Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Selection of the best location for watershed structures in Gilan province using the maximum entropy model

Babak Ghaderi Vangah [1], Reza Ghazavi [*2], Siamak Dokhani [3], Omid Asadi Nalivan [3]

[1] Ph.D. Student, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran. b.ghaderi@grad.kashanu.ac.ir
[2] Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran. ghazavi@kashanu.ac.ir
[3] Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran. siamakdokhani@kashanu.ac.ir
[4] Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran. o.asadi@maragheh.ac.ir

ARTICLE INFO.

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 18 January 2026
Revised: 20 February 2026
Accepted: 25 February 2026
Published online: 20 May 2026

Keywords:
Check dams, Guilan, Humid region, Maxent, Modeling, Site selection.

ABSTRACT

The construction of watershed structures is an important method for flood and sediment control. The cost of constructing these structures at the watershed scale is high, and reducing it requires the use of precise site selection methods. Machine learning models are among the precise site selection methods, and this research uses the Maxent (maximum entropy) model because it does not require absence data. This study was conducted in three watersheds: Aghevlar Talesh, Masouleh Fuman, and Tutkabon Rudbar, in Guilan province, using 21 effective factors in the site selection of watershed structures. The results obtained from the variance inflation factor (VIF) in R software showed that there is collinearity among the variables, and factors with a VIF less than 10 were entered into the modeling process. To evaluate, the data were divided into two parts of 70% and 30% for training and validation of the model, and the ROC-AUC index results showed that the model performance in the training and validation stages in all three watersheds was more than 90%, placing it at an excellent level. Based on the results of the jackknife test, distance to borrow pits, distance to rivers, runoff depth, precipitation, and slope were identified as the most influential variables for siting gabion structures, while distance to rivers, distance to borrow pits, peak flood discharge, runoff depth, and distance to roads were the most important variables for siting masonry walls in all three watersheds. The findings showed that more than 70% of gabion structures and more than 80% of Masonry wall structures in the studied watersheds are located in areas with medium and higher potential for the construction of watershed structures. Out of a total of 923 km of stream networks across the three study watersheds, 63 km and 39 km were identified as the most suitable locations for the construction of gabion and masonry structures, respectively.

Citation: Ghaderi Vangah, B., Ghazavi, R., Dokhani, S., & Asadi Nalivan, O. (2026). Selection of the best location for watershed structures in Gilan province using the maximum Entropy model. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 14(1), 45-70.

DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

***Corresponding author:** Reza Ghazavi
Address: Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran.
Tel: +989171887058
Email: ghazavi@kashanu.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Selection of the best location for watershed structures in Gilan province using the maximum entropy model

Babak Ghaderi Vangah [1], Reza Ghazavi [*2], Siamak Dokhani [3], Omid Asadi Nalivan [3]

[1] Ph.D. Student, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran. b.ghaderi@grad.kashanu.ac.ir
[2] Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran. ghazavi@kashanu.ac.ir
[3] Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran. siamakdokhani@kashanu.ac.ir
[4] Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran. o.asadi@maragheh.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Flood is one of the most common natural hazards that occurs every year as a result of human and environmental factors and causes loss of life and economic damage in many countries. As long as effective preventive measures are not adopted, the number of people exposed to devastating floods will continue to increase. Although it is impossible to prevent all floods, their impacts can be predicted and largely controlled through the use of scientific methods. One of the most important approaches to flood and sediment control is the construction of watershed management structures. Sediment retention dams, when built in suitable locations, not only help control floods but can also generate significant benefits. However, the construction of watershed management structures across entire catchment areas can be highly costly; therefore, minimizing these expenses requires precise and efficient methods for selecting appropriate construction sites. Among the reliable and high-performance techniques for identifying suitable locations for watershed management structures are modeling methods. Machine learning models, considered the new generation of artificial intelligence methods, can create optimal models based on learning and experience. Several machine learning models have been developed to determine the most suitable locations for flood and sediment control structures in watershed management. Among them, the Maximum Entropy (MaxEnt) model based on statistical probabilistic techniques stands out as one of the most well-known models in this field.

Methodology: This study was conducted in the watersheds of Aghevlar (Talesh), Masouleh (Fouman), and Tutkabon (Roudbar) in Guilan province. Data from the General Department of Natural Resources and Watershed Management archive and field surveys showed the following number of gabion and masonry wall structures: Aghevlar (213 gabions, 46 masonry wall), Tutkabon (203 gabions, 25 masonry wall), and Masouleh (161 gabions only). These structures were entered into ArcGIS. To identify suitable locations for watershed structures, 21 influential factors were selected based on resource reviews and expert opinions. After selecting the factors affecting the siting of watershed structures, the Variance Inflation Factor (VIF) and Tolerance (TOL) index were calculated in R software to examine multicollinearity among variables. Based on VIF > 10 and TOL < 0.1, variables with high collinearity were removed from the modeling process. Finally, factors with VIF values less than 10 and TOL greater than 0.1 were entered into the modeling process as final variables. Important variables were then identified using the Jackknife method. Model performance was evaluated using the ROC index and Area Under the Curve (AUC). Data were split into 70% for training and 30% for validation. Model performance was categorized based on AUC: 0–0.2 (no potential), 0.2–0.4 (low potential), 0.4–0.6 (medium potential), 0.6–0.8 (high potential), and 0.8-1 (very high potential). A final map was created, incorporating a 10-meter buffer around streams, and areas outside this buffer were classified as unsuitable for structure development.

Results and Discussion: The results showed that multicollinearity existed among variables, such that in the Aghevlar watershed, elevation and soil hydrologic groups; in the Masouleh watershed, elevation, soil hydrologic groups, soil erodibility factor, erosion intensity, number of users, and distance to villages and in the Toutkabon watershed, elevation were removed from the modeling process respectively. Based on the results of the jackknife test, distance to borrow pits, distance to rivers, runoff depth, precipitation, and slope were identified as the most

***Corresponding author:** Reza Ghazavi
Address: Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Kashan, Iran.
Tel: +989171887058
Email: ghazavi@kashanu.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

influential variables for siting gabion structures, while distance to rivers, distance to borrow pits, peak flood discharge, runoff depth, and distance to roads were the most important variables for siting masonry walls in all three watersheds. Findings revealed that 15.7 km and 4.5 km of streams in the Aghevlar watershed, and 39.5 km and 20.1 km of streams in the Toutkabon watershed, respectively, have high and very high potential for constructing gabion and masonry wall structures. Additionally, 7.5 km of streams in the Masouleh watershed have high and very high potential for gabion structures. The model performance evaluation in both training and validation stages demonstrated the high accuracy of the maximum entropy model in selecting optimal locations for constructing gabion and masonry wall flood and sediment control structures in the studied watersheds. The results indicated that the maximum entropy model has good accuracy in identifying streams with very suitable classes for constructing flood and sediment control structures in watershed management.

Conclusion: The use of machine learning methods, by reducing costly field visits and increasing accuracy and analytical capability, provides an efficient alternative to traditional site selection methods for watershed structures. The results obtained from ROC curve and AUC also indicated that the accuracy of the maximum entropy model in identifying areas with potential for constructing watershed structures, both in the training and validation stages across all three studied watersheds, exceeded 90%, placing it at an excellent level. Furthermore, the compatibility of the generated potential maps with the distribution of existing structures showed that over 70% of gabion structures and over 80% of masonry wall structures in the three studied watersheds are located in areas with medium and higher potential for constructing watershed structures. The obtained results indicate the special applicability of the maximum entropy model as one of the important machine learning models in determining the best locations for constructing watershed structures. Given the speed and high accuracy of the proposed model and the existing financial and logistical limitations in the site selection studies for flood control structures in watersheds, this approach can play an effective role in the sustainable management and reducing flood risk. The development and application of this model in other watersheds of the country will provide an efficient framework for identifying suitable areas for the construction of watershed structures and can be used as an effective tool in planning development projects and strategic management of watersheds in the country and the worldwide.

Ethical Considerations

Data availability statement: All information and results are provided within the text of the article.

Authors' contribution: **Ghaderi Vangah, B.:** Conceptualization, Statistical analysis, Visualization and writing original draft; **Ghazavi, R.:** Supervision, Manuscript editing and control of methodology and results; **Dokhani, S.:** Supervision, Manuscript editing; **Asadi Nalivan, O.:** Conceptualization, Supervision, Statistical analysis.

Funding: This research was financially supported by Tarh & Saze Shafaroud consulting engineers' company for the field and official studies.

Conflicts of interest: The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: The authors express their sincere gratitude to the technical and watershed management deputy of the Gilan province natural resources and watershed management directorate and Tarh & Saze Shafaroud consulting engineers' company for providing the relevant information. They also thank Dr. Maryam Kazempour Larsary for statistical consultations, and Dr. Elham Alidoust for her cooperation in various stages of the research and for reviewing and editing the text.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سازه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های آبخیزداری در استان گیلان با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی

بابک قادری وانگاه[۱]، رضا قضاوی*[۲]، سیامک دخانی[۳]، امید اسدی نلیوان[۴]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم‌زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، b.ghaderi@grad.kashanu.ac.ir
[۲] استاد گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم‌زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، ghazavi@kashanu.ac.ir
[۳] استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم‌زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، siamakdokhani@kashanu.ac.ir
[۴] استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، o.asadi@maragheh.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۲۸ دی ۱۴۰۴
بازنگری: ۰۱ اسفند ۱۴۰۴
پذیرش: ۰۶ اسفند ۱۴۰۴
انتشار برخط: ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵

واژه‌های کلیدی:
بندهای اصلاحی، گیلان، مدل‌سازی، مکان‌یابی، مکسنت، منطقه مرطوب

چکیده

احداث سازه‌های آبخیزداری یکی از روش‌های مهم کنترل سیل و رسوب است. هزینه ساخت این سازه‌ها در مقیاس حوزه بالا بوده و کاهش آن نیازمند بکارگیری روش‌های دقیق مکان‌یابی است. مدل‌های یادگیری ماشین از جمله روش‌های دقیق مکان‌یابی است. این پژوهش با استفاده از مدل Maxent (حداکثر آنتروپی) و در سه حوزه آبخیز آق‌اولر تالش، ماسوله فومن و توتکابن رودبار استان گیلان و بکارگیری ۲۱ عامل موثر در مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری انجام شد. نتایج حاصل از عامل تورم واریانس (VIF) در نرم‌افزار R نشان‌داد که بین برخی از متغیرها هم‌خطی وجود دارد و بر همین اساس عوامل با VIF کمتر از ۱۰ وارد فرآیند مدل‌سازی شدند. به‌منظور ارزیابی، داده‌ها به دو بخش ۷۰ و ۳۰ درصد برای آموزش و اعتبارسنجی مدل تقسیم شد. نتایج شاخص ROC-AUC نشان داد که عملکرد مدل در مراحل آموزش و اعتبارسنجی در هر سه حوزه بیش از ۹۰ درصد بوده و در سطح قابل قبول قرار دارد. بر اساس نتایج آزمون جک‌نایف، متغیرهای فاصله تا منابع قرضه، فاصله از رودخانه، ارتفاع‌روانآب، بارش و شیب برای مکان‌یابی سازه‌های گابیونی و متغیرهای فاصله از رودخانه، فاصله تا منابع‌قرضه، دبی اوج سیل، ارتفاع روانآب و فاصله تا جاده برای مکان‌یابی سازه‌های سنگی‌ملاتی، به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار در انتخاب بهترین مکان احداث سازه در هر سه حوزه تعیین شدند. یافته‌ها نشان‌داد که به‌ترتیب بیش از ۷۰ و ۸۰ درصد سازه‌های گابیونی و سنگی‌ملاتی موجود در پهنه‌های با پتانسیل متوسط و بالاتر برای احداث سازه‌های آبخیزداری قرار دارند و از مجموع ۹۲۳ کیلومتر طول کل آبراهه‌های سه حوزه مورد مطالعه، به‌ترتیب ۶۳ و ۳۹ کیلومتر به‌عنوان بهترین مکان برای احداث سازه‌های گابیونی و سنگی ملاتی تعیین شد.

استناد: قادری وانگاه، بابک، قضاوی، رضا، دخانی، سیامک، و اسدی نلیوان، امید (۱۴۰۵). انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های آبخیزداری در استان گیلان با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۴(۱)، ۴۵-۷۰.

DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** رضا قضاوی
نشانی: گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم‌زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
تلفن: ۰۹۱۷۱۸۸۷۰۵۸
پست الکترونیکی: ghazavi@kashanu.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

مقدمه

سیلاب یکی از رایج‌ترین مخاطرات طبیعی است که هر ساله در اثر عوامل انسانی و محیطی رخ می‌دهد و در بسیاری از کشورها خسارت‌های جانی و اقتصادی بر جای می‌گذارد (Hong et al., 2018).در ایران نیز به دلیل وسعت سرزمینی، تنوع اقلیمی، تغییرات زمانی و مکانی بارش و ضعف مدیریت منابع آب، وقوع سیلاب‌های شدید بارها مشاهده شده، به‌گونه‌ای که طی چند دهه گذشته، میانگین سالانه خسارت‌های ناشی از سیل بیش از ۱۰ هزار میلیارد ریال بوده و بین سال‌های ۱۳۳۰ تا ۱۳۸۳ حدود ۱۱۷۳۹ نفر کشته و ۲۳۸۱ نفر مفقودی گزارش شده است (Zakizadeh et al., 2015) .وقوع سیلاب‌های ادواری موجب اثرات مخرب شده و تلفات جانی و مالی ناشی از آن در اکثر نقاط کشور در حال افزایش است (Hoseinie et al., 2025). به‌نحوی‌که دهه ۱۳۹۰ مرگبارترین دهه سیلابی ایران بوده و به‌ویژه در سال ۱۳۹۸ به‌تنهایی ۸۲ فوتی مستقیم گزارش شد (Yari et al.,2021) و حدود ۱۰ میلیون نفر در بیش از ۲۰۰۰ شهر و شهرک در سراسر کشور تحت تأثیر سیلاب‌ها قرار گرفته و بیش از نیم‌میلیون نفر به‌صورت موقت یا دائم مجبور به تخلیه منازل خود شدند (Yadollahie, 2019). تا زمانی‌که اقدامات مؤثر پیشگیرانه اتخاذ نشود، تعداد افرادی که در معرض سیلاب‌های ویرانگر قرار می‌گیرند همچنان افزایش خواهد یافت (Schultz, 2006).

اگرچه نمی‌توان از وقوع سیلاب جلوگیری کرد، اما می‌توان با به‌کارگیری روش‌های علمی، خسارت‌های آن را پیش‌بینی و تا حد زیادی کنترل کرد (Davoudi Moghaddam & Haghizadeh, 2021). یکی از روش‌های مهم در کنترل سیل و رسوب، احداث سازه‌های آبخیزداری است. بندهای رسوب‌گیر آبخیزداری، در صورت استقرار در مکان‌های مناسب، علاوه بر کنترل سیل و رسوب، می‌توانند منافع قابل‌توجهی را ایجاد کنند (Zakizadeh et al., 2015). احداث این سازه‌ها و ذخیره آب ناشی از آن، امکان احیای پوشش گیاهی (Ferreira et al., 2018) و تغذیه آب‌های زیرزمینی را فراهم آورده (Khaslati et al., 2024) و نیز با جمع‌آوری آب‌های سطحی ناشی از بارش باران به تأمین نیازهای آبی محلی کمک می‌کنند (Zhang et al., 2016). این سازه‌ها همچنین با کاهش بار رسوبی ورودی به مخازن، موجب افزایش عمر مفید سدهای ذخیره‌ای می‌شوند (Pour et al., 2009). با این حال، هزینه‌های ساخت سازه‌های آبخیزداری در مقیاس حوزه آبریز می‌تواند بسیار بالا باشد و کاهش این هزینه مستلزم روش‌های دقیق و کارآمد برای انتخاب مکان مناسب احداث بند است (Galicia et al., 2019) و انتخاب محل مناسب احداث سازه از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند در موفقیت یا عدم‌موفقیت طرح تاثیرگذار باشد (Majidi 2024). از جمله روش‌های دقیق و با کارایی بالا برای شناسایی و انتخاب مکان‌های مناسب جهت احداث سازه‌های آبخیزداری، روش‌های مدل‌سازی است. این روش‌ها به‌طور کلی در دو دسته رویکردهای دانش‌محور و داده‌محور طبقه‌بندی می‌شوند. رویکردهای دانش‌محور شامل روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] و بر پایه تجربه و قضاوت کارشناسان استوار بوده و در مقابل، رویکردهای داده‌محور با تکیه بر کیفیت و کمّیت داده‌های موجود توسعه یافته و به دو گروه روش‌های مبتنی بر آمار و یادگیری ماشین[2] تقسیم می‌شوند (Davoudi Moghaddam et al., 2020) مدل‌های یادگیری ماشین نسل جدیدی از روش‌های هوش مصنوعی محسوب می‌شوند و با تکیه بر تجربه و فرایند یادگیری، توانایی ارائه مدل‌های بهینه را دارند و استفاده از آن‌ها در مدل‌سازی مکانی با هدف شناسایی الگوریتم‌های کارآمد و دستیابی به بهترین عملکرد، ضروری و اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد (Davoudi Moghaddam & Haghizadeh, 2021). مدل‌های مختلف یادگیری ماشین به‌منظور تعیین مناسب‌ترین مکان احداث سازه‌های کنترل سیل و رسوب آبخیزداری وجود دارد که در این بین مدل حداکثر آنتروپی (Maxent)[3] به‌عنوان مدل مبتنی بر تکنیک آماری–احتمالاتی در حوزه یادگیری ماشین از شناخته‌ترین مدل‌ها است (Mert et al., 2016). مدل حداکثر آنتروپی به‌عنوان مدل مبتنی بر داده‌های حضور (داده‌های بیانگر مکان وقوع پدیده) و توانمند در پردازش متغیرهای پیش‌بینی‌کننده پیوسته و دسته‌ای، رویکردی کارآمد در تحلیل حساسیت به‌شمار می‌آید (Phillips et al., 2006; McCarthy et al., 2011; Martins et al., 2025). کاربرد یادگیری ماشین در مطالعات مکان‌یابی در حال توسعه است و با وجود پیشرفت‌های اخیر در زمینه یادگیری عمیق و هوش مصنوعی، کاربردهای این فناوری در حوزه مکان‌یابی اقدامات سازه‌ای آبخیزداری محدود و نادر است.

Davoudi Moghaddam & Haghizadeh. (2021) در پژوهشی با بهره‌گیری از مدل حداکثر آنتروپی (Maxent) مناطق مستعد سیل‌گیری و عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب در حوزه آبخیز تشان استان خوزستان را بررسی نمودند. در این مطالعه، از ۱۰ عامل مؤثر در سیل‌گیری استفاده شد و ۱۶۹ موقعیت سیل‌گیر مورد تحلیل قرار گرفت. ارزیابی دقت مدل‌سازی انجام‌شده با بهره‌گیری از منحنی تشخیص عملکرد (AUC = 0.885) نشان داد که این مدل از دقت بسیار خوبی در شناسایی مناطق مستعد سیل‌گیری برخوردار است. Dabiri et al. (2024)، در پژوهشی به مکان‌یابی عملیات مکانیکی آبخیزداری در حوزه آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره

[1] Multiple Criteria Decision Making
[2] Machine Learning
[3] Maximum Entropy

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

(MCDM)[1] و استفاده از روش‌های AHP[2] و ANP[3] پرداختند. در این مطالعه، ۱۴ معیار در قالب پنج گروه اصلی برای تجزیه و تحلیل مکان‌یابی انتخاب شد. نتایج نشان داد که در مکان‌یابی سازه‌های گابیونی، معیارهای تجمع جریان، فاصله از روستا و شیب و در مکان‌یابی سازه‌های سنگی‌ملاتی، معیارهای فاصله از روستا، تجمع جریان و فاصله از جاده به‌ترتیب بیشترین نقش را ایفا کرده‌اند. Teimouri et al. (2024)، مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با استفاده از مدل یادگیری ماشین در حوزه آبخیز دهدَر استان البرز را انجام دادند. در این پژوهش، تعداد ۱۴ عامل هیدرولوژیکی، ژئومرفولوژیکی، توپوگرافی و محیطی در جانمایی سازه‌ها با بهره‌گیری از مدل حداکثر آنتروپی (Maxent) بررسی شد. نتایج حاصل از آزمون جک‌نایف نشان داد که عوامل فاصله از آبراهه، شیب، تجمع‌جریان، رتبه آبراهه، ارتفاع، میانگین بارندگی و لیتولوژی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر جانمایی سازه‌های آبخیزداری هستند. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که دقت پیش‌بینی مدل در هر دو مرحله آموزش (۰/۹۵۹) و اعتبارسنجی (۰/۹۶۱) در سطح قابل قبول است و در مجموع ۳۰/۳ کیلومتر آبراهه‌های بحرانی و فوق‌بحرانی در این حوزه شناسایی شد. Pourghasemi et al. (2020) به‌منظور بررسی مکان‌های مناسب احداث سازه‌های کنترل سیل و رسوب در حوزه آبخیز فیروزکوه، از پنج مدل یادگیری ماشین شامل BRT[4]، MARS[5]، SVM[6]، RF[7] و MDA[8] استفاده کردند. در این پژوهش، ۱۴ عامل مؤثر در قالب گروه‌های توپوگرافی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و اجتماعی در نظر گرفته شد و داده‌های مربوط به ۴۷۵ سازه موجود مورد تحلیل قرار گرفت. داده‌ها با نسبت ۷۰ درصد برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی تقسیم شدند و بررسی هم‌خطی بین متغیرها با VIF[9] ارزیابی شد. نتایج نشان داد که فاصله از رودخانه و تراکم زهکشی مهم‌ترین عوامل در مکان‌یابی سازه‌های کنترل رسوب هستند. بر اساس نتایج این مدل، حدود ۱۶/۴ درصد از آبراهه‌های حوزه در طبقه بسیار مناسب برای احداث سازه‌های کنترل سیل و رسوب قرار داشتند. Harshasimha& Bhatt. (2023)، در پژوهشی با هدف تهیه نقشه مناطق در معرض خطر سیل در محدوده شهری کامروپ، ایالت آسام هند از تکنیک یادگیری ماشین، بیشینه آنتروپی (Maxent) و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) بهره گرفتند. در این تحقیق، نه متغیر شامل ارتفاع، شیب، بارش، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، بافت خاک، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)[10] ، فاصله از رودخانه و تراکم شبکه زهکشی به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مدل انتخاب شدند. دقت پیش‌بینی مدل‌ها با استفاده از مساحت زیر منحنی (AUC)[11] ارزیابی شد. نتایج نشان داد که شاخص رطوبت توپوگرافی، ارتفاع و شیب از مهم‌ترین عوامل مؤثر در شناسایی مناطق سیل‌زده هستند. علاوه بر این، مقایسه عملکرد دو روش حاکی از آن بود که نقشه سیل تولیدشده با Maxent با AUC برابر ۰/۸۳ عملکرد بهتری نسبت به نقشه تولیدشده با AHP با AUC برابر ۰/۷۶ دارد. Martins et al. (2025)، مطالعه‌ای را با هدف تهیه نقشه چندخطره مبتنی بر آتش‌سوزی‌های جنگلی و فرسایش خندقی در حوزه رودخانه آلووا در کوه‌های مرکزی پرتغال انجام دادند. در این تحقیق، از دو مدل نسبت فراوانی (FR)[12] و بیشینه آنتروپی (Maxent) استفاده شد. محققان در تحلیل خود ۱۳ متغیر ژئومحیطی شامل ارتفاع، شیب، انحنای زمین، جهت دامنه، تجمع جریان، شاخص ناهمواری زمین، نوع کاربری اراضی، فاصله از جاده و وسعت آتش‌سوزی پس از آتش‌سوزی را لحاظ کردند. نتایج نشان داد که میزان موفقیت پیش‌بینی AUC برای مدل‌های FR و Maxent به‌ترتیب برابر با ۶۸/۷ و ۷۰/۴ درصد است. تحلیل مکانی داده‌ها نیز نشان داد که تقریباً ۳۶ درصد از مساحت حوزه در محدوده خطر متوسط و بیش از نیمی از آن در محدوده خطر بالا تا بسیار بالا قرار دارد.

با توجه به مطالعات انجام شده در داخل و خارج از کشور، تحقیقات محدودی در زمینه مکان‌یابی سازه‌های کنترل سیل و رسوب آبخیزداری با استفاده از رویکرد یادگیری ماشین و مدل حداکثر آنتروپی انجام شده است و پژوهشی که به انتخاب بهترین مکان‌های احداث سازه‌های آبخیزداری در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب کشور پرداخته باشد، مشاهده نشد. استان گیلان به‌عنوان یکی از استان‌های پربارش واقع در منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب کشور، همواره در معرض خطر وقوع سیل قرار دارد و احداث سازه‌های آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز این استان به‌منظور کنترل سیل و رسوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف اصلی از انجام این مطالعه، شناسایی مهم‌ترین عوامل موثر در انتخاب مکان‌های مناسب احداث سازه‌های کنترل سیل و رسوب آبخیزداری در استان گیلان و مکان‌یابی محل‌های مناسب جهت احداث سازه‌ها با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی به‌عنوان یکی از مدل‌های آماری – احتمالی مبتنی بر یادگیری ماشین است.

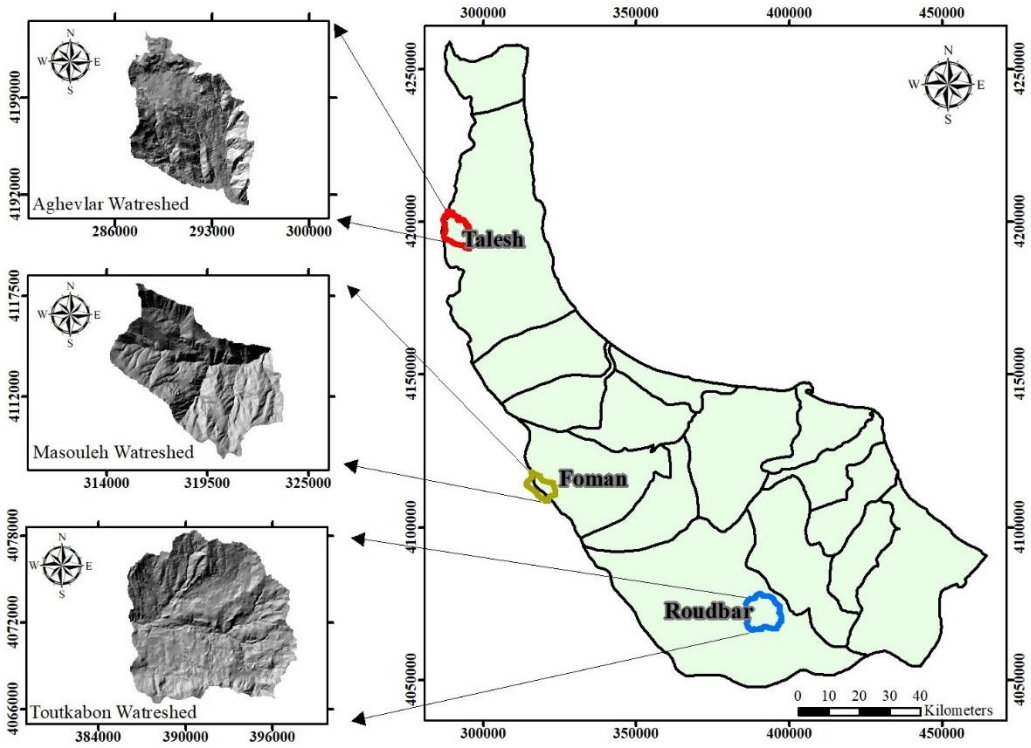
[1] Multi-Criteria Decision Marking
[2] Analytic Hierarchy Process
[3] Analytic Network Process
[4] Boosted Regression Trees
[5] Multivariate Adaptive Regression Splines
[6] Support Vector Machine
[7] Random Forest
[8] Multiple Discriminant Analysis
[9] Variance Inflation Factor
[10] Topographic Wetness Index
[11] Area Under the Curve
[12] Frequency Ratio

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سه حوزه آبخیز استان گیلان به‌عنوان استان معرف منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب ایران شامل حوزه‌های آبخیز آق‌اولر شهرستان تالش، ماسوله شهرستان فومن و توتکابن شهرستان رودبار انجام شد. شکل ۱ موقعیت مکانی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در سطح شهرستان‌ها و استان گیلان را نشان می‌دهد. ضمن آن‌که در جدول ۱ مشخصات حوزه‌های مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در سطح استان گیلان

Figure 1- Location of the studied watersheds in Gilan Province

جدول ۱- مشخصات عمومی حوزه‌های آبخیز آق‌اولر تالش، ماسوله فومن و توتکابن رودبار استان گیلان

Table 1– General characteristics of the Aghevlar Talesh, Masouleh Fuman, and Tutkabon Rudbar watersheds, Gilan Province

characteristic	Aghevlar	Masouleh	Toutkabon
Area (Ha)	7000	4660	10660
Longitude	48º 34´ 43″ – 48º 40´ 54″	48º 54´ 26″ – 49º 0´ 55″	48º 43´ 27″ – 49º 51´ 11″
latitude	37º 50´ 42″ – 37º 57´ 20″	36º 44´ 10″ – 36º 50´ 41″	36º 44´ 10″ – 36º 50´ 41″
Minimum Elevation (m)	859	772	916
Average Elevation (m)	2169	1888	1607
Maximum Elevation (m)	3227	2909	2310
Average Slope (%)	37	56	32
Annual Precipitation (mm)	625	620	650
Average Annual Temperature (ºC)	4	12	10/9
Climate (Emberger)	sub-humid	humid	semi-arid

روش کار

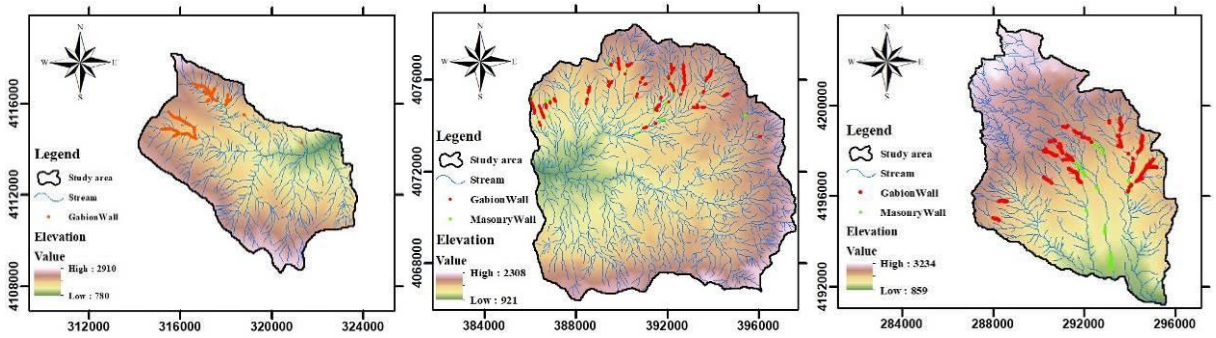
در این پژوهش به‌منظور انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های کنترل‌سیل و رسوب آبخیزداری از مدل حداکثر آنتروپی (Maxent) استفاده شد. Maxent یک مدل یادگیری ماشینِ مبتنی بر داده‌های حضور است و مشکلات و عدم‌قطعیت‌های ناشی از داده‌های عدم‌حضور، حذف

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

شده که موجب ارتقای دقت تحلیل می‌شود. این مدل داده‌های پیوسته و طبقه‌ای را بدون نیاز به طبقه‌بندی لایه‌های پیوسته به‌طور مستقیم به‌کار می‌گیرد و این ویژگی در مقایسه با روش‌های آماری دومتغیره، نتایج پایدارتر و قابل‌اعتمادتری ارائه می‌دهد و از شدت خطاهای ناشی از دقت کم در طبقه‌بندی کاسته می‌شود (Elith et al., 2011; Quinn et al., 2013; Kornejady et al., 2017).

در مدل Maxent مجموعه‌ای از متغیرها به‌عنوان عوامل مؤثر بر وقوع پدیده به‌کار گرفته می‌شود و نقاطی نیز به‌عنوان نقاط حضور وارد مدل شده و ویژگی‌های محیطی آن‌ها مشخص شده و سایر نواحی که مشخص نیست پدیده رخ داده است یا خیر، به‌عنوان جایگزینی برای داده‌های عدم وقوع به‌کار می‌روند. این مدل با استفاده از داده‌های ناکافی، بهترین حدس آماری درباره احتمال وقوع پدیده هدف را تخمین می‌زند (Moreno et al., 2011; Wang et al., 2013). به‌منظور ارزیابی کارایی مدل Maxent، از شاخص منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC)[1] و مساحت زیر منحنی (AUC) استفاده شد (Shirzadi et al., 2017). به این منظور با توجه به عملکرد قابل قبول سازه‌های موجود در حوزه‌های مورد مطالعه در کنترل رسوب، پایداری و کنترل سیل، محل احداث آن‌ها به‌عنوان بهترین مکان مناسب انتخاب شده و از آن‌ها برای آموزش و اعتبارسنجی مدل استفاده شد. فرآیند ارزیابی در دو مرحله آموزش و اعتبارسنجی انجام گرفت و داده‌ها به‌صورت تصادفی به دو بخش ۷۰ درصد برای آموزش مدل و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی آن تقسیم شد (Arabameri et al., 2020). مساحت زیر منحنی (AUC) بین ۰ و ۱ متغیر بوده و مقادیر بالاتر آن بیانگر عملکرد بهتر مدل است (Chung & Fabbri, 2003). در این پژوهش، طبقه‌بندی عملکرد مدل بر اساس مقادیر AUC به دسته‌های ۰–۰/۲ (غیرقابل قبول)، ۰/۲–۰/۴ (ضعیف)، ۰/۴–۰/۶ (متوسط)، ۰/۶–۰/۸ (خوب) و ۰/۸–۱ (عالی) تقسیم‌بندی شد (Rahmati et al., 2019). به‌منظور شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگزار و تحلیل حساسیت متغیرها از روش جک‌نایف به‌عنوان یکی از مزیت‌های مهم مدل Maxent استفاده شد (Phillips et al., 2006). جهت تهیه نقشه نهایی، حریم ۱۰ متری از آبراهه‌ها با استفاده از الگوریتم Buffer در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8[2] در نظر گرفته شد و نقاط خارج از آن به‌عنوان مناطق فاقد قابلیت برای احداث سازه آبخیزداری، حذف شد (Baghelani et al., 2020; Zare Bidaki et al., 2021).

در پژوهش حاضر ابتدا محل سازه‌های کنترل سیل و رسوب گابیونی و سنگی‌ملاتی از مطالعات موجود در آرشیو اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری استان گیلان استخراج شده و سپس طی بازدید میدانی، موقعیت مکانی سازه‌ها با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS)[3] ثبت و مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به پیمایش‌های انجام شده تعداد سازه‌های گابیونی و سنگی‌ملاتی حوزه آبخیز آق‌اولر به‌ترتیب برابر ۲۱۳ و ۴۶، حوزه آبخیز توتکابن به‌ترتیب برابر ۲۰۳ و ۲۵ و حوزه آبخیز ماسوله که فقط گابیونی بوده برابر ۱۶۱ سازه ثبت شده و اطلاعات سازه‌های منتخب وارد نرم‌افزار ArcGIS 10.8 شدند. نقشه موقعیت مکانی سازه‌های آبخیزداری مطابق شکل ۲ تهیه شد. ضمن آن‌که در شکل ۳ نمایی از سازه‌های حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۲- موقعیت سازه‌های گابیونی و سنگی‌ملاتی حوزه‌های آق‌اولر (تصویر راست)، توتکابن (تصویر وسط) و ماسوله (تصویر چپ)

Figure 2– Location of gabion and masonry wall in the Aghevlar (right image), Tutkabon (center image), and Masouleh (left image) watersheds

[1] Receiver Operating Characteristic
[2] Geographic Information System
[2] Global Positioning System

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

شکل ۳- نمایی از سازه‌های گابیونی و سنگی‌ملاتی حوزه‌های آق‌اولر (تصویر راست)، توتکابن (تصویر وسط) و ماسوله (تصویر چپ)
Figure 3– Gabion and masonry wall in the Aghevlar (right image), Tutkabon (center image), and Masouleh (left image) watersheds

جهت تعیین مکان‌های مناسب سازه‌های آبخیزداری با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی، بر اساس بررسی منابع و دریافت نقطه نظرات متخصصان، ابتدا ۲۱ عامل موثر در مکان‌یابی سازه‌ها در نظر گرفته شد (جدول ۲). مطابق این بررسی، ارتفاع بر تغییرات بارندگی تأثیرگذار است (Chen et al., 2019) به نحوی که در مناطق مرتفع، به دلیل سطح کوچک حوزه عامل و در نتیجه حجم کمتر جریان، عمدتا سازه‌های سبک اجرا شده و در نواحی پایین‌تر، سازه‌های گابیونی و سنگ‌ملاتی احداث می‌شود (Zada et al., 2023). شیب یکی از مهم‌ترین عوامل توپوگرافی در کنترل وقوع سیلاب است، به‌طوری‌که در شیب‌های تند با افزایش سرعت رواناب سطحی، پتانسیل وقوع سیل افزایش می‌یابد. ضمن آن‌که شیب زیاد به‌عنوان یک عامل محدودکننده در جانمایی سازه‌های آبخیزداری عمل می‌کند (Al-Ruzouq et al., 2019). دبی اوج سیلاب و ارتفاع رواناب از عوامل کلیدی در جانمایی اقدامات سازه‌ای آبخیزداری به‌شمار می‌روند. بین ارتفاع رواناب و دبی اوج سیلاب با مکان‌یابی اقدامات سازه‌ای آبخیزداری رابطه مستقیمی وجود دارد، به‌گونه‌ای که در صورت فراهم بودن شرایط توپوگرافی مناسب برای احداث سازه، آبراهه‌های دارای جریان سیلابی در اولویت اجرای سازه‌های آبخیزداری قرار می‌گیرند. احداث سازه‌های آبخیزداری با کنترل جریان رواناب و کاهش دبی اوج سیلاب، موجب کاهش مخاطرات مخرب سیلاب در پایین‌دست حوزه‌های آبخیز می‌شود (Rahmati et al., 2019; Harshasimha & Bhatt, 2023). میزان بارندگی یکی از شاخص‌های اصلی در بروز سیلاب و تعیین مناطق مناسب برای احداث سازه‌های آبخیزداری در هر منطقه به‌شمار می‌رود. بارش منبع اصلی تغذیه رواناب است و رخدادهای حدی بارش شدید منجر به بروز بلایای طبیعی نظیر سیلاب می‌شود (Al-Juaidi, 2018). تجمع جریان در طول آبراهه، به‌ویژه در مناطقی که شیب کاهش می‌یابد یا در قوس‌ها و پیچان‌رودها، افزایش پیدا می‌کند. در این مناطق، به دلیل کاهش سرعت جریان و شیب بستر و فراهم شدن شرایط مناسب برای ذخیره رسوبات، مکان‌های مناسبی برای احداث سازه‌های آبخیزداری فراهم می‌شود. شاخص تجمع جریان بیانگر حجم بالای رواناب و در نتیجه احتمال بیشتر خطر سیلاب است (Jahangir et al., 2019). شاخص قدرت آبراهه (SPI)[1] نشان‌دهنده قدرت جریان آبراهه است و افزایش آن موجب کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش گل‌آلودگی و سیلاب می‌شود (Rahmati et al., 2019). تراکم زهکشی (تراکم شبکه رودخانه) بیانگر وضعیت منابع آب منطقه است. بین تراکم شبکه رودخانه و حجم سیلاب، همبستگی مثبت وجود دارد (Rahmati et al., 2019). تراکم آبراهه بیشتر باعث افزایش رواناب و در نتیجه تشدید فرسایش از طریق افزایش قدرت جریان آبراهه در پایین‌دست می‌شود (Zada et al., 2023). با توجه به اینکه تمامی سازه‌های آبخیزداری از نوع مکانیکی در بستر آبراهه‌ها احداث می‌شوند، عامل فاصله از رودخانه (آبراهه) به‌عنوان عامل مهم در جانمایی سازه‌های آبخیزداری محسوب می‌شود. با توجه به هزینه‌های بالای احداث سازه‌های آبخیزداری، وجود راه یا دسترسی مناسب یکی از عوامل اصلی کاهش هزینه‌های اجرایی است (Hagos et al., 2022). بنحوی که یکی از عوامل محدودکننده احداث سازه‌های سنگ ملاتی، علیرغم نقش و کارایی ویژه آن در کنترل رسوب و فرسایش و همچنین کاهش دبی اوج سیلاب نسبت به سایر انواع سازه‌ها، وجود راه دسترسی مناسب است (Teimouri et al., 2024). فاصله تا منابع قرضه نیز از عوامل اصلی کاهش هزینه‌های اجرایی است بنحوی که یکی از عوامل محدودکننده در احداث سازه‌های آبخیزداری منابع قرضه است و هر چه فاصله محل احداث سازه تا منابع قرضه کمتر باشد در اولویت اجرا قرار می‌گیرد (Dabiri et al., 2024). وجود گسل به‌عنوان یک عامل محدودکننده در اجرای سازه‌های آبخیزداری مطرح است، زیرا گسل‌ها می‌توانند موجب تخریب و ناپایداری این سازه‌ها شوند (Bihon et al., 2022). سنگ‌شناسی (لیتولوژی) یکی از شاخص‌های اصلی نرخ نفوذپذیری بوده و کیفیت شبکه زهکشی را تعیین می‌کند. به دلیل حساسیت‌های متفاوت واحدهای سنگ‌شناسی نسبت به فرآیندهای فرسایش، این عامل نقش مهمی در مطالعات جانمایی سازه‌های آبخیزداری ایفا می‌کند (Pourghasemi et al., 2020). کاربری اراضی نتیجه روابط متقابل پارامترهای اجتماعی- فرهنگی و توان بالقوه سرزمین است. تغییرات در کاربری اراضی نتایج چشمگیری در پتانسیل سیلخیزی حوزه‌های آبخیز دارد (Avand et al., 2020). پوشش گیاهی از اصلی‌ترین انواع کاربری‌اراضی بشمار می‌رود و در

[1] Serial Peripheral Interface

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

پهنه‌بندی سیلاب نقش مهمی دارد. سرسبزی بالا که با پوشش‌گیاهی تفاضلی نرمال‌شده (NDVI)[1] اندازه‌گیری می‌شود، سبب کاهش بروز سیلاب می‌شود. هر چقدر این شاخص به سمت ۱+ میل کند نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی و نیاز کمتر به احداث سازه‌های کنترل سیل و رسوب آبخیزداری است (Mahmoudzadeh & Bakooyi, 2019). خاک یکی از مهم‌ترین عوامل در مدیریت نفوذپذیری و تولید رواناب به شمار می‌رود (Khosravi et al., 2019). گروه هیدرولوژیکی خاک (HSG)[2] نقش مهمی در پاسخ هیدرولوژیکی و در نتیجه مناسب‌بودن مکان احداث سازه‌های آبخیزداری دارد (Costache, 2019). مراکز جمعیتی و تراکم جمعیت دو عامل انسان‌ساز مؤثر در مکان‌یابی بندهای رسوب‌گیر محسوب می‌شوند (Pourghasemi et al., 2020). مناطق فرسایش‌یافته به واسطه تولید رسوب، همواره جزء نواحی اولویت‌دار اقدامات سازه‌ای آبخیزداری است و اجرای اقدامات مکانیکی آبخیزداری در این مناطق مانع از انتقال رسوبات ناشی از فرسایش به مناطق پایین‌دست و بروز خسارات ناشی از سیلاب‌های با غلظت بالای رسوب می‌شود (Li et al., 2024).

جدول ۲- عوامل موثر در نظر گرفته شده جهت مکان‌یابی سازه‌های کنترل سیل و رسوب آبخیزداری

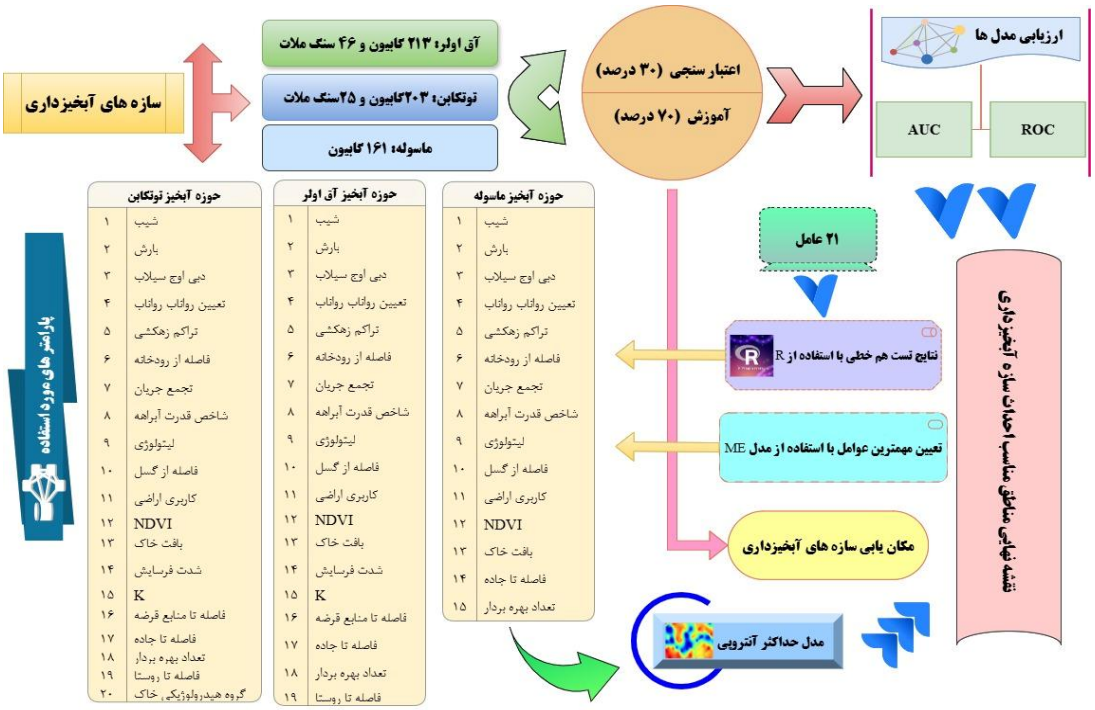
Table 2– The influencing Factors of site selection of flood and sediment control watershed structures

Effective factors	**Source**
Elevation	DEM: ALOS PALSAR, 12.5 M
Slope	DEM: 12.5 M & Slope in ArcGIS
Discharge & Runoff	SCS approach
Precipitation	Average annual precipitation data from stations and geostatistical methods
Flow accumulation & Stream Power index	DEM in SAGA GIS 8
Drainage density	Line Density in ArcGIS
River distance, Borrow pits distance, Fault distance, Road distance & Village distance	Euclidian distance tool in ArcGIS
Lithology	Geology Map, Scale: 100,000
Land use	Google Earth
NDVI	Landsat 8 OLI/TIRS in SAGA GIS 8
Soil Texture, Hydrological group and erodibility	Soil science report from detailed watershed management studies
Erosion Intensity	Erosion report from detailed watershed management studies (MPSIAK)
Population Density	Population statistics from the Statistical Center of Iran

پس از انتخاب عوامل موثر بر مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری، به‌منظور بررسی هم‌خطی چندگانه میان متغیرها، عامل تورم واریانس (VIF)[3] و شاخص ضریب تحمل (TOL)[4] در نرم‌افزار R محاسبه شد. بر اساس VIF<10 و TOL>0.1، متغیرهایی که دارای هم‌خطی بالا بودند از فرآیند مدل‌سازی حذف شدند. در نهایت، عوامل با مقادیر VIF کمتر از ۱۰ و TOL بیشتر از ۰/۱ به‌عنوان متغیرهای نهایی وارد فرآیند مدل‌سازی شدند و نقشه نهائی مکان‌های مناسب احداث سازه‌ها براساس آن‌ها تهیه شد (Cama et al., 2017; Arabameri et al., 2021; Da Costa et al., 2025). شکل ۴ نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

[1] Normalized Difference Vegetation Index
[2] Hydrological Soil Group
[3] Variance Inflation Factor
[4] Tolerance

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]



شکل ۴- نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق

Figure 4– Flowchart of the research methodology

نتایج و بحث

پیش از پیاده‌سازی مدل حداکثر آنتروپی تست هم‌خطی بین متغیرها بر اساس دو سنجه آماری عامل تورم واریانس (VIF) و شاخص ضریب تحمل (TOL) انجام شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که بین متغیرها هم‌خطی وجود دارد بنحوی‌که در حوزه آبخیز آق‌اولر عوامل ارتفاع و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، در حوزه آبخیز ماسوله عوامل ارتفاع، گروه‌های هیدرولوژیکی و ضریب فرسایش پذیری خاک، شدت فرسایش، تعداد بهره‌بردار و فاصله تا روستا و در حوزه توتکابن عامل ارتفاع از فرآیند مدل‌سازی حذف شدند.

جدول ۳- نتایج تست هم‌خطی چندگانه بین عوامل مورد استفاده

Table 3- The results of the multicollinearity test among the factors used

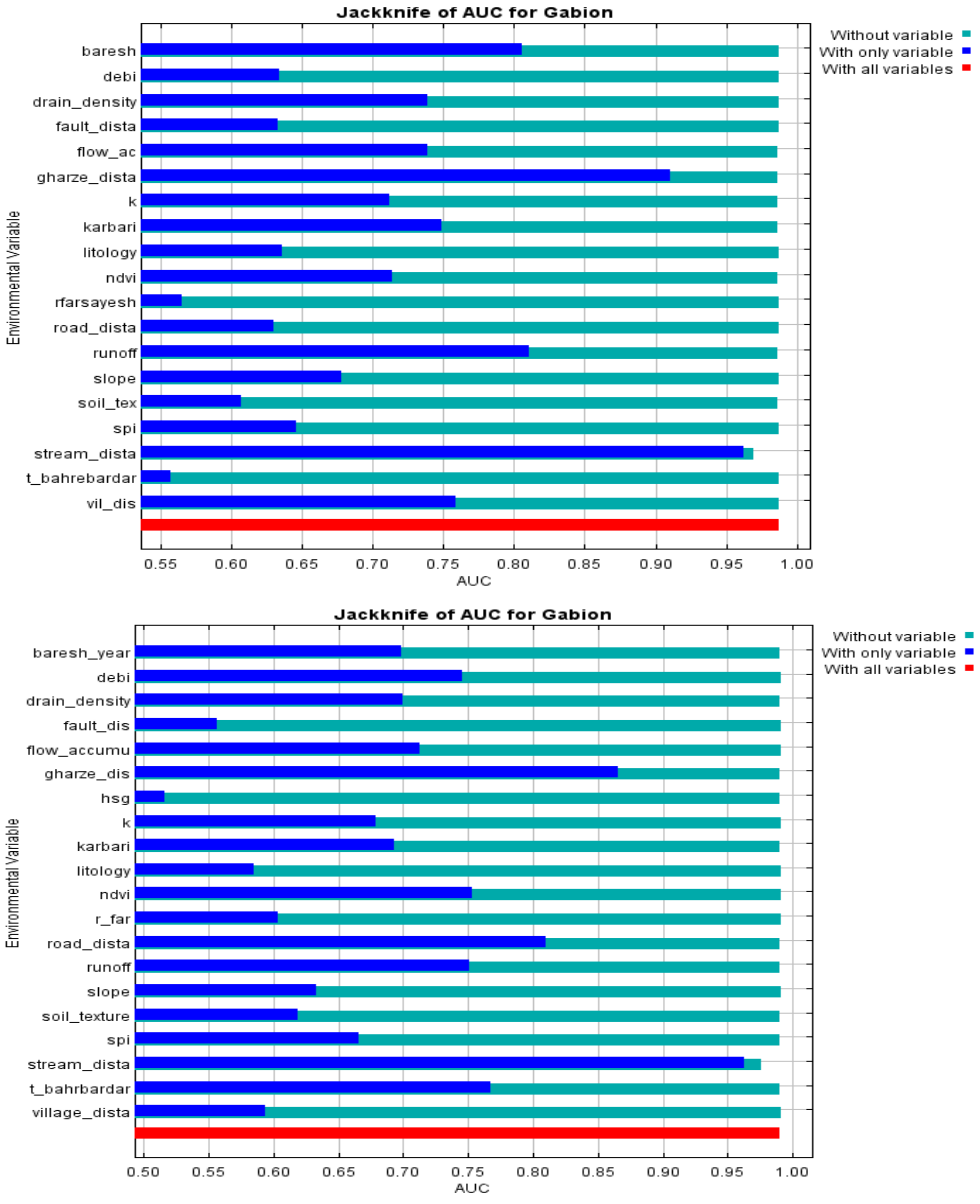
Variables	Aghevlar		Masouleh		Toutkabon	
	VIF	Tol	VIF	Tol	VIF	Tol
Elevation	-	-	-	-	-	-
Soil Erodibility	6.31	0.16	8.04	0.12	-	-
Stream Power Index	1.32	0.75	5.00	0.20	9.49	0.11
River distance	1.09	0.92	1.09	0.92	1.04	0.96
Borrow pits distance	1.45	0.69	1.90	0.53	1.78	0.56
Slope	2.97	0.34	1.55	0.64	1.97	0.51
Flow Accumulation	1.70	0.59	5.02	0.20	9.81	0.10
Runoff	4.14	0.24	4.18	0.24	9.32	0.11
Fault distance	4.61	0.22	1.35	0.74	3.44	0.29
Road distance	1.92	0.52	1.82	0.55	4.76	0.21
Erosion Intensity	4.36	0.23	2.01	0.50	-	-
Drainage density	2.97	0.34	1.89	0.53	4.81	0.21
NDVI	2.44	0.41	1.27	0.79	1.40	0.72
Distance to Village	7.61	0.13	2.14	0.47	-	-
Peak Flow Discharge	4.67	0.21	1.33	0.75	4.72	0.21
Number of Beneficiary	3.11	0.32	2.99	0.33	-	-
Annual Precipitation	6.23	0.16	1.73	0.58	2.65	0.38
Land use	1.70	0.59	7.83	0.13	3.21	0.31
Lithology	4.83	0.21	8.03	0.12	2.79	0.36
Soil Texture	5.31	0.19	7.33	0.14	2.65	0.38
Soil Hydrologic group	-	-	2.65	0.38	-	-

-: Removing a variable from the modeling process due to collinearity

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

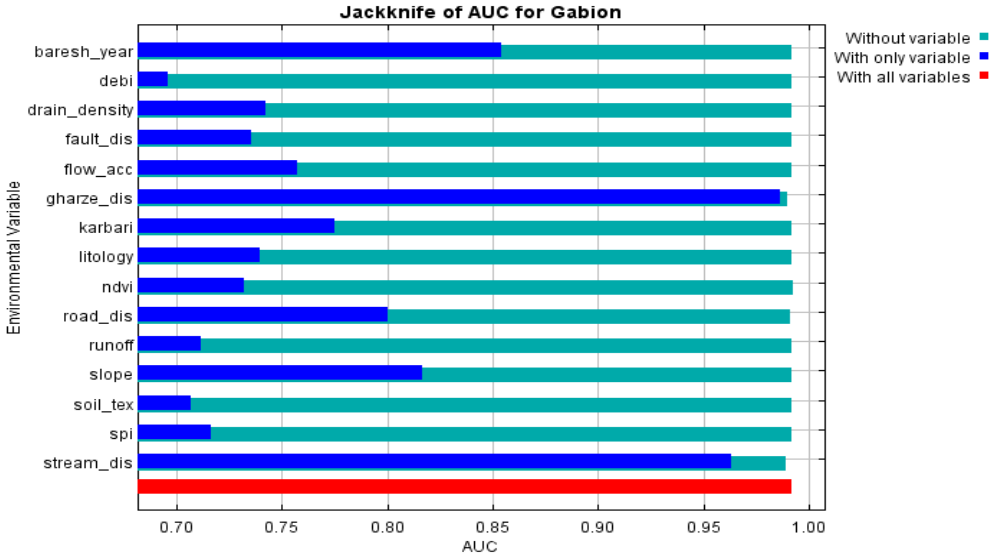
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

نتایج اهمیت متغیرها در انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های گابیونی در هر یک از حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه با استفاده از آزمون جک‌نایف در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که پنج متغیر تاثیرگذار در حوزه آبخیز آق‌اولر به‌ترتیب شامل فاصله از رودخانه، فاصله تا منابع قرضه، ارتفاع روانآب، بارش و فاصله تا روستا، در حوزه آبخیز توتکابن شامل فاصله از رودخانه، فاصله تا منابع قرضه، فاصله تا جاده، تعداد بهره‌بردار و ارتفاع روانآب و در حوزه آبخیز ماسوله به‌ترتیب شامل فاصله تا منابع قرضه، فاصله از رودخانه، بارش، شیب و فاصله تا جاده است. برابر نتایج بدست آمده از این آزمون، متغیرهای فاصله تا منابع قرضه، فاصله از رودخانه، ارتفاع روانآب، بارش و شیب به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار در انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های گابیونی در هر سه حوزه آبخیز تعیین شدند. با توجه به اینکه سازه‌های آبخیزداری همواره در بستر آبراهه احداث می‌شود، از این‌رو عامل فاصله از رودخانه (آبراهه) به‌عنوان عامل مهم در جانمایی سازه‌های آبخیزداری محسوب می‌شود. از سویی دیگر، فاصله تا منابع قرضه نیز از عوامل اصلی کاهش هزینه‌های اجرایی است بنحوی که یکی از عوامل محدودکننده در احداث سازه‌های آبخیزداری منابع قرضه بوده و هر چه فاصله محل احداث سازه تا منابع قرضه کمتر باشد در اولویت اجرا قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از این تحقیق با یافته‌های مطالعات Hagos et al. (2020) مبنی بر اثرگذاری عامل فاصله از رودخانه روی انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های آبخیزداری و نتایج Dabiri et al. (2024) مبنی‌بر تاثیر ویژه عوامل فاصله تا روستا و شیب در مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سازه‌های گابیونی همخوانی دارد و با نتایج تحقیقات Pourghasemi et al. (2020) مبنی‌بر تاثیر ویژه تراکم‌زهکشی بر مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری به‌دلیل تفاوت در نوع منطقه، شرایط آب و هوایی و نوع خاک منطبق نیست.



[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]



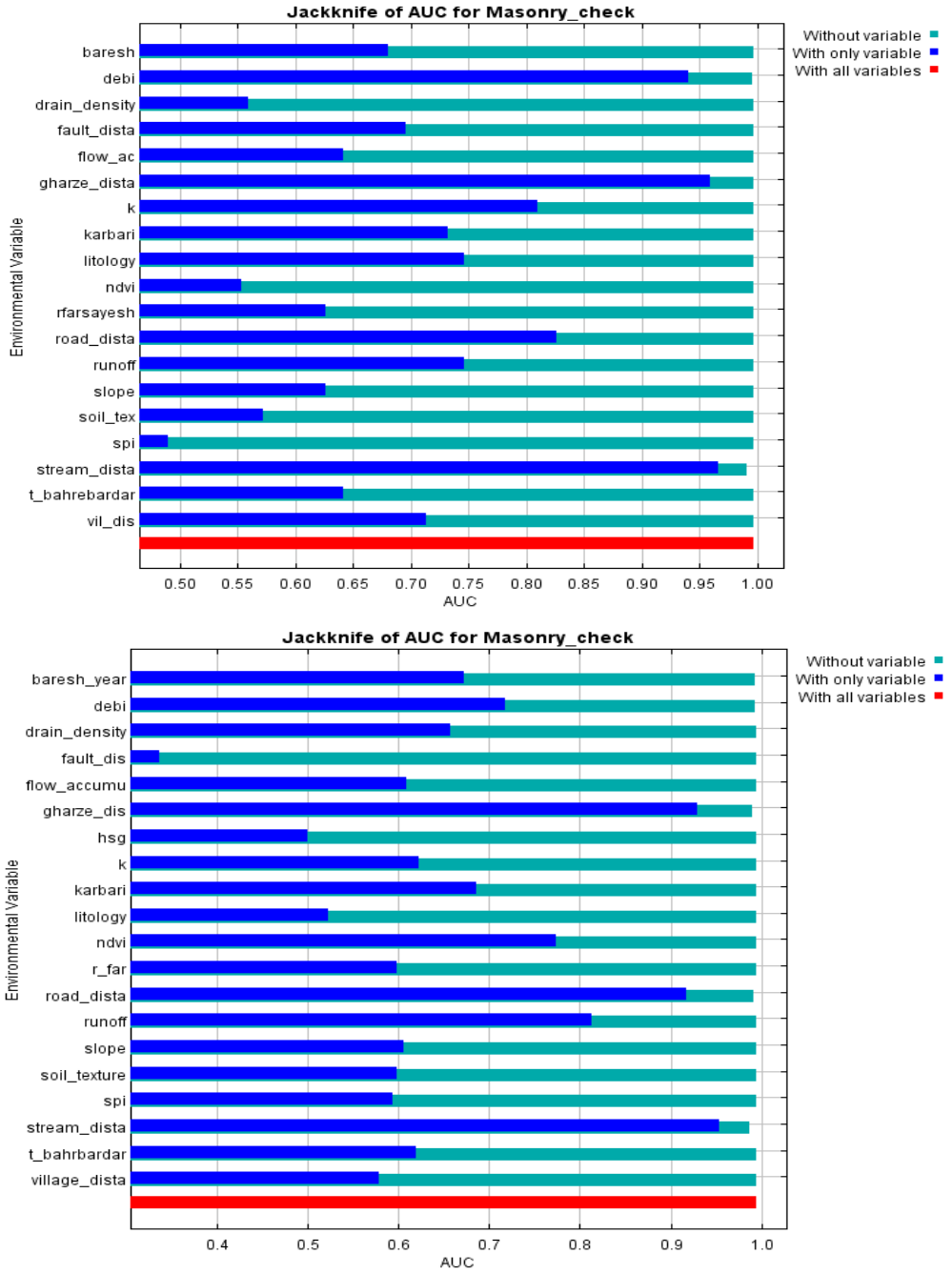
شکل ۵- نتایج آزمون جک‌نایف جهت مکان‌یابی سازه‌های گابیونی در حوزه آبخیز آق‌اولر (بالا)، توتکابن (وسط) و ماسوله (پایین)

Figure 5– Results of the Jackknife test for site selection of gabion structures in the Aghevlar (top), Tutkabon (middle), and Masouleh (bottom) watersheds

نتایج تعیین اهمیت متغیرها در انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های سنگی‌ملاتی در حوزه‌های آبخیز آق‌اولر و توتکابن با استفاده از آزمون جک‌نایف در شکل ۶ نشان داده شده است. این در حالی است که حوزه آبخیز ماسوله از پتانسیل لازم برای احداث سازه سنگی‌ملاتی برخوردار نیست. زیرا سازه‌های سنگی‌ملاتی عمدتا در آبراهه‌های با رتبه‌های بالا و در اراضی پایین‌دست و با شیبِ کم آبراهه احداث می‌شوند، اما اراضی پایین‌دست حوزه آبخیز ماسوله، پرشیب بوده و پوشیده از جنگل است و نیازی به احداث سازه نیست. یافته‌ها نشان داد که پنج متغیر مهم تاثیرگذار در حوزه آبخیز آق‌اولر به‌ترتیب شامل فاصله از رودخانه، فاصله تا منابع قرضه، دبی اوج سیل، فاصله تا جاده و ضریب فرسایش‌پذیری خاک و در حوزه آبخیز توتکابن به‌ترتیب شامل فاصله از رودخانه، فاصله تا منابع قرضه، فاصله تا جاده، ارتفاع روانآب و دبی اوج سیل است. باتوجه به نتایج بدست آمده، متغیرهای فاصله از رودخانه، فاصله تا منابع قرضه، دبی اوج سیل، ارتفاع روانآب و فاصله تا جاده به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار در انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های سنگی‌ملاتی در هر دو حوزه آبخیز آق‌اولر و توتکابن تعیین شدند. نتایج حاضر نشان داد که علاوه بر عوامل هیدرولوژیکی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل موثر در مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری، عوامل فاصله تا منابع قرضه و جاده نیز نقش کلیدی در مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری دارند. یکی از دلایل این امر بحث اقتصادی تامین مصالح و راه دسترسی جهت احداث سازه‌ها است. هر چقدر 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. Noori et al. (2019)، Hagos et al. (2020) و Bihon et al. (2022) نیز در پژوهش‌های خود بر اهمیت بررسی جاده تاکید کرده‌اند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]



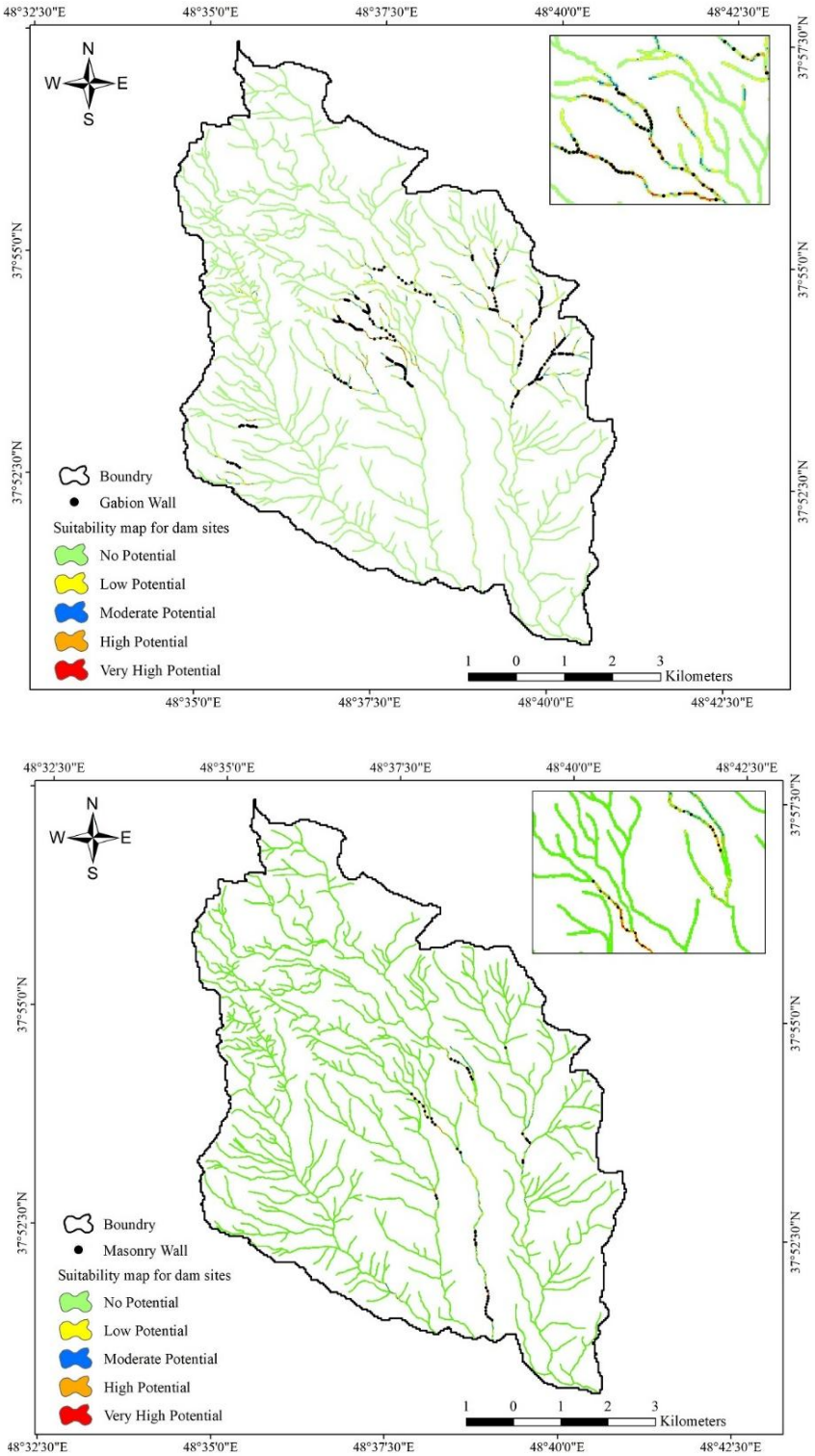
شکل ۶- نتایج آزمون جک‌نایف جهت مکان‌یابی سازه‌های سنگی‌ملاتی در حوزه آق‌اولر (بالا)، توتکابن (پایین)

Figure 6– Results of the Jackknife test for site selection of masonry wall in the Aghevlar (top) and Tutkabon (bottom) watersheds

نقشه بهترین مکان احداث سازه‌های گابیونی و سنگی‌ملاتی در حوزه‌های آبخیز آق‌اولر، توتکابن و ماسوله با بکارگیری ۲۱ عامل موثر در مکان‌یابی اقدامات سازه‌ای آبخیزداری با استفاده از نرم‌افزار Maxent تهیه شده و نقشه خروجی در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 براساس طبقات ۰–۰/۲ (بدون پتانسیل)، ۰/۲–۰/۴ (پتانسیل کم)، ۰/۴–۰/۶ (پتانسیل متوسط)، ۰/۶–۰/۸ (پتانسیل زیاد) و ۰/۸–۱ (پتانسیل خیلی زیاد) طبقه‌بندی شد (شکل‌های ۷ تا ۹). بر این اساس بهترین مکان برای احداث سازه‌های گابیونی و سنگی‌ملاتی، آبراهه‌هایی است که عدد پتانسیل آن‌ها بزرگ‌تر از ۰/۶ است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

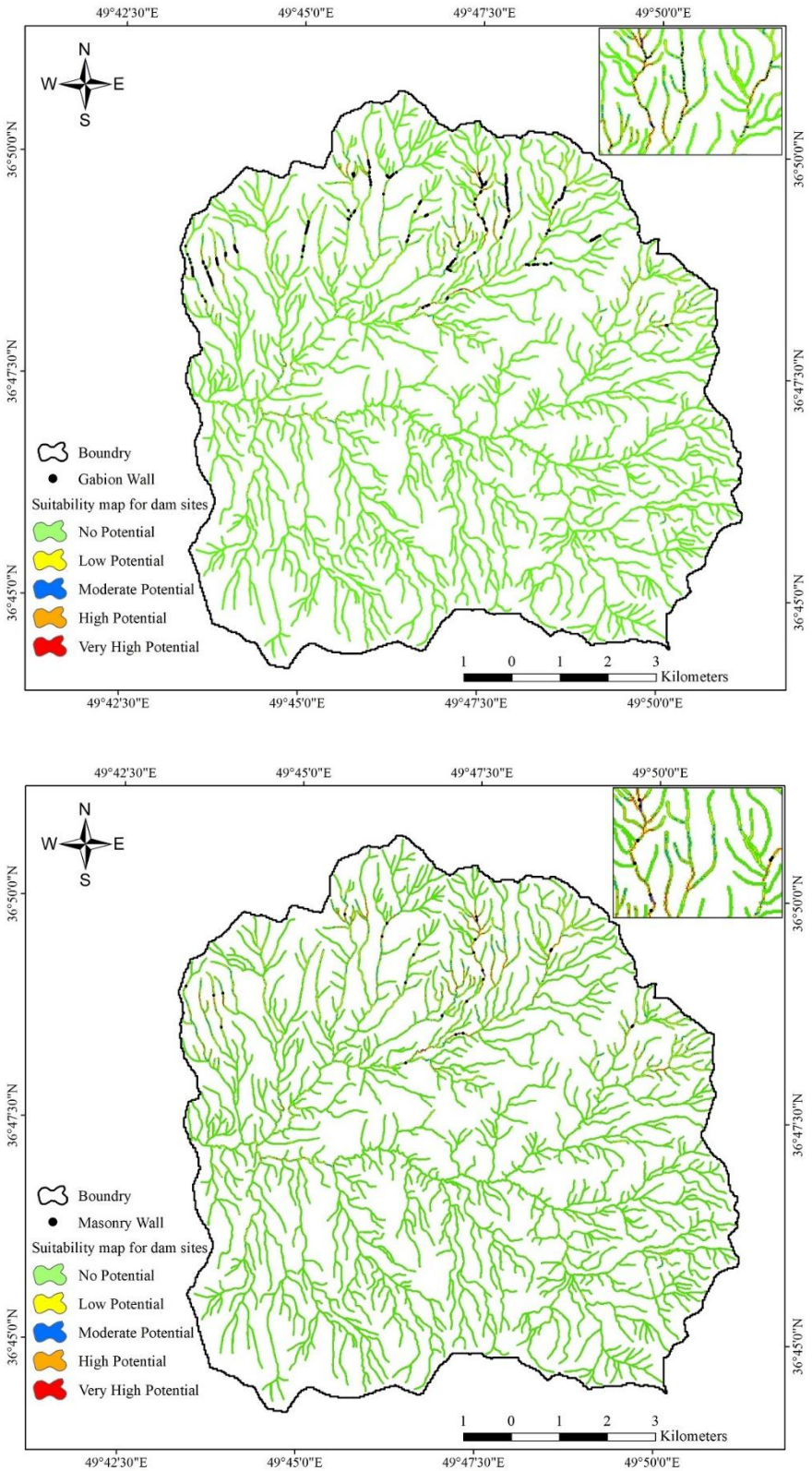


شکل ۷- نقشه نهایی پتانسیل احداث سازه‌های گابیونی (تصویر بالا) و سنگی‌ملاتی (تصویر پایین) در حوزه آبخیز آق‌اولر

Figure 7– Final potential map for the construction of gabion (top image) and masonry wall (bottom image) structures in the Aghevlar watershed

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

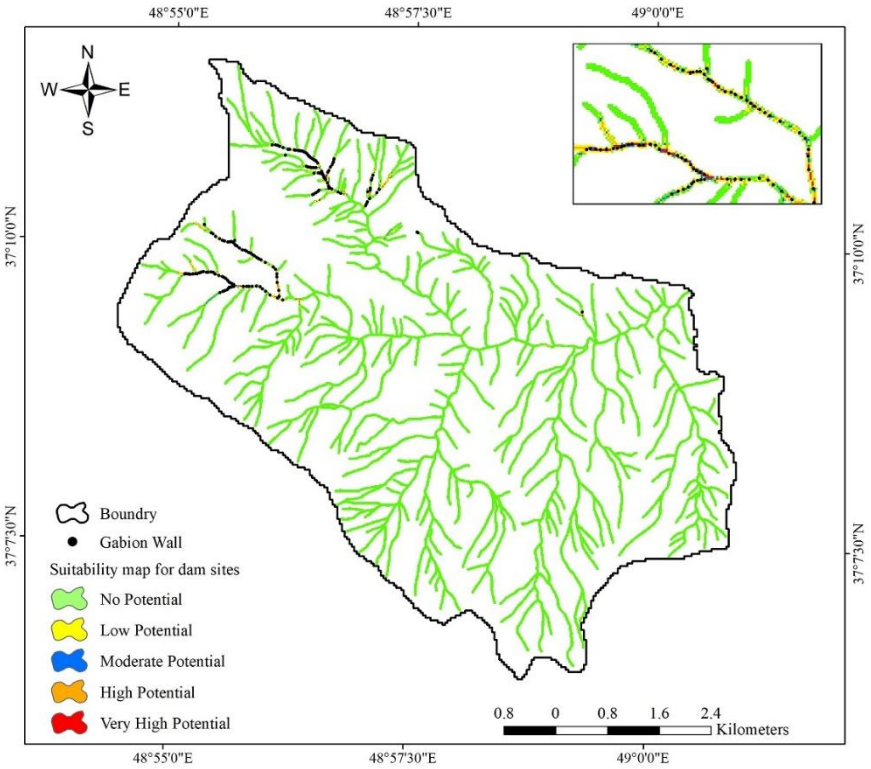


شکل ۸- نقشه نهایی پتانسیل احداث سازه‌های گابیونی (تصویر بالا) و سنگی‌ملاتی (تصویر پایین) در حوزه آبخیز توتکابن

Figure 8– Final potential map for the construction of gabion (top image) and masonry wall (bottom image) structures in the Tutkabon watershed

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]



شکل ۹- نقشه نهایی پتانسیل احداث سازه‌های گابیونی در حوزه آبخیز ماسوله

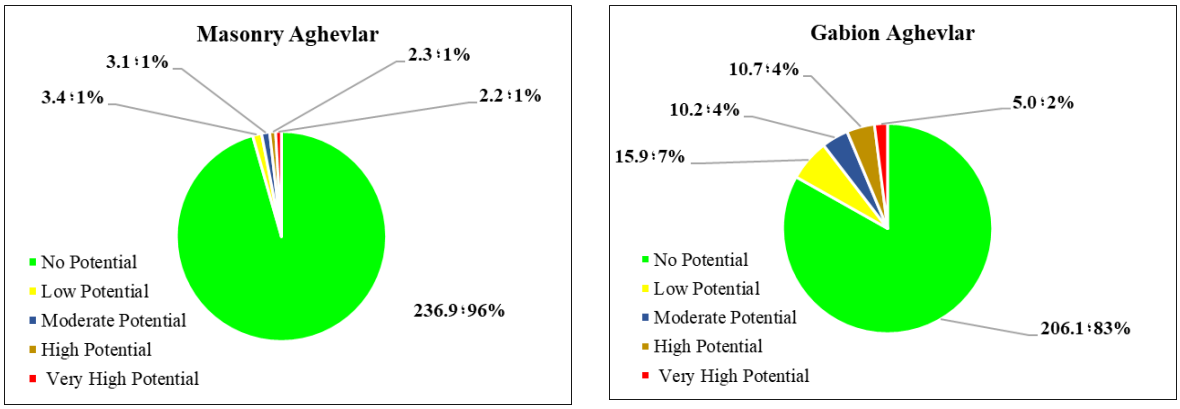
Figure 9– Final potential map for the construction of structures in the Masouleh watershed

نتایج بدست‌آمده از نقشه‌های پتانسیل نشان داد که ۱۵/۷ و ۴/۵ کیلومتر از آبراهه‌های واقع در حوزه آبخیز آق‌اولر به‌ترتیب معادل شش و دو درصد کل آبراهه‌های حوزه، دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد برای احداث سازه‌های گابیونی و سنگی‌ملاتی بوده و بهترین مکان برای اجرای اقدامات سازه‌ای آبخیزداری هستند (شکل ۱۰). همچنین ۳۹/۵ و ۲۰/۱ کیلومتر از آبراهه‌های واقع در حوزه آبخیز توتکابن به‌ترتیب معادل هشت و چهار درصد کل آبراهه‌های حوزه، دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد برای احداث سازه‌های گابیونی و سنگی‌ملاتی هستند (شکل ۱۱). ضمن آن‌که ۷/۵ کیلومتر از آبراهه‌های واقع در حوزه آبخیز ماسوله معادل چهار درصد کل آبراهه‌های حوزه، دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد برای احداث سازه‌های گابیونی هستند (شکل ۱۲).

نتایج نشان داد که سازه‌های آبخیزداری عمدتا در کاربری مرتع با دامنه‌های فرسایش یافته، مکان‌یابی شده و در کاربری جنگل بواسطه پوشیده شدن دامنه‌ها با تاج پوشش درختان به‌ندرت سازه‌های آبخیزداری مکان‌یابی شده‌اند. همچنین نتایج حاکی از آن است که سازه‌های گابیونی در ارتفاعات میانی تا فوقانی حوزه در جایی که دبی جریان آبراهه کم بوده مکان‌یابی شده‌اند، این در حالی است که سازه‌های سنگی‌ملاتی بطور عمده در ارتفاعات میانی و پایین‌دست حوزه‌های مورد مطالعه که آبراهه دارای جریان پایه بوده و جریانات سیلابی با شدت زیاد، دهانه آبراهه را عریض نموده است، مکان‌یابی شده است. ضمن آن‌که براساس مشاهدات میدانی در برخی نقاط مکان‌یابی شده برای احداث سازه‌های گابیونی، در صورت وجود راه دسترسی مناسب، می‌توان سازه گابیونی را به سنگی‌ملاتی تبدیل نمود. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های حاصل از مطالعات Davoudi Moghaddam & Haghizadeh. (2021)، Teimouri et al. (2024) و Martins et al. (2025) مبنی بر کاربرد ویژه مدل حداکثر آنتروپی به‌عنوان یکی از مدل‌های مهم یادگیری ماشین در انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های کنترل سیل و رسوب آبخیزداری و سایر مطالعات مکان‌یابی عوامل طبیعی مطابقت دارد.

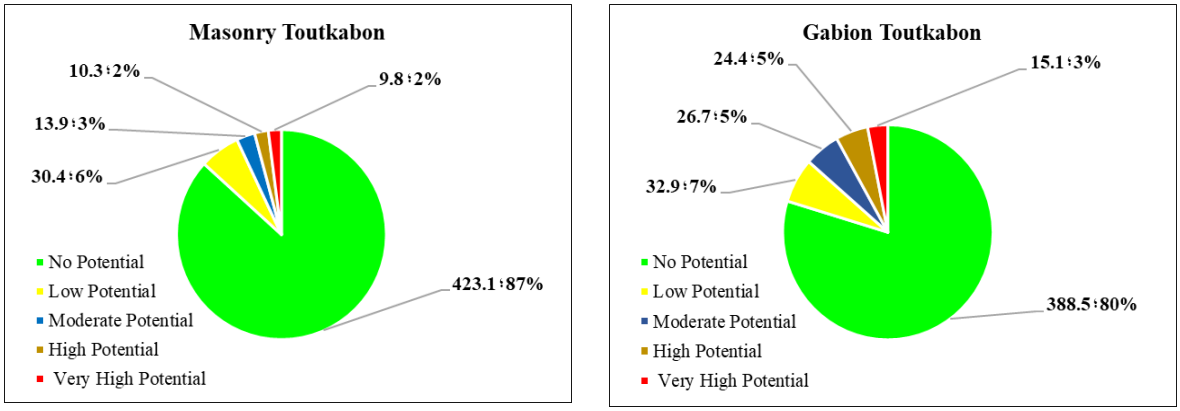
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]



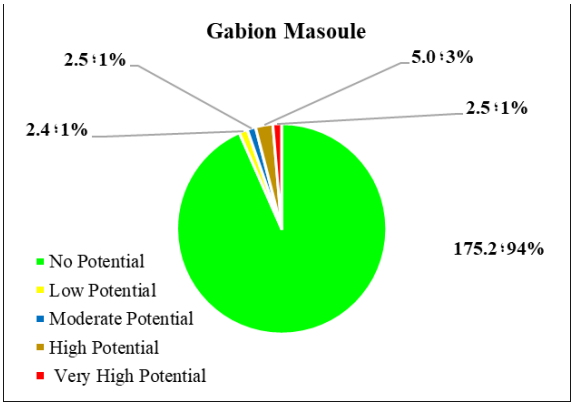
شکل ۱۰- پتانسیل آبراهه‌های حوزه آبخیز آق‌اولر جهت احداث سازه‌های گابیونی (سمت راست) و سنگی‌ملاتی (سمت چپ)

Figure 10– Potential of the Aghevlar watershed channels for the construction of gabion (right) and masonry wall (left) structures



شکل ۱۱- پتانسیل آبراهه‌های حوزه آبخیز توتکابن جهت احداث سازه‌های گابیونی (سمت راست) و سنگی‌ملاتی (سمت چپ)

Figure 11– Potential of the Tutkabon watershed channels for the construction of gabion (right) and masonry wall (left) structures



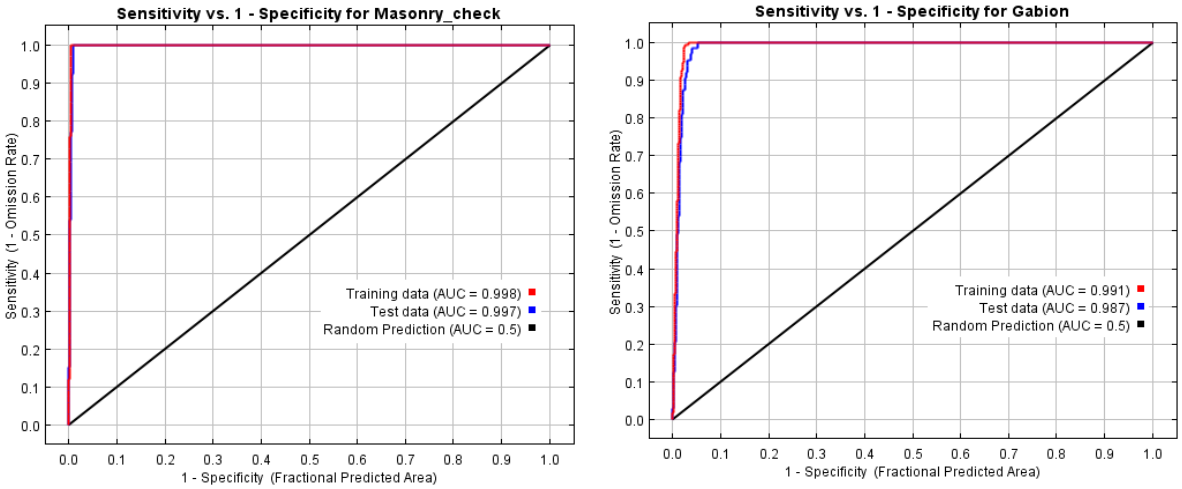
شکل ۱۲- پتانسیل آبراهه‌های حوزه آبخیز ماسوله جهت احداث سازه‌های گابیونی

Figure 12– Potential of the Masouleh watershed channels for the construction of gabion structures

شکل ۱۳ تا ۱۵ نتایج ارزیابی عملکرد مدل حداکثر آنتروپی در مراحل آموزش و اعتبارسنجی را بر اساس AUC به‌دست آمده از منحنی ROC نشان می‌دهد. یافته‌ها حاکی از آن است که دقت مدل در مکان‌یابی سازه‌های گابیونی در حوزه آبخیز آق اولر در مرحله آموزش و اعتبارسنجی به‌ترتیب برابر ۰/۹۹۱ و ۰/۹۸۷؛ در حوزه آبخیز توتکابن به‌ترتیب برابر ۰/۹۹۱ و ۰/۹۹۰ و در حوزه آبخیز ماسوله به‌ترتیب برابر ۰/۹۹۳ و ۰/۹۹۲ است. در مکان‌یابی سازه‌های سنگی‌ملاتی دقت مدل در مرحله آموزش و اعتبارسنجی در حوزه آبخیز آق‌اولر به‌ترتیب برابر ۰/۹۹۸ و ۰/۹۹۷ و در حوزه آبخیز توتکابن به‌ترتیب برابر ۰/۹۹۸ و ۰/۹۹۴ است. ارزیابی عملکرد مدل در هر دو مرحله آموزش و اعتبارسنجی

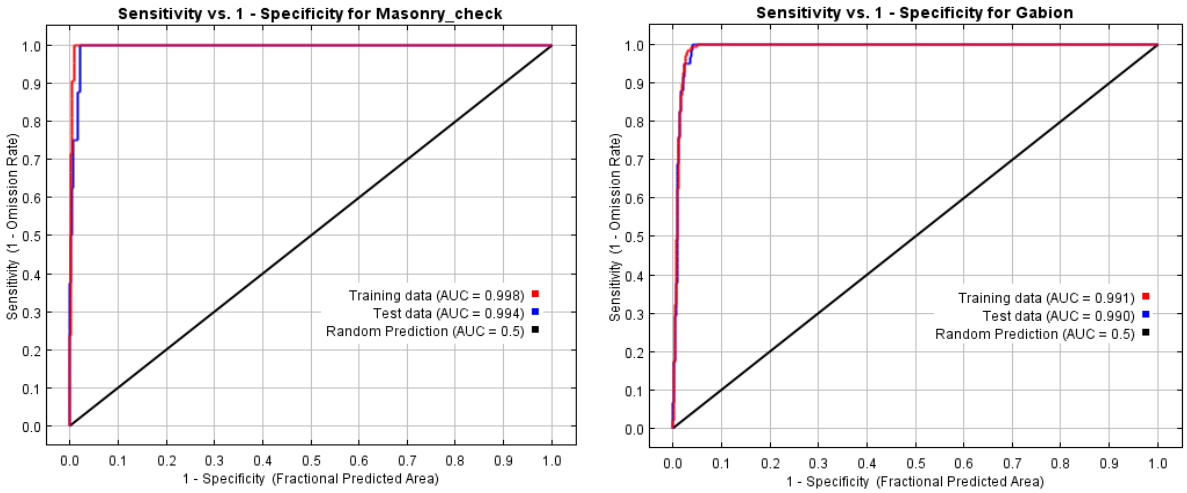
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل حداکثر آنتروپی در انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های کنترل سیل و رسوب گابیونی و سنگی‌ملاتی آبخیزداری در حوزه‌های مورد مطالعه است و بنابراین با توجه به نتایج می‌توان به پیش‌بینی مدل حداکثر آنتروپی اعتماد کرد. نتایج حاصل‌شده با نتایج حاصل از مطالعات Teimouri et al. (2024) در مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سازه‌های آبخیزداری در استان البرز با AUC برابر ۰/۹۵۹ و ۰/۹۶۱ به‌ترتیب در مراحل آموزش و اعتبارسنجی و نتایج تحقیقات Harshasimha & Bhatt (2023) در مکان‌یابی مناطق مستعد وقوع‌سیل با AUC برابر ۰/۸۳ هم‌خوانی دارد.



شکل ۱۳- مقادیر AUC منحنی مشخصه عملکرد (ROC) در مکان‌یابی سازه گابیونی (راست) و سنگی‌ملاتی (چپ) حوزه آبخیز آق‌اولر

Figure 13– AUC values of the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve for locating gabion (right) and masonry wall (left) structures in the Aghevlar watershed

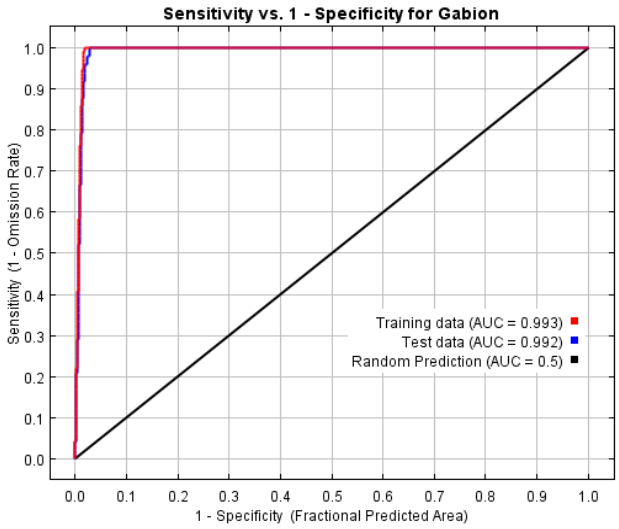


شکل ۱۴- مقادیر AUC منحنی مشخصه عملکرد (ROC) در مکان‌یابی سازه گابیونی (راست) و سنگی‌ملاتی (چپ) حوزه آبخیز توتکابن

Figure 14– AUC values of the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve for locating gabion (right) and masonry wall (left) structures in the Tutkabon watershed

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

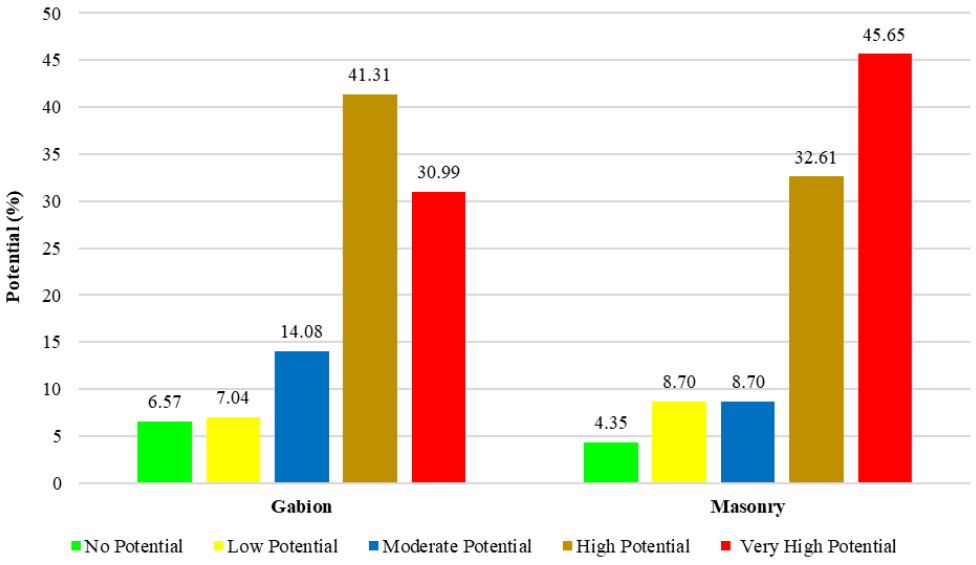
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]



شکل ۱۵- مقادیر AUC منحنی مشخصه عملکرد (ROC) در مکان‌یابی سازه گابیونی حوزه آبخیز ماسوله

Figure 15– AUC values of the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve for locating gabion structures in the Masouleh watershed

میزان انطباق نقشه نهایی مناطق بحرانی (پتانسیل زیاد و خیلی زیاد) و سازه‌های آبخیزداری (گابیونی و سنگی‌ملاتی) موجود در حوزه‌های آبخیز آق‌اولر، توتکابن و ماسوله به‌ترتیب در اشکال ۱۶، ۱۷ و ۱۸ ارائه شده است. مطابق نتایج بدست آمده از مجموع ۶۴۹ سازه احداث‌شده در حوزه‌های مورد مطالعه، تعداد ۵۰۸ سازه (حدود ۸۰ درصد سازه‌ها) در محدوده پتانسیل متوسط و زیاد نقشه بدست‌آمده از مدل حداکثر آنتروپی قرار دارد و از این بین، تعداد ۴۱۸ سازه (حدود ۶۵ درصد سازه‌ها) در محدوده پتانسیل زیاد نقشه حاصل شده از این مدل قرار گرفته است.

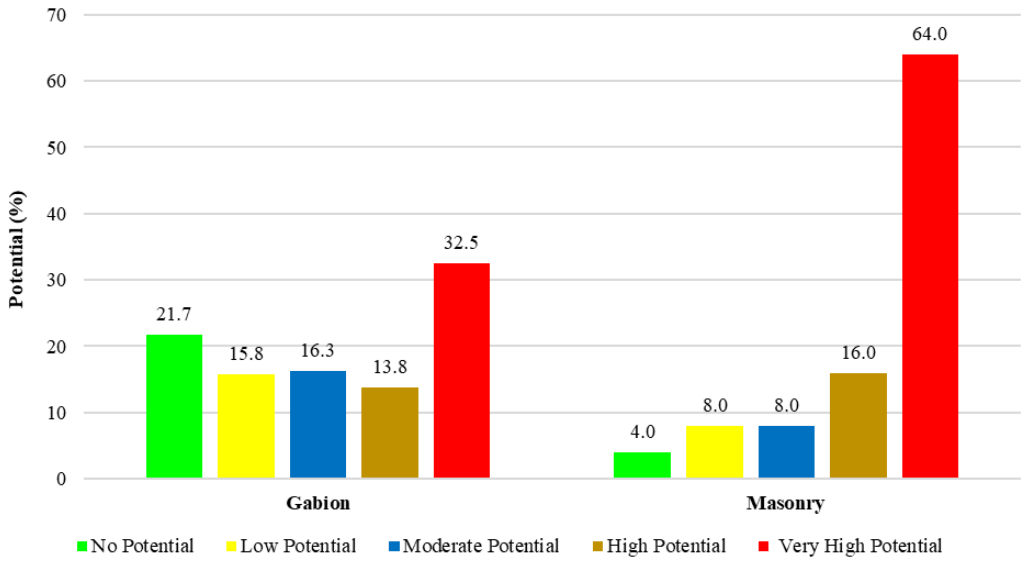


شکل ۱۶- میزان انطباق نقشه نهایی و سازه‌های موجود آبخیزداری حوزه آبخیز آق‌اولر

Figure 16– Agreement between the final suitability map and the existing watershed management structures in the Aghevlar watershed

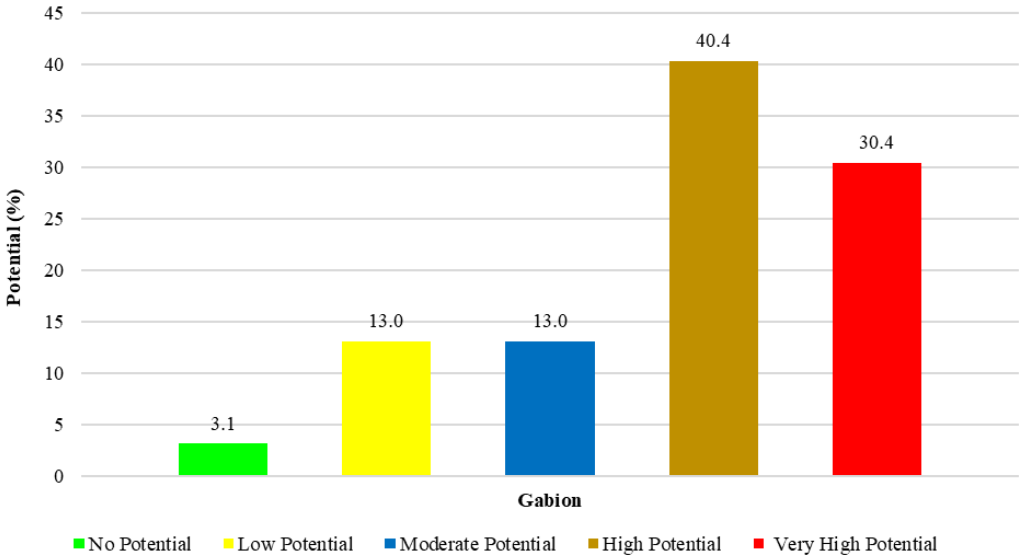
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]



شکل ۱۷- میزان انطباق نقشه نهایی و سازه‌های موجود آبخیزداری حوزه آبخیز توتکابن

Figure 17– Agreement between the final suitability map and the existing watershed management structures in the Tutkabon watershed



شکل ۱۸- میزان انطباق نقشه نهایی و سازه‌های موجود آبخیزداری حوزه آبخیز ماسوله

Figure 17– Agreement between the final suitability map and the existing watershed management structures in the Masouleh watershed

تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که میزان انطباق نقشه نهایی مناطق بحرانی (پتانسیل زیاد و خیلی زیاد) و سازه‌های آبخیزداری (گابیونی و سنگی‌ملاتی) موجود در حوزه آبخیز آق‌اولر به‌ترتیب برابر ۷۲/۳ و ۷۸/۳ درصد، در حوزه آبخیز توتکابن به‌ترتیب برابر ۴۶/۳ و ۸۰ درصد و در حوزه آبخیز ماسوله برای سازه‌های گابیونی برابر ۷۰/۸ درصد است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که میزان انطباق مناطق مستعد مکان‌یابی شده برای احداث سازه‌های آبخیزداری با سازه‌های گابیونی و سنگی‌ملاتی موجود عمدتا بیش از ۷۰ درصد است و این مطلب نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل حداکثر آنتروپی در تعیین مناطق با اولویت اقدامات اجرایی آبخیزداری است و لازم است از نقش ارزنده این مدل به‌عنوان یک روش نوین در بحث جانمایی سازه‌های آبخیزداری که با کاهش هزینه و مدیریت زمان همراه است، استفاده شود. نتایج حاصل از این تحقیق با یافته‌های حاصل از مطالعات Davoudi Moghaddam & Haghizadeh. (2021)، Pourghasemi et al. (2020) و Martins et al. (2025) در تعیین مناطق و آبراهه‌های با طبقه بسیار مناسب برای احداث سازه‌های کنترل سیل و رسوب آبخیزداری با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین بویژه مدل حداکثر آنتروپی مطابقت دارد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

نتیجه‌گیری

روش‌های سنتی مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری عمدتاً متکی بر بازدیدهای میدانی و قضاوت کارشناسان بوده و با بروز خطاهای انسانی و انتخاب نامناسب مکان‌ها همراه است. بهره‌گیری از روش‌های یادگیری ماشین با کاهش بازدیدهای پرهزینه میدانی و افزایش دقت و قابلیت اعتماد تحلیل‌ها، جایگزین کارآمدی برای رویکردهای سنتی فراهم می‌کند. این مطالعه با هدف انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های کنترل سیل و رسوب آبخیزداری با استفاده مدل حداکثر آنتروپی (Maxent) به‌عنوان یکی از مدل‌های یادگیری ماشین به دلیل عدم نیاز به داده‌های حضور و کاهش عدم‌قطعیت‌های موجود، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش هزینه‌های اجرایی و ارتقای کارایی پروژه‌ها ایفا می‌کند. عوامل متعددی بر مکان‌یابی احداث سازه‌های گابیونی و سنگی‌ملاتی آبخیزداری تأثیر می‌گذارند و شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جانمایی سازه‌های آبخیزداری، گامی اساسی در انجام مدل‌سازی دقیق است. نتایج این پژوهش با استفاده از آزمون جک‌نایف نشان داد 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 مورد از عوامل، نقش مهم‌تری ایفا می‌کنند و این موضوع نشان‌دهنده پیچیدگی مکان‌یابی مناسب سازه‌های آبخیزداری و تاثیرپذیری از عوامل مختلف است. با این حال، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که متغیرهای فاصله تا منابع قرضه، فاصله از رودخانه، ارتفاع روانآب، بارش و شیب به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار در انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های گابیونی و متغیرهای فاصله از رودخانه، فاصله تا منابع قرضه، دبی اوج سیل، ارتفاع روانآب و فاصله تا جاده به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار در انتخاب بهترین مکان احداث سازه‌های سنگی‌ملاتی در حوزه‌های مورد مطالعه هستند. نتایج حاضر نشان داد که علاوه بر عوامل هیدرولوژیکی مانند بارش سالانه، ارتفاع روانآب و دبی اوج سیل که همواره به‌عنوان مهمترین عوامل در مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری مطرح هستند، عوامل فاصله تا منابع قرضه و جاده دسترسی بخصوص در دهه اخیر به دلیل مشکلات موجود در تامین مصالح و راه دسترسی مناسب جهت احداث سازه‌ها، جزء عوامل موثر در مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری بوده‌اند. بررسی‌های بعمل آمده حاکی از آن است که در برآورد هزینه‌های اجرای اقدامات سازه‌ای آبخیزداری، هزینه‌های مربوط به حمل مصالح در سال‌های اخیر قابل توجه بوده و هر چقدر 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. بنابراین لازم است که این عوامل در مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری بیش از پیش مدنظر قرار گیرند. در این پژوهش، مناطق با پتاسیل زیاد و خیلی‌زیاد برای احداث سازه‌های آبخیزداری با بهره‌گیری از مدل حداکثر آنتروپی مشخص شد، بنحوی که از مجموع ۹۲۳ کیلومتر طول کل آبراهه‌های سه حوزه مورد مطالعه، ۴۰ و ۲۳ کیلومتر به‌ترتیب به‌عنوان مناطق با پتاسیل زیاد و خیلی‌زیاد برای احداث سازه گابیونی و ۲۷ و ۱۲ کیلومتر به‌عنوان مناطق با پتاسیل زیاد و خیلی‌زیاد برای احداث سازه سنگی‌ملاتی شناسایی شد. طی بررسی‌های بعمل‌آمده، مکان‌یابی اقدامات سازه‌ای آبخیزداری در حوزه‌های مورد مطالعه طی بازه زمانی طولانی انجام شده است. مطالعات صحرایی به‌منظور مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری در این مقیاس عمدتا متشکل از یک گروه چندنفره و استفاده از خودروهای کمک‌دار است و مستلزم صرف هزینه‌های زیاد است. با استفاده از روش‌های مدل‌سازی و صرف هزینه و زمان بسیار کم نسبت به روش سنتی، این امکان فراهم می‌شود که ابتدا آبراهه‌های با پتاسیل زیاد و خیلی‌زیاد برای احداث سازه مشخص شده و سپس در این نواحی، مکان دقیق سازه‌ها با یک پیمایش کوتاه میدانی تعیین گردد. نتایج بدست آمده از منحنی مشخصه عملکرد (ROC) و سطح زیر منحنی AUC نیز نشان داد که دقت مدل حداکثر آنتروپی در شناسایی مناطق دارای پتانسیل احداث سازه‌های آبخیزداری، هم در مرحله آموزش و هم در مرحله اعتبارسنجی در هر سه حوزه آبخیز مورد مطالعه بیش از ۹۰ درصد بوده و در سطح عالی قرار دارد. ضمن آن‌که انطباق نقشه‌های پتانسیل تهیه‌شده با پراکنش سازه‌های موجود نشان داد که بیش از ۷۰ درصد از سازه‌های گابیونی و بیش از ۸۰ درصد از سازه‌های سنگی‌ملاتی در سه حوزه مورد مطالعه در پهنه‌های با پتانسیل متوسط و بالاتر برای احداث سازه‌های آبخیزداری قرار دارند. نتایج به‌دست آمده حاکی از کاربرد ویژه مدل حداکثر آنتروپی به‌عنوان یکی از مدل‌های مهم یادگیری ماشین در تشخیص بهترین مکان احداث سازه‌های آبخیزداری است. با توجه به سرعت و دقت بالای مدل پیشنهادی و محدودیت‌های مالی و لجستیکی موجود در مطالعات مکان‌یابی سازه‌های کنترل سیل و رسوب آبخیزداری، این رویکرد می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت پایدار منابع خاک و آب و کاهش خطر سیلاب ایفا کند. توسعه و به‌کارگیری این مدل در سایر حوزه‌های آبخیز کشور، چارچوبی کارآمد برای شناسایی مناطق مناسب احداث سازه‌های آبخیزداری فراهم می‌آورد و می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی طرح‌های توسعه و مدیریت راهبردی حوزه‌های آبخیز کشور و جهان مورد استفاده قرار گیرد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

حمایت مالی: این پژوهش با حمایت مالی شرکت مهندسان مشاور طرح و سازه شفارود در بخش مطالعات میدانی و ستادی انجام شد.

مشارکت نویسندگان: **قادری وانگاه، ب.:** مفهوم‌سازی پژوهش، روش‌شناسی، تحلیل‌های آماری و نگارش نسخه اولیه مقاله؛ **قضاوی، ر.:** مشاوره، ویرایش و بازبینی متن و کنترل روش‌شناسی و نتایج؛ **دخانی، س.:** مشاوره و بازبینی متن؛ **اسدی نلیوان، ا.:** مفهوم‌سازی پژوهش، مشاوره و تحلیل‌های نرم‌افزاری و آماری.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: نویسندگان از معاونت فنی و آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان و شرکت مهندسان مشاور طرح و سازه شفارود بابت ارائه اطلاعات مربوطه و همچنین از خانم دکتر مریم کاظم‌پور لارسری بابت مشاوره‌های نرم‌افزاری و آماری و از خانم دکتر الهام علی‌دوست بابت همکاری در مراحل مختلف اجرای پژوهش و بازبینی و ویراستاری متن قدردانی می‌کنند.

منابع

آوند، محمدتقی، جانی‌زاده، سعید و جعفری، فائزه (۱۳۹۹). ارزیابی کارایی مدل‌های یادگیری ماشین در تهیه نقشه احتمال خطر سیل. تخریب و احیاء اراضی طبیعی. ۱، ۳۲-۱۹. **dor:**20.1001.1.27174425.1399.1.1.4.3

باقلانی، محمد، رستمی، ناصرعلی و توکلی، مجید (۱۳۹۹). مکان‌یابی سازه‌های اصلاحی به روش فازی سلسله مراتبی در حوزه آبخیز شهری شهر ایلام. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۴(۵۰)، ۷۲-۶۸.

تیموری، مهدی، بیات، اصغر، شهبازی، علی، و اسدی نلیوان، امید (۱۴۰۳). مکان‌یابی سازه‌های آبخیزداری با استفاده از مدل یادگیری ماشین در حوزه آبخیز دهدر. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۳)، ۲۹-۱۴. **doi:**10.22034/iwm.2024.2021371.1126

حسینیه، سعیده‌سادات، حشمت‌پور، علی، روحانی، حامد و فرازجو، حسن (۱۴۰۴). اولویت‌بندی عملیات آبخیزداری براساس عوامل هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز چهل‌چای. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱۳ (۱)، ۴۹-۶۶. **dor:**20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4

خصلتی، سید مهدی، چزگی، جواد، تاجبخش فخرآبادی، سید محمد و دهقانی، مرتض. (۱۴۰۲). مکان‌یابی مناطق مناسب پخش سیلاب با روش تصمیم‌گیری بهترین-بدترین (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد فرخی، استان خراسان جنوبی)، سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱۱(۴)، ۸۵-۶۸. **dor:**20.1001.1.24235970.1402.11.4.5.7

داودی‌مقدم، داود، و حقی‌زاده، علی (۱۳۹۹). شناسایی مناطق مستعد سیل‌گیری و تعیین مهم‌ترین عامل موثر بر وقوع آن با استفاده از مدل بیشینه بی‌نظمی در آبخیز تشان خوزستان. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۳ (۴)، ۱۰۹-۹۴. **doi:**10.22092/wmej.2020.341563.1307

دبیری، روح‌الله، عبقری، هیراد، و قربانی، اردوان (۱۴۰۲). مکان‌یابی عملیات مکانیکی آبخیزداری با رویکرد MCDM و روش AHP و ANP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل). علوم آب و خاک، ۲۷(۴)، ۳۲۴-۲۹۹. **doi:**10.47176/jwss.27.4.39272

زارع بیدکی، رفعت، مرادی، بهروز، و بهرامی، حسین (۱۴۰۰). مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سدهای خاکی کوتاه (مطالعه موردی: حوزه‌آبخیز بهشت‌آباد)، مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۱(۱)، ۴۸-۳۷. **doi:**10.22034/emj.2021.248949

مجیدی، علیرضا (۱۴۰۳). مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی در زیرحوزه آبخیز فشند استان البرز. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱۲ (۴)، ۱۲۳-۱۴۲. **dor:**20.1001.1.24235970.1403.12.4.10.9

محمودزاده، حسن و باکویی، مائده (۱۳۹۷). پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شهرساری). مخاطرات محیط طبیعی، ۷(۱۸)، ۶۸-۵۱. **doi:**10.22111/jneh.2018.19885.1238

References

Al-Juaidi, A. E. (2018). A simplified GIS-based SCS-CN method for the assessment of land-use change on runoff. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(11), 269. **doi:**10.1007/s12517-018-3621-4

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. **doi:**10.3390/w11091880

Arabameri, A., Asadi Nalivan, O., Saha, S., Roy, J., Pradhan, B., Tiefenbacher, J.P., & Thi Ngo, P.T. (2020). Novel ensemble approaches of machine learning techniques in modeling the gully erosion susceptibility. *Remote Sensing*, 12(11), 1890. **doi:**2010.3390/rs12111890

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

Arabameri, A., Lee, S., Rezaie, F., Chandra Pal, S., Asadi Nalivan, O., Saha, A., Chowdhuri, I., & Moayedi, H. (2021). Performance evaluation of GIS-based novel ensemble approaches for land subsidence susceptibility mapping. *Frontiers in Earth Science*, 9, 663678. **doi:**10.1155/2022/5631634

Avand, M., Janizadeh, S., & Jafari, F. (2020). Evaluating the Efficiency of Machine Learning Models in Preparing Flood Probability Mapping. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1(1), 19-32. **dor:**20.1001.1.27174425.1399.1.1.4.3 [In Persian]

Baghelani, M., Rostami, N., & Tavakoli, M. (2020). The site selection of check dams using fuzzy AHP method in Urban watersheds Ilam City watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 14(50), 68-72. [In Persian]

Bihon, Y.T., Meshesha, M.A., Melese, D.W., Beyene, T.K., Kifle, T., & Mihretu, E.N. (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. **doi:**10.5281/zenodo.7067751

Cama, M., Lombardo, L., Conoscenti, C., & Rotigliano, E. (2017). Improving transferability strategies for debris flow susceptibility assessment: Application to the Saponara and Itala catchments (Messina, Italy). *Geomorphology*, 288, 52-65. **doi:**10.1016/j.geomorph.2017.03.025

Chen, W., Hong, H., Li, S., Shahabi, H., Wang, Y., Wang, X., & Ahmad, B.B. (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. **doi:**10.1016/j.jhydrol.2019.05.089

Chung, C.J.F., & Fabbri, A.G. (2003). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural hazards*, 30(3), 451-472. **doi:**10.1023/B:NHAZ.0000007172.62651.2b

Costache, R. (2019). Flood susceptibility assessment by using bivariate statistics and machine learning models - a useful tool for flood risk management. *Water Resources Management*, 33(9), 3239-3256. **doi:**10.1007/s11269-019-02301-z

Da Costa, D.B., De Lima, R.B., Caraciolo Ferreira, R.L., de Paula, A., de Oliveira, C.P., Aleixo da Silva, J.A., Gomes, J.P., Santana, M.M. & Pereira, A.L.L. (2025). Assessing the potential distribution of Myracrodruon urundeuva Allemão (Aroeira) in the Caatinga under climate change scenarios. *Frontiers in Forests and Global Change*, 8, 1519432. **doi:**10.3389/ffgc.2025.1519432

Dabiri, R., Abghari, H., & Ghorbani, A. (2024). Locating of Watershed Management Operations with MCDM Approach and AHP and ANP Methods (Case Study: Saqezchi-Chay Watershed in Ardabil Province). *Journal of Water and Soil Science*, Vol. 27, No. 4: 299-324. **doi:**10.47176/jwss.27.4.39272 [In Persian]

Davoudi Moghaddam, D., & Haghizadeh, A. (2021). Detection of susceptible areas to flooding and its most important contributing factors using the maximum entropy model in the Tashan Watershed, Khuzestan. *Watershed Management Research*, 33(4), 94 -109. **doi:**10.22092/wmej.2020.341563.1307 [In Persian]

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. **doi:**10.3390/w12030679

Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., & Yates, C.J. (2011). A statistical explanation of Maxent for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57. doi:10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x

Ferreira, C.S., Pereira, P., & Kalantari, Z. (2018). Human impacts on soil. *The Science of the total environment*, 644, 830-834.

Galicia, S., Navarro-Hevia, J., Martínez-Rodríguez, A., Mongil-Manso, J., & Santibanez, J. (2019). 'Green', rammed earth check dams: a proposal to restore gullies under low rainfall erosivity and runoff conditions. *Science of the Total Environment*, 676, 584-594.

Hagos, Y.G., Andualem, T.G., Mengie, M.A., Ayele, W.T., & Malede, D.A. (2022). Suitable dam site identification using GIS-based MCDA: a case study of Chemoga watershed, Ethiopia. *Applied Water Science*, 12(4), 1-2. **doi:**10.1007/s13201-022-01592-9

Harshasimha, A.C., & Bhatt, C.M. (2023). Flood vulnerability mapping using maxent machine learning technique and analytical hierarchy process (AHP) for Kamrup Metropolitan, Assam. *Environmental Sciences Proceedings*, 25(1), 73. **doi:**10.3390/ECWS-7-14301

Hong, H., Panahi, M., Shirzadi, A., Ma, T., Liu, J., Zhu, A.X., Chen, W., Kougias, I. and Kazakis, N. (2018). Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution. *Science of the total Environment*, 621,1124-1141. **doi:**10.1016/j.scitotenv.2017.10.114

Hoseinie, S.S., Heshmatpour, A., Rouhani, H., & Farazjoo, H. (2025). Prioritizing watershed management practices based on hydrological factors In Chehelchay Watershed. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(1),49-66. **dor:**20.1001.1.24235970.1404.13.1.4.4 [In Persian]

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. **doi:**10.1016/j.wace.2019.100215

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

Khaslati, S.M., Chezgi, J., Tajbakhsh Fakhrabadi, S.M., & Dehghani, M. (2024) Locating suitable flood-spreading areas with the best-worst decision-making method (Case study: Farrokhi Dam Watershed, South Khorasan). *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 11(4), 68-85. **dor:**20.1001.1.24235970.1402.11.4.5.7 [In Persian]

Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B.T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., Dou, J., Ly, H.B., Gróf, G., Ho, H.L. and Hong, H. (2019). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 573, 311-323. **doi:**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. **doi:**10.1016/j.catena.2017.01.010

Li, M., Shen, Z., Hui, B., Lv, X., Yang, E., Ma, L., Ni, Y. and Bao, H. (2024). Effect of check dams on sediment concentration in a watershed in the loess hilly area during a heavy rain event. *Land Degradation & Development*, 35(17), 5177-5191. **doi:**10.1002/ldr.5288

Mahmoudzadeh, H., & Bakooyi, M. (2019). Flood zoning using fuzzy analysis (case study: Sari city). *Journal of Natural Environmental Hazards*, Vol.07, Issue 18: 51-68. doi:10.22111/jneh.2018.19885.1238 [In Persian]

Majidi, A. (2024). Locating and prioritizing areas susceptible to underground dam construction within the Fashand Sub-watershed in Alborz Province, *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(4), 123- 142. **dor:**20.1001.1.24235970.1403.12.4.10.9 [In Persian]

Martins, B., Pinheiro, C., Hermenegildo, C., Nunes, A., Bento-Gonçalves, A., & Laranjeira, M. (2025). A multi-hazard map-based wildfires and gully erosion in a Mediterranean mountain environment. *Natural Hazards*, 1-23. **doi:**10.1007/s11069-025-07399-6

McCarthy, E., Moretti, D., Thomas, L., DiMarzio, N., Morrissey, R., Jarvis, S., Ward, J., Izzi, A. and Dilley, A. (2011). Changes in spatial and temporal distribution and vocal behavior of Blainville's beaked whales (Mesoplodon densirostris) during multiship exercises with mid-frequency sonar. *Marine Mammal Science*, 27(3), E206-E226. **doi:**10.1111/j.1748-7692.2010.00457.x

Mert, A., Özkan, K., Şentürk, Ö., & Negiz, M. G. (2016). Changing the potential distribution of Turkey Oak (Quercus cerris L.) under climate change in Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(4), 1633-1638. **doi:**10.15244/pjoes/62230

Moreno, R., Zamora, R., Molina, J. R., Vasquez, A., & Herrera, M. Á. (2011). Predictive modeling of microhabitats for endemic birds in South Chilean temperate forests using Maximum entropy (Maxent). *Ecological Informatics*, 6(6), 364-370. **doi:**10.1016/j.ecoinf.2011.07.003

Noori, A. M., Pradhan, B., & Ajaj, Q. M. (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. **doi:**10.1016/j.jhydrol.2019.05.001

Phillips, S.J., Anderson, R.P., & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259. **doi:**10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Pour, R.M., Haghighi, A.T., Sarmi, H., & Keshtkaran, P. (2009). Watershed management and its effect on sedimentation in Doroudzan dam. *Sichuan Daxue Xuebao* (Ziran Kexueban), 41, 242-248.

Pourghasemi, H.R., Yousefi, S., Sadhasivam, N., & Eskandari, S. (2020). Assessing, mapping, and optimizing the locations of sediment control check dams construction. *Science of the Total Environment*, 739, 139954. **doi:**10.1016/j.scitotenv.2020.139954

Quinn, S.A., Gibbs, J.P., Hall, M.H., & Petokas, P.J. (2013). Multiscale factors influencing distribution of the eastern hellbender salamander (Cryptobranchus alleganiensis alleganiensis) in the northern segment of its range. *Journal of Herpetology*, 47(1), 78-84. **doi:**10.1670/11-127

Rahmati, O., Kalantari, Z., Samadi, M., Uuemaa, E., Moghaddam, D.D., Nalivan, O.A., Destouni, G. and Tien Bui, D. (2019). GIS-based site selection for check dams in watersheds: considering geomorphometric and topo-hydrological factors. *Sustainability*, 11(20), 5639. **doi:**10.3390/su11205639

Schultz, B. (2006). Flood management under rapid urbanisation and industrialisation in flood-prone areas: a need for serious consideration. Irrigation and Drainage: *The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 55(S1), S3-S8. **doi:**10.1002/ird.237

Shirzadi, A., Bui, D.T., Pham, B.T., Solaimani, K., Chapi, K., Kavian, A., Shahabi, H. and Revhaug, I. (2017). Shallow landslide susceptibility assessment using a novel hybrid intelligence approach. *Environmental Earth Sciences*, 76(2), p.60. **doi:**10.1007/s12665-016-6374-y

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 [In Persian]

Wang, J., Nieves, V., & Bras, R.L. (2013). Maxent and MaxEP in modeling fractal topography and atmospheric turbulence. In Beyond the Second Law: Entropy Production and Non-Equilibrium Systems (pp. 309-322). Berlin, Heidelberg: *Springer Berlin Heidelberg*.

Yadollahie, M. (2019). The flood in Iran: a consequence of the global warming? *The international journal of occupational and environmental medicine*, 10(2), 54. **doi:**10.15171/ijoem.2019.1681

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]

Yari, A., Yousefi Khoshsabegheh, H., Zarezadeh, Y., Ardalan, A., Soufi Boubakran, M., Ostadtaghizadeh, A., & Motlagh, M. E. (2021). Behavioral, health-related and demographic risk factors of death in floods: A case-control study. *PLoS one*, 16(12), e0262005. **doi:**10.1371/journal

Zada, N., Javed, M.A., Ahmad, S.R., & Waleed, M. (2023). Dam site selection using remote sensing techniques and geographical information system (GIS): A case study of Kurram Tangi North Waziristan. **doi:**10.30534/ijatcse/2020/569

Zakizadeh, F., Moghaddam Nia, A., Salajegheh, A., Sañudo-Fontaneda, L. A., & Alamdari, N. (2015). Efficient urban runoff quantity and quality modelling using SWMM model and field data in an urban watershed of Tehran metropolis. *Water Science & Technology*, 72(12), 2100-2108.

Zare Bidaki, R., Moradi, B., & Bahrami, H. (2021). Locating susceptible areas for short earth fill dams (Beheshtabad Basin). *Ecosystem Management*, 1(1): 37-48. doi:10.22034/emj.2021.248949 [In Persian]

Zhang, B., He, C., Burnham, M., & Zhang, L. (2016). Evaluating the coupling effects of climate aridity and vegetation restoration on soil erosion over the Loess Plateau in China. *Science of the Total Environment*, 539, 436-449. **doi:**10.1016/j.scitotenv.2015.08.132

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.1.3.0]