شناسی	سنگ‌شناسی (لیتولوژی) با مقیاس (1:100000)
اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز	کاربری اراضی با مقیاس (1:100000)
بر اساس مدل رقومی ارتفاعی در نرم‌افزار SAGA GIS	SPI، رتبه آبراهه و تجمع جریان
بر اساس میانگین بارندگی ایستگاه‌های موجود و روش گردایان در نرم‌افزار ArcGIS	بارندگی (mm)



شکل ۲- موقعیت سازه‌های اجراشده و پیشنهادی شرکت‌های مشاور در سطح حوزه دهدر طالقان

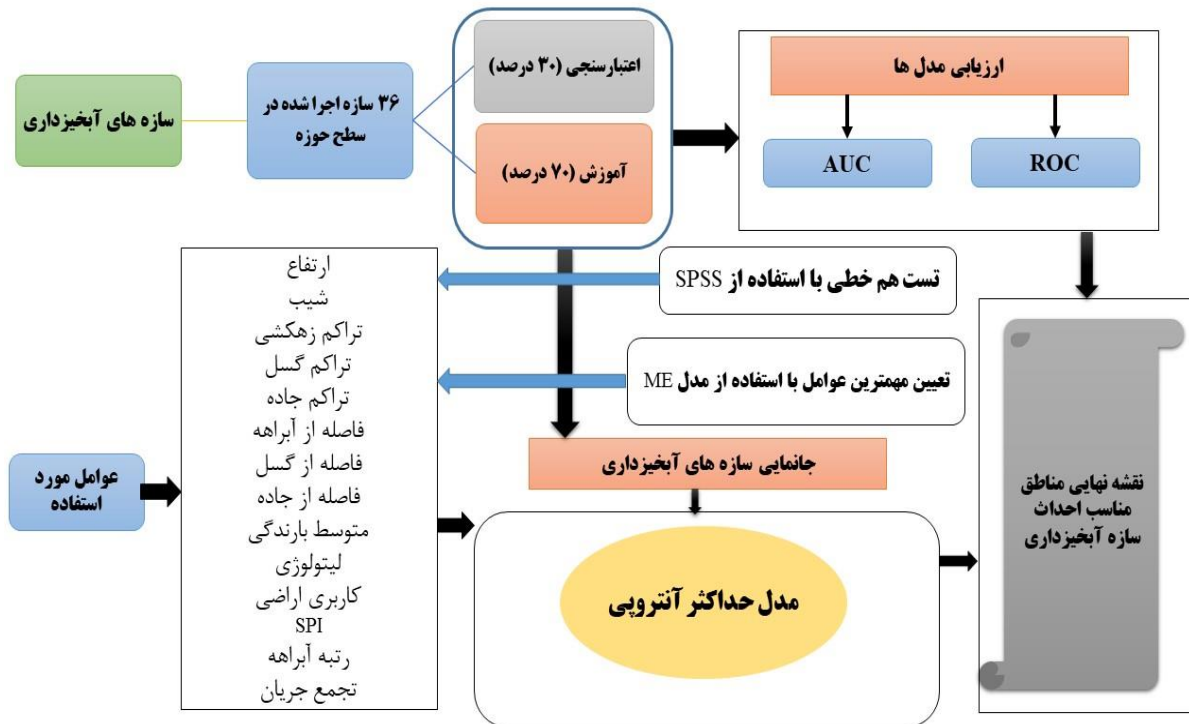
Figure 2- Location of implemented and proposed check dams of consulting companies at Dehdar basin

نقاط ارتفاعی و خطوط تراز در ابعاد ۱۰*۱۰ متر تهیه شد (شکل ۴). ارتفاع بر روی تغییرات بارندگی

شکل ۳ نمودار جریانی مراحل تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. ابتدا لایه مدل رقومی ارتفاعی با استفاده از

و فاصله از آبراهه به‌عنوان عوامل مهم در زمینه جانمایی سازه‌های آبخیزداری عمل می‌کنند (Hagos *et al.*, 2022; Zada *et al.*, 2023). با توجه به هزینه‌های بالای احداث سازه‌های آبخیزداری وجود راه با دسترسی مناسب یکی از عوامل اصلی کاهش هزینه‌های اجرایی است (Hagos *et al.*, 2022) (شکل ۴). وجود گسل به‌عنوان یک عامل محدودکننده اجرای سازه‌های آبخیزداری مطرح است (Bihon *et al.*, 2022). وجود گسل‌ها باعث تخریب سازه‌های آبخیزداری می‌شوند. به‌طور کلی، زمین‌شناسی نقش مهمی در مطالعات جانمایی سازه‌های آبخیزداری به دلیل حساسیت‌های مختلف واحدهای سنگ‌شناسی به فرآیندهای فرسایش دارد (شکل ۴). به دلیل اهمیت نوع سنگ‌شناسی و سازه‌های موجود و خصوصیات وابسته به آن‌ها که عامل بسیار مهمی در پتانسیل فرسایش محسوب می‌شوند لایه سنگ‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی منطقه استخراج گردید (Pourghasemi *et al.*, 2020) (شکل ۴).

تأثیرگذار است (Chen *et al.*, 2019) و در ارتفاعات بالاتر چون سطح حوزه آبرگیر و به تبع آن حجم جریان کمتر است، سازه‌های چپری و سبک اجرا می‌گردد و در ارتفاعات پایین‌تر سازه‌های گابیونی و سنگ و ملات اجرا می‌گردد (Zada *et al.*, 2023). لایه شیب یکی از پارامترهای توپوگرافی خیلی مهم در کنترل وقوع سیلاب است و شیب‌های زیاد برای افزایش سرعت جریان‌های سطحی و در نتیجه وقوع سیل مساعد می‌باشند (Adiat *et al.*, 2012; Al-Ruzouq *et al.*, 2019). همچنین شیب زیاد به‌عنوان یک محدودیت در جانمایی سازه‌های آبخیزداری عمل می‌کند (شکل ۴). کاهش نفوذ باعث تراکم زهکشی بالا و افزایش رواناب سطحی می‌گردد و لذا مناطق دارای تراکم زهکشی بالاتر از پتانسیل بیشتری برای ایجاد سیل برخوردار هستند. تراکم آبراهه بیشتر باعث افزایش رواناب و به تبع آن افزایش فرسایش از طریق افزایش قدرت جریان آبراهه در پایین‌دست می‌شود (شکل ۴). با توجه به اینکه تمامی سازه‌های آبخیزداری از نوع مکانیکی در بستر آبراهه‌ها احداث می‌شوند، دو عامل تراکم زهکشی



شکل ۳- نمودار جریان‌ی مراحل تحقیق
Figure 3- Flowchart of research

تیموری و همکاران

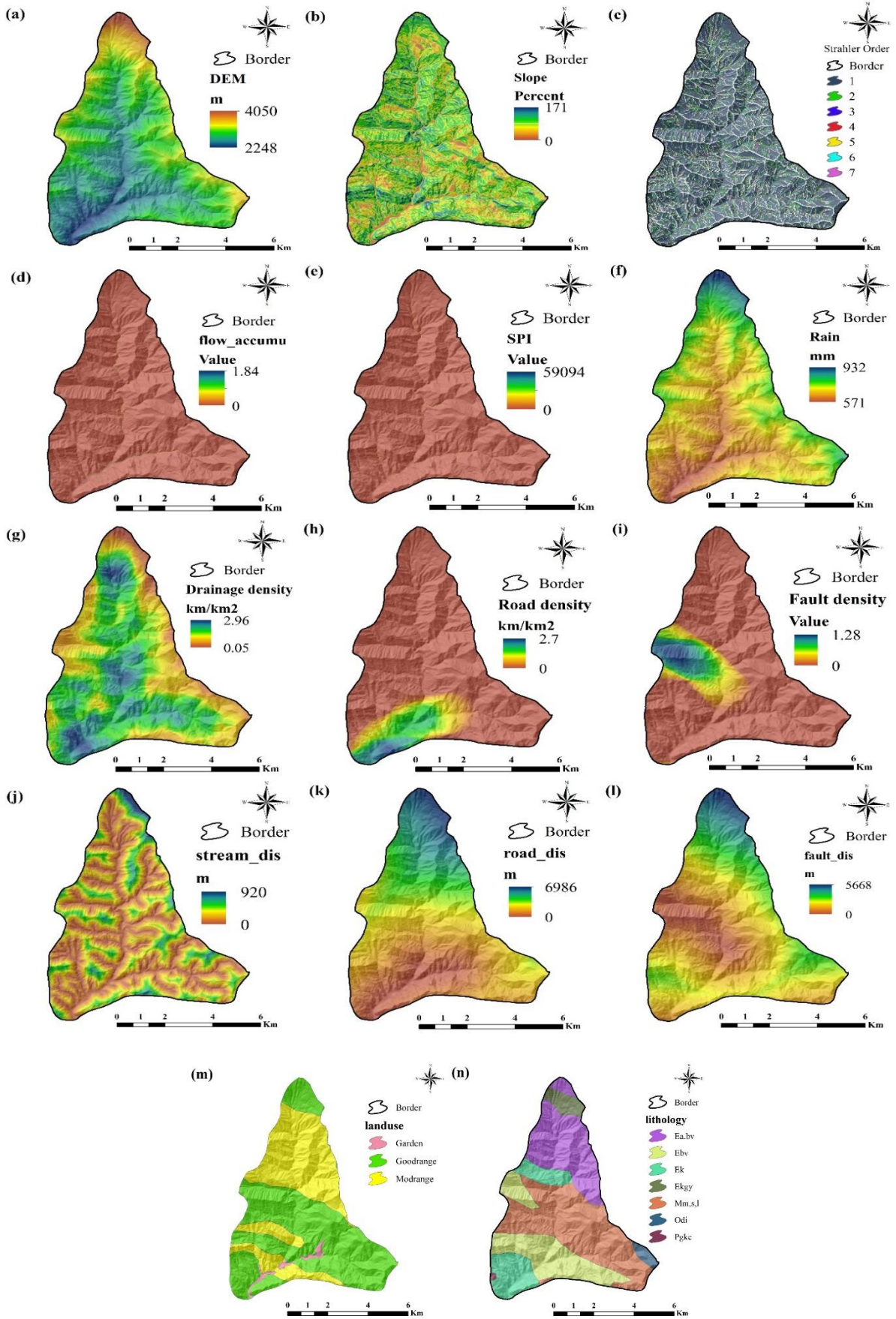
لایه کاربری اراضی (سال ۱۴۰۲) از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز دریافت و به کمک کارشناسان مربوطه در برخی مناطق اصلاحاتی بر روی آن انجام شده است (شکل ۴). لایه شاخص قدرت آبراهه (جریان) با استفاده از نرم‌افزار SAGA GIS تهیه شد (شکل ۴). شاخص SPI نشان‌دهنده قدرت جریان آبراهه است و افزایش آن باعث کاهش نفوذ و افزایش گل‌آلودگی می‌شود (Rahmati et al., 2019). میزان بارندگی یکی از شاخص‌های اصلی سیلاب و تعیین مناطق مناسب سازه‌های آبخیزداری در هر منطقه است. نقشه بارندگی با استفاده از اطلاعات ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی و هواشناسی در طی یک دوره آماری (۱۸ ساله (۱۳۸۲-۱۴۰۰)) به صورت گرادیان بارندگی تهیه شد (شکل ۴). جهت تعیین بارندگی متوسط منطقه از رابطه ۱ استفاده شد:

$$Y = 0.2003X + 120.83 \quad (R^2: 8035) \quad (1)$$

که در آن X: ارتفاع (نقشه DEM) و Y میزان بارندگی در هر پیکسل (۱۰ در ۱۰ متر) است. اهمیت رتبه آبراهه‌ها زمانی مشخص می‌شود که در آبراهه‌های رتبه ۱ بیشتر سازه‌های چپری و در آبراهه‌های درجه ۲ الی ۴ بیشتر سازه‌های گابیونی و در رتبه‌های بالاتر سازه‌های سنگ و ملات اجرا می‌گردد (Rahmati et al., 2023; Zada et al., 2020). لازم به ذکر است که کارایی سازه‌های سنگ و ملات در کنترل رسوب و فرسایش و کاهش دبی پیک سیلاب بیشتر از سایر سازه‌ها است و در صورت راه دسترسی مناسب در اولویت اجرا قرار دارند (شکل ۴). تجمع جریان در طول آبراهه در مناطقی که شیب کاهش پیدا می‌کند و یا سر پیچ‌های رودخانه بیشتر می‌شود و در مناطقی که این شاخص افزایش پیدا می‌کند، به دلیل کاهش سرعت جریان و کاهش شیب و محل مناسب ذخیره رسوبات، محل مناسب احداث سازه‌های آبخیزداری است (شکل ۴). تجمع جریان بیانگر مقدار زیاد رواناب و در نتیجه احتمال خطر زیاد سیلاب است (Jahangir et al., 2019; Tien Bui et al., 2019; Hagos et al., 2022).

بررسی عدم وجود هم‌خطی چندگانه با استفاده از عامل تورم واریانس (VIF) و شاخص ضریب تحمل (Tolerance) انجام می‌شود (Du et al., 2017). این شاخص نشان می‌دهد که رفتار یک متغیر تا چه اندازه تحت تأثیر دیگر متغیرها تغییر می‌کند و استفاده از عواملی با هم‌خطی بالا سبب بروز خطا در نقشه نهایی می‌گردد (Khosravi et al., 2019). مقدار $VIF > 10$ و $Tolerance < 0.1$ نشان می‌دهد که بین متغیرها هم‌خطی وجود دارد که با حذف یکی از آن‌ها می‌توان هم‌خطی را کاهش داد (Khosravi et al., 2019). پس از بررسی عدم وجود هم‌خطی بین متغیرها، نقاط سازه‌های موجود، با استفاده از روش تصادفی به دو دسته داده‌های مدل‌سازی (تعلیمی/آموزش، ۷۰ درصد) و داده‌های اعتبارسنجی (آزمون، ۳۰ درصد) تقسیم شدند (Nachappa et al., 2020). میزان اهمیت هر یک از متغیرهای بکار رفته در تبیین مدل با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی و با استفاده از نمودار چکنایف (Jackknife) تعیین گردید و انجام این فرآیند در نرم‌افزار MaxEnt انجام می‌شود (Phillips et al., 2006).

در این پژوهش، کارایی مدل در مراحل آموزش و اعتبارسنجی با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد گیرنده (ROC) و سطح زیر منحنی آن (AUC) ارزیابی شد. نتایج مرحله آموزش مدل دلالت بر مناسب بودن مدل داشته و نتایج مرحله اعتبارسنجی اطلاعاتی را در خصوص توانایی مدل در پیش‌بینی فراهم می‌آورد. مقدار ROC حاصل از منحنی تشخیص عملکرد گیرنده، بین ۰/۵ تا ۱ است و مقدار کمتر از ۰/۵ نشان‌دهنده آن است که مدل نمی‌تواند رویداد مدنظر را پیش‌بینی کند و ایده‌آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی (مقدار ۱) را دارد (Chen et al., 2019). درجات مختلف AUC برای عملکرد مدل به این شرح تفسیر می‌گردد: ۰-۰/۶ ضعیف، ۰/۶-۰/۷ متوسط، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب و ۰/۹-۱ عالی.



شکل ۴- عوامل مورد استفاده در تحقیق حاضر
 Figure 4- Factors used in the current research

تیموری و همکاران

مدل حداکثر آنتروپی یکی از روش‌های یادگیری ماشین است که به صورت گسترده برای پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی و پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته و مبتنی بر نقاط حضور است (Kornejady *et al.*, 2017). این روش اولین بار برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های جانوری طراحی شده و به مرور در زمینه‌های دیگر نظیر پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش، حساسیت سیل‌خیزی و تعیین پتانسیل آب زیرزمینی استفاده شده است. مزیت این روش آن است که برای پیش‌بینی رفتار یک گونه یا پدیده نیاز به نقاط عدم حضور آن گونه یا پدیده ندارد، بلکه از یک سری عوامل تأثیرگذار و همچنین نقاط حضور آن پدیده استفاده می‌کند (Phillips *et al.*, 2006; Kornejady *et al.*, 2017). در این روش همبستگی عوامل مؤثر در جانمایی سازه با شواهد موجود محاسبه شده و با همبستگی متغیرها با ۱۰۰۰۰ نقطه تصادفی از منطقه به عنوان نقاط زمینه (مناطق شبه عدم حضور

سازه) مقایسه می‌گردد. یکی از مهم‌ترین مزایای مدل MaxEnt قابلیت این مدل در شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار و تحلیل حساسیت متغیرها به روش جک‌نیاف است که در این تحقیق انجام شده است. ارزیابی این مدل با استفاده از منحنی ROC امکان‌پذیر است که سطح زیر نمودار AUC به دست آمده به عنوان معیاری از قدرت تفکیک مدل در تشخیص نقاط حضور و عدم حضور مورد توجه قرار می‌گیرد (Phillips *et al.*, 2006).

نتایج و بحث

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد ابتدا تست هم‌خطی بین عوامل انجام گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد که بین عوامل هم‌خطی وجود ندارد و لذا کلیه عوامل در روند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۲- نتایج آنالیز تست هم‌خطی بین عوامل مورد استفاده

Table 2- The results of the collinearity test analysis between the factors used

عوامل Factors	تحمل Tolerance	عامل توریم واریانس VIF
کاربری اراضی	0.971	1.142
تراکم زهکشی	0.935	1.365
فاصله از آبراهه	0.917	1.423
فاصله از غسل	0.827	1.535
تراکم غسل	0.816	1.783
لیتولوژی	0.715	1.975
بارندگی	0.692	2.231
شاخص قدرت آبراهه	0.552	2.482
فاصله از جاده	0.452	2.661
تراکم جاده	0.432	2.876
رتبه آبراهه	0.371	3.215
شیب	0.311	3.427
تجمع جریان	0.254	3.715
ارتفاع	0.231	3.957

منحنی پاسخ تغییرات عوامل در مدل حداکثر آنتروپی

منحنی پاسخ تغییرات ارتفاع نشان داد که با افزایش ارتفاع از ۱۵۰۰ الی ۲۳۰۰ متری پتانسیل احداث

سازه‌های آبخیزداری بیشتر شده است. از دلایل کاهش پتانسیل ایجاد سازه در ارتفاعات بالاتر حوزه آبخیز دهر طالقان می‌توان به تغییر الگوی بارندگی از باران به برف اشاره کرد که برف به‌مرور زمان ذوب می‌شود و

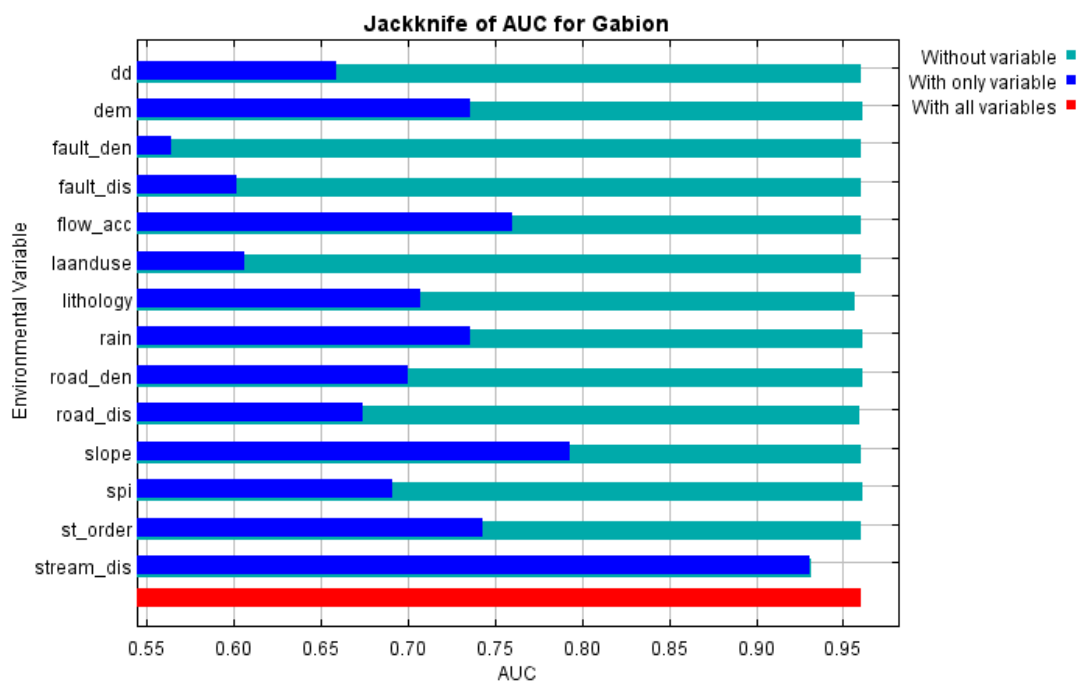
بیشترین میزان پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در کاربری مراتع متوسط اتفاق افتاده است. از دلایل افزایش میزان پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در کاربری مراتع متوسط می‌توان به کاهش میزان پوشش گیاهی و افزایش میزان رواناب اشاره کرد. از طرف دیگر معمولاً در مناطق کشاورزی و باغات (مستثنیات) سازه آبخیزداری احداث نمی‌شود. منحنی پاسخ شاخص قدرت آبراهه نشان داد که با افزایش میزان شاخص قدرت آبراهه، پتانسیل احداث سازه افزایش پیدا کرده است که یکی از دلایل این امر افزایش قدرت جریان و در نتیجه افزایش میزان فرسایش و رسوب است. این مهم در تحقیق Rahmati و همکاران (۲۰۱۹) اشاره شده است. منحنی پاسخ میزان بارندگی نشان داد که با افزایش میزان بارندگی از ۴۵۰ الی ۶۰۰ میلی‌متر پتانسیل احداث سازه افزایش پیدا کرده است و در دامنه‌های پایین‌تر و بالاتر از مقدار مذکور پتانسیل احداث سازه کاهشی بوده است. از دلایل این امر می‌توان به افزایش میزان پوشش گیاهی در اثر افزایش میزان بارندگی در ارتفاعات بالا اشاره کرد. از طرف دیگر در ارتفاعات بالاتر بیشتر آبراهه‌های رتبه ۱ وجود دارد که پتانسیل احداث سازه گابیونی و سنگ و ملات را ندارند و در ارتفاعات پایین‌تر نیز آبراهه‌ها در مناطق مسکونی و مستثنیات و باغات واقع شده‌اند که در این مناطق سازه احداث نمی‌شود. منحنی پاسخ تراکم گسل نشان داد که با افزایش تراکم گسل پتانسیل احداث سازه کاهش پیدا کرده است که این نتیجه دور از انتظار نبود و معمولاً سازه‌ها در مناطق دارای تراکم کم گسل‌ها احداث می‌شوند. منحنی پاسخ فاصله از گسل نشان داد که با افزایش فاصله از گسل، پتانسیل احداث سازه کاهش پیدا کرده است که این نتیجه دور از انتظار است و معمولاً سازه‌ها در مناطق دورتر از گسل‌ها احداث می‌شوند. منحنی پاسخ تراکم جاده نشان داد که با افزایش تراکم جاده، پتانسیل احداث سازه کاهش پیدا کرده است که این نتیجه به دلیل نزدیکی آبراهه به جاده و خطرات تخریب سازه‌ها و در نتیجه تخریب

به یک‌باره تجمع جریان صورت نمی‌گیرد و همچنین در ارتفاعات بالاتر رتبه آبراهه کاهش پیدا می‌کند و مناسب سازه‌های گابیون و سنگ و ملات نمی‌باشد؛ بنابراین احتمال ایجاد سازه‌های سنگ و ملات در ارتفاعات پایین‌تر (به دلیل افزایش و تجمع رسوب) افزایش پیدا می‌کند (Kanani-Sadat *et al.*, 2019). منحنی پاسخ تغییرات شیب نشان داد که با افزایش شیب، پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری کاهش پیدا کرده است. از دلایل کاهش پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در شیب‌های بالا، عدم وجود مخزن مناسب، عدم ایمنی کافی جهت استقرار سازه به دلیل رانش و ریزش و عدم دسترسی مناسب است. نتایج این بخش با نتایج تحقیقات Zada و همکاران (۲۰۲۳) و Mohammed و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد و آن‌ها شیب را به عنوان یک عامل محدودکننده معرفی کرده‌اند. لازم به ذکر است که در شیب‌های تند و بالا بیشتر سازه‌های خشکه‌چین احداث می‌شوند. منحنی پاسخ فاصله از آبراهه نشان داد که با افزایش فاصله از آبراهه میزان پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری کاهش پیدا می‌کند. به دلیل اینکه بیشترین میزان تجمع جریان در آبراهه اتفاق می‌افتد و به همین خاطر افزایش فاصله از آبراهه کاهش پتانسیل احداث سازه را به دنبال دارد. در تحقیقات مشابه Hagos و همکاران (۲۰۲۲) و Bihon و همکاران (۲۰۲۲) به این مورد اشاره شده است. منحنی پاسخ لیتولوژی نشان داد که واحدهای سنگ‌های آتشفشانی بازالتی، ترکیب شیل و دولومیت، ترکیب ماسه‌سنگ و شیل و توف سبز و شیل توفی (سازند کرج) دارای بیشترین پتانسیل احداث سازه آبخیزداری بوده‌اند. از دلایل این امر می‌توان به میزان فرسایش مکانیکی و تولید رسوب بیشتر در این واحدها اشاره کرد. اهمیت لایه لیتولوژی در تحقیقات Zada و همکاران (۲۰۲۳)، Bihon و همکاران (۲۰۲۲)، Hagos و همکاران (۲۰۲۲) و Pourghasemi و همکاران (۲۰۲۰) مورد تأکید قرار گرفته است. منحنی پاسخ کاربری اراضی نشان داد که

تیموری و همکاران

رتبه ۲ الی ۶ با افزایش میزان رتبه آبراهه میزان پتانسیل احداث سازه آبخیزداری افزایش پیدا کرده است و در سازه‌های گابیونی از رتبه ۶ به بعد پتانسیل احداث سازه کاهشی بوده است که به دلیل افزایش میزان رواناب و تجمع جریان در رتبه‌های بالاتر است. شکل ۵ نتایج حاصل از نمودار جکنایف جهت تعیین مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار و سهم هر یک از پارامترها را در پیش‌بینی مدل MaxEnt نشان می‌دهد. با توجه به شکل به ترتیب عوامل فاصله از آبراهه، شیب، تجمع جریان، رتبه آبراهه، ارتفاع، میانگین بارندگی و لیتولوژی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر جانمایی سازه‌های آبخیزداری هستند و در پیش‌بینی مناطق دارای پتانسیل احداث سازه تأثیرگذار بوده‌اند. این نتایج بیانگر این است که تمامی عوامل بر جانمایی سازه‌های آبخیزداری تأثیرگذار هستند و در هر منطقه‌ای با توجه به شرایط محیطی و نوع سازه اجرایی یک یا چند تا از عوامل نقش مهم‌تری ایفا می‌کنند که نشان‌دهنده پیچیدگی مکان‌یابی مناسب سازه‌های آبخیزداری و تأثیرپذیری از عوامل مختلف است.

جاده می‌تواند باشد. منحنی پاسخ فاصله از جاده نشان داد که با افزایش فاصله از جاده پتانسیل احداث سازه کاهش پیدا کرده است. یکی از دلایل این امر بحث اقتصادی راه دسترسی جهت احداث سازه‌ها است. هرچقدر راه دسترسی به سازه صعب‌العبورتر باشد به هزینه‌های حمل مصالح افزوده خواهد شد و به ناچار باید از حیوانات باری و چهارپایان جهت حمل استفاده کرد که باعث افزایش هزینه‌ها و همچنین افزایش زمان اجرای پروژه خواهد شد. اهمیت بررسی جاده در تحقیقات Mohammed و همکاران (۲۰۱۹)، Bihon و همکاران (۲۰۲۲)، Hagos و همکاران (۲۰۲۲) و Al-Ruzouq و همکاران (۲۰۱۹) اشاره شده است. منحنی پاسخ تجمع جریان نشان داد که با افزایش تجمع جریان، پتانسیل احداث سازه افزایش پیدا کرده است. با توجه به اینکه هدف سازه‌های آبخیزداری کاهش دبی پیک سیلاب و کنترل رسوب است، در مناطقی که تجمع جریان افزایش پیدا می‌کند، مناسب احداث سازه است تا از این طریق بتوان میزان خسارات را به حداقل رساند. منحنی پاسخ رتبه آبراهه نشان داد که در بازه



شکل ۵- نتایج حاصل از آزمون جکنایف جهت تعیین مهم‌ترین عوامل

Figure 5- Jackknife test results to determine the most important factors

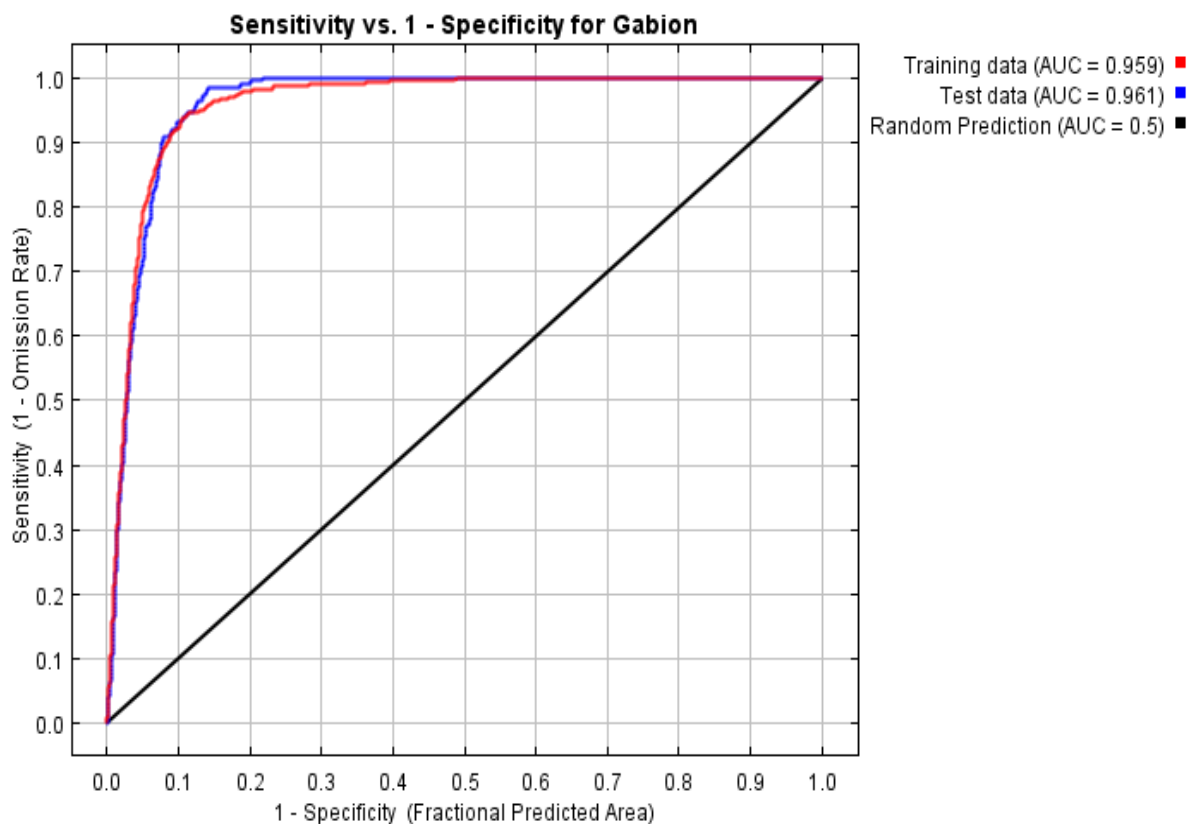
مقادیر ROC را در دو بخش آموزش و اعتبارسنجی در

شکل ۶ نتایج حاصل از قدرت پیش‌بینی مدل بر اساس

آبراهه فوق بحرانی تشخیص داده شد (در مجموع ۷۱/۹ هکتار آبراهه بحرانی و فوق بحرانی به لحاظ آورد سیل و رسوبات) (شکل ۷). لذا در ادامه و در طی بازدیدهای مختلف تعداد ۱۱ سازه آبخیزداری (۶ مورد سازه سنگ و ملات، ۵ مورد سازه گابیونی) در آبراهه‌های مورد بازدید جانمایی شد (شکل ۷). لازم به ذکر است که میزان انطباق نقشه نهایی (مناطق بحرانی) و جانمایی سازه‌های آبخیزداری شرکت‌های مشاور در قالب مطالعات تفصیلی-اجرائی میزان ۹۲ درصد بوده است که دقت بالای مدل‌های یادگیری ماشینی را به‌عنوان یک روش نوین در بحث جانمایی سازه‌های آبخیزداری با کاهش هزینه‌ها و مدیریت زمان نشان می‌دهد (شکل ۷). لازم به ذکر است با توجه به میزان آورد رسوبات و نوع رسوبات (واریزه سنگی) در صورت امکان و راه دسترسی مناسب کلیه نقاط پیشنهادی گابیون را می‌توان تبدیل به سازه سنگ و ملات کرد.

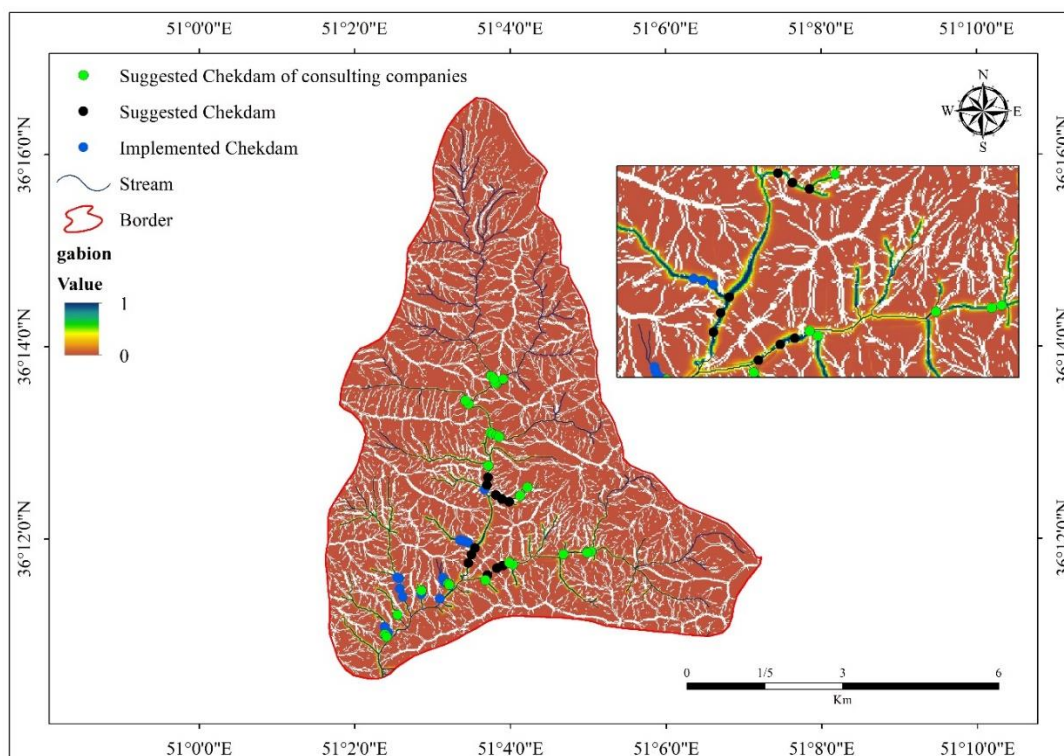
مدل حداکثر آنتروپی نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۶ میزان دقت پیش‌بینی مدل در هر دو بخش آموزش (۰/۹۵۹) و اعتبارسنجی (۰/۹۶۱) عالی بوده است؛ بنابراین با توجه به نتایج می‌توان به پیش‌بینی مدل حداکثر آنتروپی اعتماد کرد.

شکل ۷ نقشه نهایی (نقشه رستری) مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری گابیونی را در حوزه آبخیز دهدر طالقان بر اساس مدل حداکثر آنتروپی نشان می‌دهد. بعد از اجرای مدل، جهت صحت‌سنجی نتایج مدل حداکثر آنتروپی و شناسایی آبراهه‌های بحرانی بازدیدهای مختلفی از سطح حوزه آبخیز دهدر انجام گرفت. نتایج بازدیدهای میدانی نشان داد که در تمامی آبراهه‌های موردبررسی، مدل به‌درستی و با دقت بسیار زیاد آبراهه‌های بحرانی را به لحاظ آورد سیل و رسوب تشخیص داده است. در مجموع ۶۰/۵ هکتار آبراهه بحرانی و ۱۱/۴ هکتار



شکل ۶- نتایج مقادیر ROC در بخش آموزش و اعتبارسنجی مدل

Figure 6- The results of ROC values in the training and validation section



شکل ۷- نقشه نهایی پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری و نقاط پیشنهادی تحقیق حاضر و شرکت‌های مشاور و نقاط اجرایی

Figure 7- The final map of the construction potential of check dams and the proposed points in the research and consulting companies and implementation points

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر روش‌های سنجش‌ازدور، سامانه اطلاعات جغرافیایی و یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق و به‌طورکلی هوش مصنوعی در مقایسه با روش‌های زمان‌بر و پرهزینه سنتی در تشخیص مناطق دارای مخاطرات طبیعی و پتانسیل‌یابی مناطق دارای آب زیرزمینی، کارایی زیادی داشته‌اند و باعث افزایش دقت و سرعت در ارزیابی حساسیت و احتمال وقوع مخاطرات و مکان‌یابی با کمک گرفتن از داده‌های محیطی، توپوگرافی و اقلیمی شده‌اند. عوامل متعددی در یک حوزه آبخیز بر جریان آب در سطح حوزه اثرگذار می‌باشند که هرکدام از این عوامل پتانسیل متفاوتی در تغییر جریان و میزان فرسایش دارند. تعیین مهم‌ترین و مؤثرترین فاکتورهای تأثیرگذار بر جانمایی سازه‌های آبخیزداری جهت انجام مدل‌سازی بسیار ضروری است. نتایج پژوهش نشان داد که عوامل فاصله از آبراهه،

شیب، تجمع جریان، ارتفاع و رتبه آبراهه مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری هستند و در پیش‌بینی مناطق دارای پتانسیل احداث سازه تأثیرگذار بوده‌اند. از آنجا که تشخیص مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری با روش‌های سنتی هزینه‌بر و زمان‌بر است، تهیه کردن نقشه مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با روش‌های نوین یادگیری ماشینی ضروری است. در این پژوهش نقشه مناطق مناسب احداث سازه‌های آبخیزداری حوزه آبخیز دهر طالقان با در نظر گرفتن متغیرهای محیطی تأثیرگذار و با مدل حداکثر آنتروپی تهیه شد. منحنی ROC نشان داد که دقت مدل در برآورد کردن مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در مرحله آموزش و در مرحله اعتبارسنجی عالی بوده است که بر اساس نظر Phillips و همکاران (۲۰۰۶) به معنای عملکرد عالی مدل است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که مدل MaxEnt توانایی زیادی در

دامنه‌ها در این مناطق تجمع پیدا می‌کند، پتانسیل احداث سازه‌ها افزایش پیدا کرده است. ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی با مدل‌های نوین یادگیری ماشین به منظور تعیین مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌ها مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه مثل ایران که دسترسی به اطلاعات و داده‌ها با محدودیت زمان و هزینه مواجه هستند پیشنهاد می‌گردد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران جهت مدیریت مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری کمک کند.

تعیین مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری دارد. به دلیل سرعت و دقت زیاد مدل پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های مشابه به خصوص در کشورهای در حال توسعه که با کمبود امکانات و منابع مالی مواجه هستند استفاده شود. به طور کلی می‌توان بیان کرد که حوزه آبخیز دهر طالقان با توجه به میزان فرسایش و رسوب زیاد دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری در ابعاد زیاد و به تعداد بالا است و بیشتر مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌ها در بستر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها واقع شده‌اند. به دلیل اینکه در این مناطق تجمع جریان صورت گرفته است و فرسایش

References

- Adiat, KAN., Nawawi, MNM. & Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool – a case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 440–441: 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.028>
- Alocén, P., Fernández-Centeno, M. Á. & Toledo, M.Á. (2022). Prediction of Concrete Dam Deformation through the Combination of Machine Learning Models. *Water*, 14(7), 1133. <https://doi.org/10.3390/w14071133>
- Al-Ruzouq, R., Shanableh, A., Yilmaz, A. G., Idris, A., Mukherjee, S., Khalil, M. A. & Gibril, M.B.A. (2019). Dam site suitability mapping and analysis using an integrated GIS and machine learning approach. *Water*, 11(9), 1880. <https://doi.org/10.3390/w11091880>
- Azari, M. & Sepehri, A. (2018). A GIS-based Decision Support System to Identify Potential Sites for Soil and Water Conservation Measures (Case Study: Kakhk Watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(1), 29, 65-82. <https://doi.org/10.22067/GEO.V7I2.66301>. (In Persian)
- Bihon, Y., Meshesha, M., Melese, D., Beyene, T., Kifle, T. & Mihretu, E. (2022). Suitable Dam Site Selection with GIS-Based Sensitivity Analysis of Factors Weight Determination (In Birr River, Upper Blue Nile, Ethiopia). *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 7(8), 1366-1386. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7067751>
- Chen, W., Hong, H. & Li, S. (2019). Flood susceptibility modelling using novel hybrid approach of reduced-error pruning trees with bagging and random subspace ensembles. *Journal of Hydrology*, 575, 864–873. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.089>
- Davoudi Moghaddam, D., Rahmati, O., Haghizadeh, A. & Kalantari, Z. (2020). A modeling comparison of groundwater potential mapping in a mountain bedrock aquifer: Quest, Garp, and RF models. *Water*, 12(3), 679. <https://doi.org/10.3390/w12030679>
- Du, G. L., Zhang, Y. S., Iqbal, J., Yang, Z. H. & Yao, X. (2017). Landslide susceptibility mapping using an integrated model of information value method and logistic regression in the Bailongjiang watershed, Gansu Province, China. *Journal of Mountain Science*, 14(2), 249-268. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-4126-9>
- Hagos, Y., Andualem, T., Mengie, M., Ayele, W. & Malede, D. (2022). Suitable dam site identification using GIS-based MCDA: a case study of Chemoga watershed, Ethiopia. *Applied Water Science*. <https://doi.org/10.1007/s13201-02201592-9>

- Jahangir, M. H., Reineh, S. M. M. & Abolghasemi, M. (2019). Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm. *Weather and Climate Extremes*, 25, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100215>
- Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F. & Nasseri, M. (2019). A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision-making method. *Journal of Hydrology*, 572, 17-31. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.034>
- Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B. T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B. & Prakash, I. (2019). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 573, 311-323. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.073>
- Kornejady, A., Ownegh, M. & Bahremand, A. (2017). Landslide susceptibility assessment using maximum entropy model with two different data sampling methods. *Catena*, 152, 144-162. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.010>
- Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research*, 9, 381-386. <https://doi.org/10.21275/ART20203995>
- Mohammed, A., Pradhan, B., Mahmood, Q. (2019). Dam site suitability assessment at the Greater Zab River in northern Iraq using remote sensing data and GIS. *Journal of Hydrology*, 574, 964-979. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.001>
- Nachappa, T.G., Tavakkoli, S., Gholamnia, Kh. Ghorbanzadeh, O., Rahmati, O. & Blaschke, T. (2020). Flood susceptibility mapping with machine learning, multi-criteria decision analysis and ensemble using Dempster Shafer Theory. *Journal of Hydrology*, 590, 125275. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125275>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pourghasemi, H. R., Yousefi, S., Sadhasivam, N. & Eskandari, S. (2020). Assessing, mapping, and optimizing the locations of sediment control check dam's construction. *Science of the Total Environment*, 739, 139954. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139954>
- Rahmati, O., Ghasemiyeh, H., Samadi, M., Kalantari, Z., Tiefenbacher, J., Asadi Nalivan, O., Cerda, A., Ghiasi, S., Darabi, H., Haghghi, A. & Tien Bui, D. (2020). TET: An automated tool for evaluating suitable check-dam sites based on sediment trapping efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 266, 122051. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122051>
- Rahmati, O., Kalantari, Z., Samadi, M., Uuemaai, E., Moghaddam, D., Asadi Nalivan, O., Destouni, G. & Tien Bui, D. (2019). GIS-Based Site Selection for Check Dams in Watersheds: Considering Geomorphometric and Topo-Hydrological Factors. *Sustainability*, 11, 5639. <https://doi.org/10.3390/su11205639>
- Santoso, I. & Darsono, S. (2019). Review of criteria on multi criteria decision making (MCDM) construction of DAMS. *GEOMATE Journal*, 16(55), 184-194. <https://doi.org/10.21660/2019.55.87673>
- Shao, Z., Jahangir, Z., Yasir, Q., Rahman, A. & Mahmood, S. (2020). Identification of Potential Sites for a Multi-Purpose Dam Using a Dam Suitability Stream Model. *Water*, 12, 3249. <https://doi.org/10.3390/w12113249>
- Souri, M., Tork, K. & Bazrafshan, O. (2016). VIKOR methods in management and site selection of stone-mortar Dams, case study: Watershed Yakhlaqan Makoo. *Watershed Engineering and Management*, 8(2), 140-151. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106452> (In Persian)

- Teimouri, M. & Asadi Nalivan, O. (2021). Determination of Groundwater Spring Potential Using Maximum Entropy, GIS and RS Emphasizing HAND Topographic-Hydrologic New Index (Case Study: Urmia Lake Basin). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 13(2), 119-138. <https://doi.org/10.52547/gisj.13.2.119> (In Persian)
- Tien Bui, D., Hoang, N.-D., Martínez-Álvarez, F., Ngo, P.-T.T., Hoa, P.V., Pham, T.D., Samui, P. & Costache, R. (2019). A novel deep learning neural network approach for predicting flash flood susceptibility: A case study at a high frequency tropical storm area. *Science of Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.134413>
- Yahya, F., Fazli, B., Sallehudin, H. & Mohd Jaya, M.I. (2020). Machine Learning in Dam Water Research: An Overview of Applications and Approaches. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (2), 1268-1274. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/56922020>
- Zada, N., Javed, M., Ahmad, S. & Waleed, M. (2023). Dam site selection using remote sensing techniques and geographical information system (GIS): A case study of Kurram Tangi North Waziristan. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2447939/v1>
- Zare Bidaki, R., Moradi, B. & Bahrami, H. (2021). Locating susceptible areas for short earth fill dams (Case study: Beheshtabad Watershed). *Management of Natural Ecosystem*, 1(1), 1, 37-48. <https://doi.org/10.22034/EMJ.2021.248949> (In Persian)