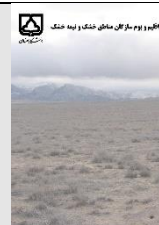




Semnan University

Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions

<https://ceasr.semnan.ac.ir>



Research Article

Selection of Suitable Sites for Water Resources Provision by Constructing Underground Dam (Case Study: Southwestern Basin of Haj Aligholi Desert)

Peyman Peymankhah^a, Sayed-Farhad Mousavi^{b,*}, Seyed Ali Asghar Hashemi^c, and
Khosrow Hosseini^d

^a Graduated M.Sc., Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

^b Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

^c Assistant Professor of Research, Agricultural and Natural Resources Research Center of Semnan, Semnan, Iran.

^d Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

ARTICLE INFO

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 1 March 2024

Revised: 5 May 2024

Accepted: 5 May 2024

Keywords:

Water resources
provision, Underground
dam, Livestock,
Site selection,
GIS.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Considering that most regions of Iran have a hot and dry climate and the temporal and spatial distribution of rainfall in different parts of it is inappropriate, it is necessary to provide water resources in any part of the country by managing surface and groundwater resources. One of the suitable methods of providing small water sources in hot and dry areas is the use of underground dams. The purpose of this research is to provide water for livestock through locating and constructing underground dams, especially in dry areas. The studied area is the basin located in the southwest of Haj Aligholi desert of Damghan, which also includes livestock passage.

Materials and Methods: For this purpose, the effective parameters for locating the underground dam including: stream network, slope, geology, fault, well, spring, qanat and livestock passage were determined. Layers of information and necessary boundaries were prepared based on the characteristics of the region and similar researches in the ArcGIS software environment, and then the integration of the final maps was done using Boolean logic and geometric average methods, and the areas prone to water supply for livestock was determined in a part of this desert watershed.

Results: Findings of this research indicate the very appropriate performance of geometric average method in positioning because the use of logistic function in this method and elimination of expert opinions for weighting lead to the reduction of possible errors. Comparison of the integrated maps by these two methods is evident in the ranking of suitable areas. Based on the results, the axis no. 6 in both methods has become the most appropriate axis in construction of the underground dam. In general, results show the high accuracy and less error of the geometric average method compared to the results of the Boolean logic method.

Conclusion: Based on the results of this research, it is possible to prioritize the proposed options in the final map for locating of the underground dam by conducting field visits and studies and considering other factors such as water demands of the region and social and environmental impacts. Considering the prevailing conditions in hot and dry regions, as well as the advantages of underground dams, few and negligible disadvantages, short construction time and low maintenance cost, it is suggested to use this structure to manage and supply water resources in these regions.

Cite this article: Peymankhah, P., Mousavi, S. F., Hashemi, S. A., & Hosseini, Kh. (2025). Selection of suitable sites for water resources provision by constructing underground dam (Case study: Southwestern basin of Haj Aligholi desert). *Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions*, 2(1), 50-68.

© 2025 Published by Semnan University Press.

DOI: <https://doi.org/10.22075/ceasr.2024.33408.1030>

مکان‌یابی مناطق مستعد تأمین منابع آب کوچک از طریق احداث سد زیرزمینی (منطقه مورد مطالعه: حوضه جنوب غربی کویر حاج علیقلی)

پیمان پیمان‌خواه^۱، سید فرهاد موسوی^{۲*}، سید علی اصغر هاشمی^۳، خسرو حسینی^۴

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۲- استاد، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

۳- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سمنان، سمنان، ایران.

۴- استاد، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

*: نویسنده مسئول، fmousavi@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶ واژه‌های کلیدی: تأمین منابع آب، سد زیرزمینی، مکان‌یابی، سامانه اطلاعات جغرافیایی.	سابقه و هدف: نظر به اینکه اغلب مناطق ایران دارای اقلیم گرم و خشک است و توزیع زمانی و مکانی بارش در نقاط مختلف آن نامناسب است، تأمین منابع آب در هر نقطه از کشور با مدیریت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی ضروری می‌باشد. یکی از روش‌های مناسب تأمین منابع آب کوچک در مناطق گرم و خشک، استفاده از سدهای زیرزمینی است. هدف از این پژوهش، تأمین آب برای شرب دام از طریق مکان‌یابی و احداث سدهای زیرزمینی، به‌خصوص در مناطق خشک، می‌باشد. منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز واقع در جنوب غرب کویر حاج علیقلی دامغان انتخاب شده که مسیر عبور دام نیز می‌باشد. مواد و روش‌ها: برای این منظور، پارامترهای مؤثر در مکان‌یابی جهت احداث سد زیرزمینی شامل: شبکه آبراهه، شیب، زمین‌شناسی، گسل، چاه، چشمه، قنات و مسیر عبور دام تعیین شدند. لایه‌های اطلاعاتی و حریم‌های لازم براساس خصوصیات منطقه و پژوهش‌های مشابه در محیط نرم افزار ArcGIS آماده شدند و سپس با استفاده از روش‌های منطق بولین و میانگین هندسی، تلفیق نقشه‌های نهایی انجام شد و مناطق مستعد جهت تأمین آب برای دام در بخشی از این حوضه آبریز کویری تعیین گردید. یافته‌ها: یافته‌های این تحقیق نشانگر عملکرد بسیار مناسب روش میانگین هندسی در مکان‌یابی می‌باشد زیرا استفاده از تابع لجستیک در این روش و حذف نظرات کارشناسی جهت وزن‌دهی، منجر به کاهش خطاهای احتمالی می‌شود. مقایسه نقشه‌های تلفیق شده توسط این دو روش در رتبه‌بندی مناطق مناسب مشهود می‌باشد. بر اساس نتایج، محور شماره ۶ در هر دو روش، مناسب‌ترین محور جهت احداث سد زیرزمینی شناسایی شده است. به طور کلی، نتایج نشان‌دهنده دقت بالاتر و خطای کمتر روش میانگین هندسی نسبت به نتایج حاصل از روش منطق بولین می‌باشد. نتیجه‌گیری: براساس یافته‌های این تحقیق، می‌توان با انجام بازدیدها و مطالعات میدانی و در نظر گرفتن عوامل دیگر از جمله نیاز آبی منطقه و تأثیرات اجتماعی و زیست‌محیطی، گزینه‌های پیشنهادی در نقشه نهایی را جهت مکان احداث سد زیرزمینی اولویت‌بندی کرد. با توجه به شرایط حاکم بر مناطق گرم و خشک، و همچنین مزایای سدهای زیرزمینی، معایب کم و قابل اغماض، زمان کم ساخت و هزینه کم نگهداری آن، استفاده از این سازه جهت مدیریت و تأمین منابع آب در این مناطق پیشنهاد می‌شود.

استناد: پیمان‌خواه، پ.، موسوی، س.، ف.، هاشمی، س.، ع. ا. و حسینی، خ. (۱۴۰۴). مکان‌یابی مناطق مستعد تأمین منابع آب کوچک از طریق احداث سد زیرزمینی (منطقه مورد مطالعه: حوضه جنوب غربی کویر حاج علیقلی). *اقلیم و بوم‌سازگان مناطق خشک و نیمه‌خشک*، ۶۸-۵۰، (۱)۲.

ناشر: دانشگاه سمنان

DOI: <https://doi.org/10.22075/ceasr.2024.33408.1030>

۱- مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پدیده بیابانی شدن به شدت در حال گسترش است. تأمین منابع آب در این مناطق تا حدی بر منابع آب سطحی و بیشتر بر منابع زیرزمینی متمرکز شده است که در هر دو حالت، عدم پایداری، مشکل اصلی بهره‌برداران این منابع آب می‌باشد. یکی از عوامل اصلی در معرض خطر قرار گرفتن استفاده از سدهای سطحی در این مناطق، تبخیر زیاد می‌باشد (Ourdachi و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به تجربیات گذشته در زمینه تأمین آب مورد نیاز جوامع شهری و روستایی، باید از روش‌های پیچیده و هزینه‌بر به سمت روش‌های مناسب، مقرون به صرفه و جامعه‌پسند و مطابق با شرایط محلی منطقه تغییر جهت داد (Karimzadeh و Aminizadeh، ۲۰۱۳).

به دلیل کمبود بارندگی و زیاد بودن میزان تبخیر در مناطق گرم و خشک، آب‌های زیرزمینی اهمیت زیادی دارند و به همین جهت برداشت‌های زیاد و بی‌رویه‌ای در این مناطق رخ داده است. از جمله آثار برداشت بی‌رویه آب از آبخوان‌ها می‌توان پایین افتادن سطح ایستابی، تغییر کیفیت منابع آب، نشست زمین، و پیشروی آب شور در حاشیه کویر را نام برد. در نتیجه، به منظور جلوگیری از بحران آب در این مناطق، مدیریت مناسب منابع آب لازم و ضروری است.

سدهای زیرزمینی از مزایای بسیاری از جمله هزینه‌های کم، ساخت آسان، تبخیر بسیار ناچیز آب و ذخیره آب بهداشتی نسبت به سدهای سطحی برخوردارند (Nasri Zeidabadi، ۲۰۱۷). در زمینه احداث سد زیرزمینی، مطالعات مختلفی صورت گرفته است. Jamali و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی مکان‌یابی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی در یک منطقه از سوئد پرداختند. آن‌ها از یک روش توسعه‌یافته ترکیبی از GIS و محاسبه بیلان آب استفاده کردند. تجزیه و تحلیل مناسب برای سدهای زیرزمینی بر مبنای شاخص رطوبت توپوگرافی^۱ (TWI) و داده‌های زمین‌شناسی انجام شد. در نهایت، براساس تجزیه و تحلیل و برآوردهای بیلان آب زیرزمینی، شش منطقه مناسب برای احداث سد زیرزمینی، در نزدیکی نقاطی که بیش‌برداشت آب داشتند، پیشنهاد شد. Shirani و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی، به مکان‌یابی سد زیرزمینی در شمال اصفهان با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداختند و در نتیجه آبرفت‌های واقع در غرب، شمال و شمال‌غرب اردستان را به عنوان بهترین مکان برای احداث سد زیرزمینی مشخص کردند. Koohbanani و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی، به مکان‌یابی سد زیرزمینی در منطقه سرخس (استان خراسان رضوی) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و الگوریتم فازی پرداختند. براساس نتایج حاصل از این مطالعه، حدود ۹ درصد از حوضه سرخس برای احداث سدهای زیرزمینی مناسب است.

Kharazi و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی، مکان‌های مناسب سدهای زیرزمینی را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری در دشت سمنان شناسایی کردند. در این مطالعه، به منظور مکان‌یابی از تکنیک‌های AHP، TOPSIS و EDAS استفاده شده است. Dortaj و همکاران (۲۰۲۰) به منظور مکان‌یابی سد زیرزمینی در استان اصفهان، از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کردند. براساس نتایج حاصل، برخی از عدم قطعیت‌ها در مکان‌یابی کاهش یافته است. Ebrahimi و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی، به اولویت‌بندی مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در جنوب شرق استان بوشهر پرداختند. نتایج به‌دست آمده با منطق بولین نشان داد که ۳۰۵ کیلومتر مربع از سایت مورد مطالعه پتانسیل ساخت سد

زیرزمینی را دارد. در مرحله بعد، با توجه به تصاویر گوگل ارث و براساس شاخص‌های مختلف و با بررسی‌های میدانی گسترده، ۲۳ محور احتمالی شناسایی شد. از میان این ۲۳ محور، ۶ مکان مناسب شناسایی شد. برای اولویت‌بندی این شش مکان، از مدل MCDM استفاده شد. Sadeghiravesh و همکاران (۲۰۲۳) به شناسایی مکان مناسب احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش ثنوری مطلوبیت چندمعیاره پرداختند. با توجه به نتایج حاصل، هفت منطقه براساس تمامی معیارهای مورد نظر جهت احداث سد زیرزمینی انتخاب شدند که منطقه نظرآباد با ضریب مطلوبیت ۰/۷۱۳۷ به عنوان بهترین مکان برای ساخت سد زیرزمینی انتخاب شد.

Esmali Ouri و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی، در حوضه آبخیز دوست‌بیگلو به اولویت‌بندی محورهای مناسب جهت احداث سد زیرزمینی پرداختند. برای تعیین اولیه مناطق مستعد از روش‌های منطق بولین و منطق فازی استفاده کردند. معیارهای زمین‌شناسی، توپوگرافی، کاربری اراضی، گسل و قنات مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مناطق جنوب‌شرقی و شمال‌غربی حوضه برای ساخت سد زیرزمینی بدون محدودیت می‌باشند. Kharazi و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، به مکان‌یابی سد زیرزمینی در حوضه آبریز دشت کویر که در شمال‌غربی استان سمنان واقع شده است، پرداختند. با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی، شش مکان مناسب مشخص شد، که پنج سناریو برای وزن‌دهی و ارزش‌گذاری جهت تأمین نظرات و خواسته‌های تمامی کارشناسان دخیل در این امر برای معیارهای اصلی تعریف شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مناطق جنوبی این دشت دارای پتانسیل خوبی برای احداث سدهای زیرزمینی می‌باشند. Yousefi و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از توابع میانگین هندسی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، به انتخاب بهینه مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در حوضه آبخیز همدان - بهار پرداختند. براساس نتایج حاصل، حدود ۱۰ درصد از کل آبراهه‌ها به عنوان آبراهه‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی معرفی و شناسایی شدند. Arabameri و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از تکنیک GIS و روش AHP به شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی در منطقه اردستان واقع در شمال شرق اصفهان با استفاده از سیستم‌های MCDM و GIS پرداخته‌اند. با این روش، مخروط‌افکنه‌های واقع در قسمت‌های غربی، شمالی و مرکزی برگه ۱:۱۰۰.۰۰۰ اردستان را برای احداث سدهای زیرزمینی پیشنهاد نمودند.

Amanian و همکاران (۲۰۱۹) به مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور و GIS در دشت کاشان پرداختند. در این پژوهش، به منظور مقایسه و وزن‌دهی لایه‌ها از تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. در ادامه، با استفاده از وزن‌های به دست آمده، تمامی لایه‌های اطلاعاتی با روش همپوشانی وزنی با یکدیگر ترکیب و در نهایت نقشه اولویت مکانی برای احداث سد زیرزمینی به دست آمده است. Dahmardeh Ghaleno و همکاران (۲۰۲۰) به مکان‌یابی محل احداث سد زیرزمینی پرداختند. در این مطالعه، به جهت وزن‌دهی معیارها، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده و تلفیق نقشه‌های به دست آمده از معیارهای انتخاب شده و مکان‌یابی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS انجام شده است. براساس نتایج، منطقه مورد مطالعه به چهار بخش خیلی مناسب، مناسب، تا حدودی نامناسب و نامناسب برای احداث سد زیرزمینی تقسیم شد. بیشترین سطح منطقه را طبقه نامناسب (۷۶/۷ درصد) و کمترین سطح منطقه را طبقه خیلی مناسب (۲/۱ درصد) به خود اختصاص داده است. RostamiKhalaj و همکاران (۲۰۲۲) به شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی به منظور استحصال آب زیرسطحی در مناطق مرزی شهرستان تربت جام پرداختند. بدین منظور با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، عوامل مؤثر در فرآیند مکان‌یابی وزن‌دهی و مناطق مستعد شناسایی شد. در نهایت، بر اساس نتایج حاصل و با بررسی‌های میدانی، سه نقطه مناسب برای احداث سد زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه شناسایی شد. Kord و Zarei (۲۰۲۳) به مکان‌یابی محل ساخت سد زیرزمینی (حوضه حسن آباد) با استفاده از روش‌های منطق بولین و تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. بر اساس یافته‌های این تحقیق، با استفاده از روش منطق بولین، ۷ محور مستعد برای احداث سد زیرزمینی انتخاب شد. در ادامه، براساس معیارهای مورد استفاده از جمله اقتصادی- اجتماعی، مخزن سد، محل ساخت

سد و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، محورها اولویت‌بندی شدند و محورهای ۶، ۷ و ۱ به ترتیب اولویت‌های اول تا سوم قرار گرفتند. در نهایت، با استفاده از تصاویر هوایی، بازدید صحرایی، بررسی زمین‌شناسی ساختاری منطقه و جهت جریان آب زیرزمینی، محور ۶ به عنوان بهترین محور برای احداث سد تشخیص داده شد.

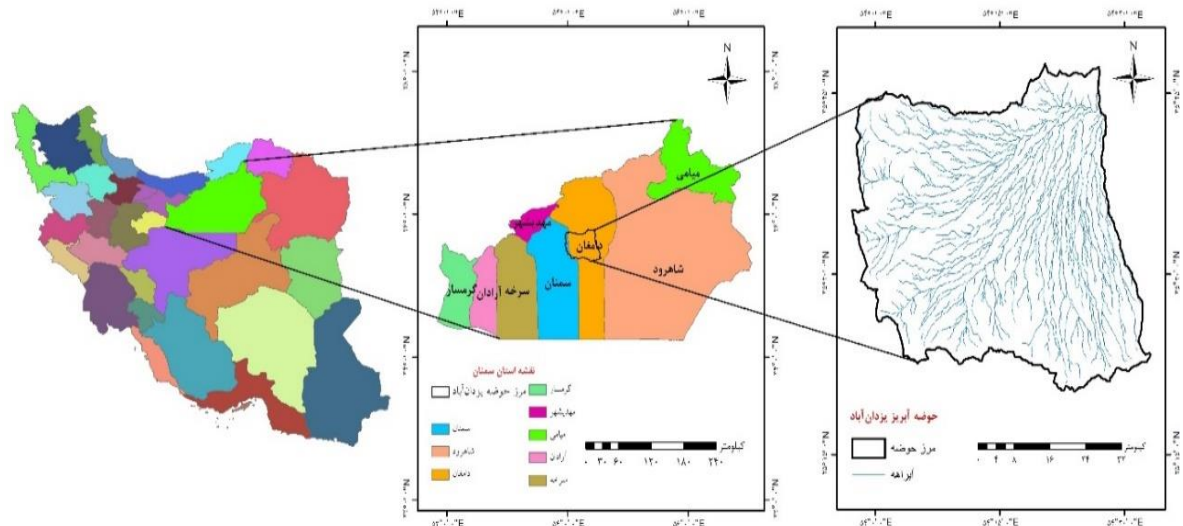
بررسی سوابق پژوهش در این زمینه نشان می‌دهد که عوامل تأثیرگذار در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق مختلف، متفاوت بوده و نیاز به مطالعه و بررسی شرایط هر حوضه دارد. با مطالعه منابع معتبر علمی داخلی و خارجی در زمینه مکان‌یابی سد زیرزمینی، معیارهای مؤثر شناسایی شدند که آن‌ها را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی کرد. دسته اول، که می‌توان آن‌ها را پارامترهای اصلی نام‌گذاری کرد، پارامترهایی هستند که در فرایند مکان‌یابی در تمامی حوضه‌ها مهم می‌باشند، باید به‌طور ۱۰۰ درصد رعایت شوند و در صورت رعایت نشدن حتی یک مورد، آن مکان برای احداث سد زیرزمینی مکان مناسبی نمی‌باشد. تأثیر این پارامترها در تمامی حوضه‌هایی که جهت فرایند مکان‌یابی انتخاب می‌شوند باید اعمال شود. به‌طور مثال، پارامتر شیب زمین جزو عوامل تأثیرگذار در تمامی حوضه‌های مستعد مکان‌یابی است و در صورتی که مقدار آن بین ۰/۲ تا ۵ درصد نباشد آن مکان در صورت رعایت شدن تمامی پارامترهای تأثیرگذار دیگر برای احداث سد زیرزمینی مناسب نمی‌باشد. دسته دوم، که می‌توان آن‌ها را پارامترهای فرعی نام‌گذاری کرد، عواملی هستند که تأثیرشان به‌طور نسبی در مکان‌یابی اعمال می‌شود و هر چه به نسبت بیشتری رعایت شوند مکان مورد نظر برای احداث سدهای زیرزمینی به منظور ایجاد منابع آب کوچک مناسب‌تر می‌باشد. تأثیر این پارامترها در حوضه‌های مختلف با توجه به شرایط اجتماعی، اقتصادی و سیاسی متفاوت است و با توجه به اولویت‌ها در آن حوضه می‌تواند متغیر باشد. به‌طور مثال، پارامتر نزدیک بودن مکان انتخابی به روستاها و آبادی‌ها یک عامل نسبی است. در صورتی که تعدادی مکان مناسب که پارامترهای اصلی در آن‌ها رعایت شده‌اند انتخاب شوند، مکانی مناسب‌تر است که به روستاها و آبادی‌ها نزدیک‌تر باشد؛ چرا که آبی که با احداث سد زیرزمینی تأمین می‌شود باید به مصرف شرب، کشاورزی و دامداری اهالی روستا برسد. پارامترهای دسته اول عبارت‌اند از: شیب، آبراهه، سازند زمین‌شناسی، گسل، چاه، چشمه و قنات و پارامترهای دسته دوم که با توجه به شرایط و هدف تأمین آب در هر حوضه می‌توان در نظر گرفت عبارت‌اند از: نزدیکی به مسیر عبور دام، روستاها و آبادی‌ها، جاده‌ها، ایستگاه‌های راه آهن، معادن و با توجه به کمبود شدید بارندگی در مناطق خشک و بیابانی ایران، به‌خصوص حوضه آبریز کویر حاج علیقلی در نزدیکی دامغان، و نیاز شدید به تأمین آب در این منطقه، و از طرفی با توجه به این که کمبود آب شرب دام در چند سال اخیر مشکلات زیادی را برای دامداران این استان ایجاد کرده و موجب شده سازمان عشایری استان سمنان با تانکر برای شرب دام آبرسانی کند، به همین دلیل، در استان سمنان ضرورت شناسایی مناطق مستعد تأمین منابع آب کوچک وجود دارد و آب تأمین شده می‌تواند برخی از مشکلات موجود را مرتفع نماید. همچنین، با توجه به پتانسیل تبخیر بسیار زیاد این منطقه و عدم امکان نگهداری آب‌های جمع‌آوری شده در سطح زمین، تحقیق در خصوص مکان‌های مناسب حفظ و نگهداری آب در زیر سطح زمین اجتناب‌ناپذیر است. از این رو، در این پژوهش، به مکان‌یابی مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی به منظور تأمین آب مورد نیاز دام، با استفاده از روش‌های منطق بولین و میانگین هندسی پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه پژوهش

حوضه آبریز مورد مطالعه در جنوب شهرستان دامغان، استان سمنان، و در جنوب‌غربی کویرحاج علیقلی قرار دارد. وسعت این حوضه آبریز ۲۸۴۴ کیلومتر مربع است. شیب عمومی حوضه جنوب‌غربی- شمال‌شرقی بوده و حداقل و حداکثر ارتفاع آن به ترتیب ۱۰۸۳ و ۲۲۶۸ متر از سطح دریاست. کوه لارستان با بلندای ۱۵۲۴ متر و کوه انجیلو با بلندای ۱۸۱۵ متر از

مهم‌ترین کوه‌های حوضه می‌باشند. این حوضه در فاصله ۵۰ تا ۹۰ کیلومتری جنوب شهر دامغان و در مسیر جاده دامغان به جندق واقع شده است. اقلیم منطقه گرم و خشک و میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر است. بارندگی در دشت کمتر از ۱۰۰ و در ارتفاعات حداکثر ۱۵۰ میلی‌متر در سال گزارش شده است (Esmali Ouri, ۲۰۰۰). موقعیت حوضه مورد مطالعه در ایران و استان سمنان در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه آبریز مورد مطالعه

Fig. 1 Map of the studied basin

۲-۲- روش کار

به منظور انجام فرایند مکان‌یابی سد زیرزمینی، به مجموعه‌ای از داده‌ها و اطلاعات اولیه نیاز است که با در اختیار داشتن تمامی آن‌ها می‌توان به هدف پروژه، یعنی تعیین بهترین مکان، رسید. در این تحقیق، برای تعیین مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی از خصوصیات شبکه آبراهه‌ها، شیب، زمین‌شناسی، گسل، چاه، چشمه، قنات و مسیر عبور دام استفاده شده است. این داده‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه و اطلاعات دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان به‌دست آمده است. برای ایجاد لایه‌های اطلاعاتی، داده‌های مورد نیاز وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و پایگاه اطلاعات در محیط نرم‌افزار تشکیل شده است. در نهایت، با استفاده از روش‌های منطق بولین و میانگین هندسی، مکان‌یابی مناطق مناسب سد زیرزمینی انجام و مقایسه گردید.

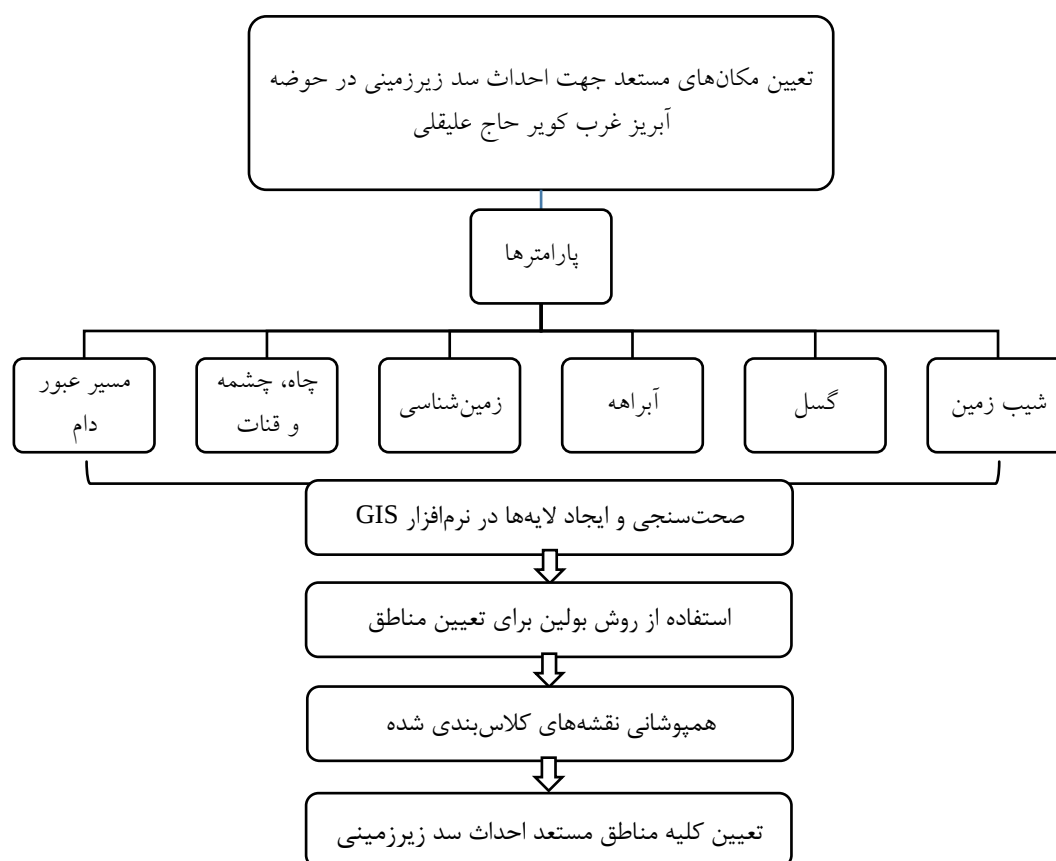
۲-۲-۱- منطق بولین

منطق بولین برگرفته از نام ریاضیدان مطرح (جورج بولی) بوده که به نام منطق صفر و یک نیز شناخته می‌شود و در آن وزن‌دهی به واحدها در هر لایه اطلاعاتی بر اساس امتیاز صفر و یک می‌باشد. روش بولین، دارای زبانی صریح و ماهیتی قطعی و دقیق است. این منطق یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین عملگرهای اشتراک و اجتماع می‌باشد. محاسبات و اجرای منطق بولین ساده، سریع و آسان است. از نظر این منطق، مکان انتخاب شده خوب یا بد خواهد بود (Shabani Nia, ۲۰۰۶). معیارهای انتخاب شده به منظور مکان‌یابی براساس منطق بولین، به شرح جدول ۱ و شکل ۲ می‌باشند. به‌طوری که بر اساس هر یک از معیارهای منتخب، به مناطق مناسب عدد یک و به مناطق نامناسب عدد صفر اختصاص یافته است.

جدول ۱. امتیازدهی معیارها برحسب منطق بولین (Shabani Nia, ۲۰۰۶)

Table 1. Scoring criteria according to Boolean logic (Shabani Nia, 2006)

ردیف	معیار	کلاس منطق بولین
Row	Criterion	Boolean logic class
۱	آبراهه	حریم آبراهه (۱) و بیرون از حریم (۰)
1	Channel	Channel boundary (1) & No boundary (0)
۲	شیب (درصد)	۵-۰ (۱) و بیش از ۵ (۰)
2	Slope (%)	0-5 (1) & > 5 (0)
۳	نوع سازند زمین	نهشته‌های آبرفتی، مخروط افکنه و کنگلومرا (۰) و سایر سازندها (۱)
3	Geologic formation	Alluvial, Fan & Conglomerate (0), Others (1)
۴	گسل	حریم گسل (۰) و بیرون از حریم (۱)
4	Fault	Fault boundary (0), Out of boundary (1)
۵ و ۶ و ۷	چاه و چشمه و قنات	حریم چاه و چشمه و قنات (۰) و بیرون از حریم (۱)
5, 6, 7	Well, spring and qanat	Well, spring and qanat boundary (0), Out of boundary (1)
۸	مسیر عبور دام	حریم مسیر عبور دام (۱) و بیرون از حریم (۰)
8	Livestock crossing	Livestock crossing boundary (1), Out of boundary (0)



شکل ۲. فلوچارت مراحل روش بولین

Fig. 2 Flowchart of the Boolean method steps

۲-۲-۲- تابع لجستیک

به منظور ایجاد مدل پتانسیل مکانی سد زیرزمینی، ابتدا کلیه لایه‌های نشان‌دهنده معیارهای مورد استفاده، فازی‌سازی شده و در بازه صفر و یک وزن‌دار می‌شوند. در این خصوص از تابع لجستیک (رابطه ۱) به منظور تخصیص وزن به معیارها استفاده می‌شود. علت استفاده از این تابع، تخصیص وزن به داده‌های پیوسته، بدون نیاز به طبقه‌بندی و گسسته‌سازی آن‌ها و نیز دخالت ندادن قضاوت شخصی کارشناسان (کاهش خطای احتمالی) در تخصیص وزن می‌باشد.

$$FEv = \frac{1}{1 + e^{-s(Ev-i)}} \quad (1)$$

که i و s به ترتیب نقطه عطف و شیب تابع، Ev مقدار عددی هر یک از معیارها و FEv وزن فازی نظیر Ev هستند (Yousefi و Carranza, ۲۰۱۵). بنابراین، براساس رابطه فوق، نقشه‌ها با استفاده از تابع لجستیک بدون دخالت نظر سلیقه‌ای و بدون طبقه‌بندی داده‌ها، دارای وزنی بین صفر تا یک می‌شوند. با توجه به این‌که این تابع دارای تأثیر افزایشی است، یعنی هرچه مقدار عددی معیار بیشتر باشد، امتیاز نزدیک به یک می‌شود و هرچه مقدار عددی آن کمتر باشد امتیاز به صفر نزدیک می‌شود. همچنین، با توجه به این‌که در برخی موارد مانند معیار شیب در مدل مفهومی ذکر شده، مقادیر عددی کمتر، اهمیت بیشتری دارند، بنابراین برای تولید نقشه شاهد وزن‌دار این لایه‌ها می‌توان از رابطه (۲) استفاده کرد. با استفاده از این رابطه، به مقادیر کمتر، وزن بیشتری تخصیص می‌یابد. در این رابطه، Fw مقدار وزن فازی نهایی است.

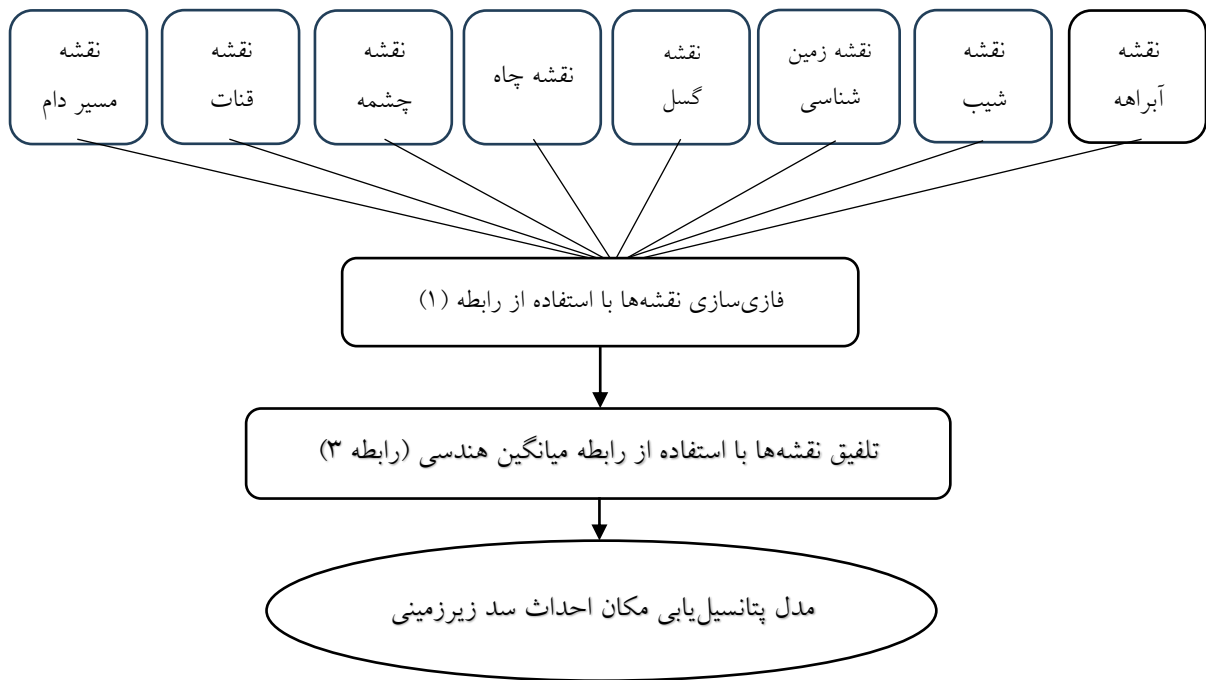
$$Fw = 1 - FEv \quad (2)$$

۲-۲-۳- تلفیق با استفاده از روش میانگین هندسی

در ادامه، تلفیق لایه‌های وزن‌دار حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مختلف، با استفاده از رابطه میانگین هندسی (رابطه ۳) انجام می‌شود.

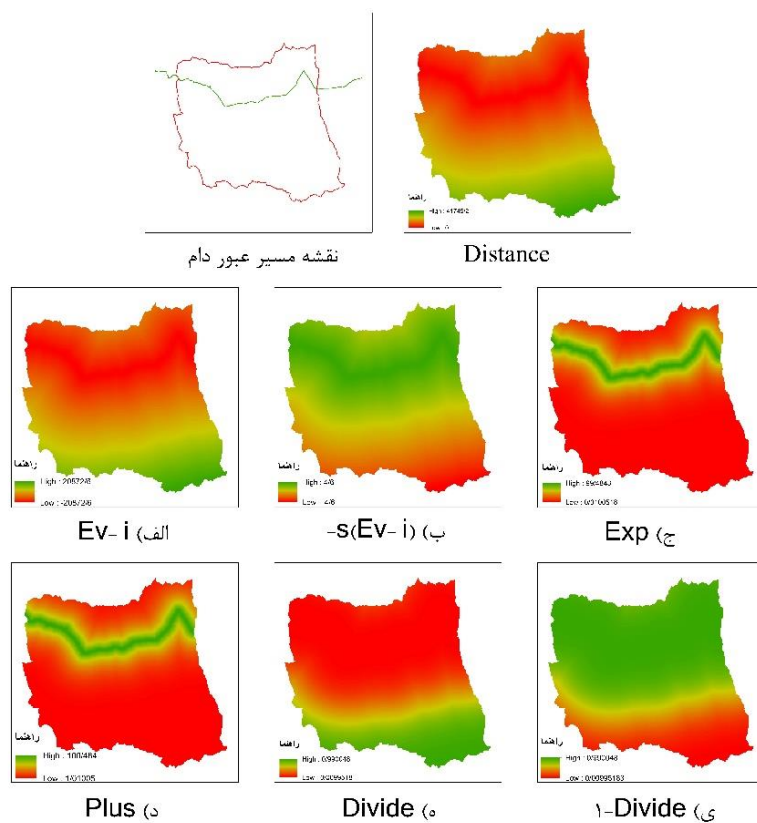
$$GA(v_1, v_2, \dots, v_n) = \left[\prod_{i=1}^n v_i \right]^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{v_1 v_2 \dots v_n} \quad (3)$$

در رابطه فوق، v_1 تا v_n لایه‌های وزن‌دار تولید شده با استفاده از معیارهای به‌کار گرفته شده، n تعداد لایه، GA میانگین هندسی و در واقع ارزش هر قسمت از منطقه به منظور احداث سد زیرزمینی است. رابطه میانگین هندسی در مواردی که عدم قطعیت در مدل‌سازی وجود دارد، می‌تواند در کاهش خطای مدل مؤثر واقع شود (Wei, ۲۰۱۰). علاوه بر این، در شرایطی که وزندهی به معیارهای شناسایی در مکان‌یابی به صورت پیوسته انجام گرفته، روش تلفیق میانگین هندسی به دلیل استفاده از ریشه n ام حاصل ضرب n لایه وزن‌دار، محدوده مطالعه شده را به گونه بهتری برای بررسی‌های بیشتر کوچک‌تر کرده و بنابراین در تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل‌هایی با قدرت پیش‌بینی مکانی بهتری تولید می‌کند. در شکل ۳، فلوچارت مراحل روش میانگین هندسی نشان داده شده است. همچنین، در شکل ۴، مراحل وزندهی پارامترها در روش میانگین هندسی به عنوان نمونه مراحل وزندهی پارامتر فاصله از مسیر عبور دام قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳. فلوچارت مراحل روش میانگین هندسی

Fig. 3 Flowchart of the geometric mean method steps



شکل ۴. مراحل وزن دهی پارامتر مسیر عبور دام به روش میانگین هندسی

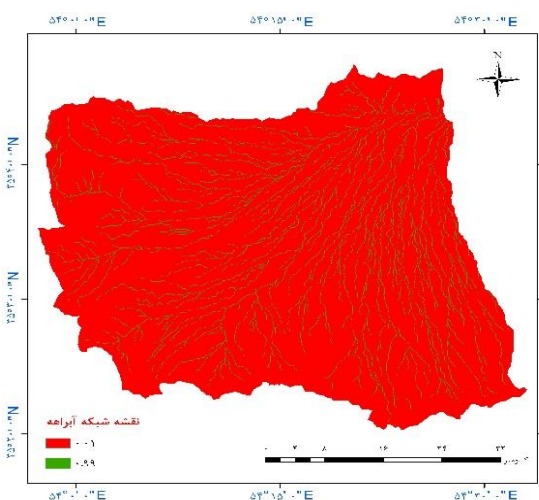
Fig. 4 Steps of weighting the parameter of livestock crossing by geometric mean method

۳- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج هر یک از معیارهای به‌کار رفته در مکان‌یابی و نقشه‌نمایی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی ارائه می‌شود.

۳-۱- نقشه شبکه آبراهه

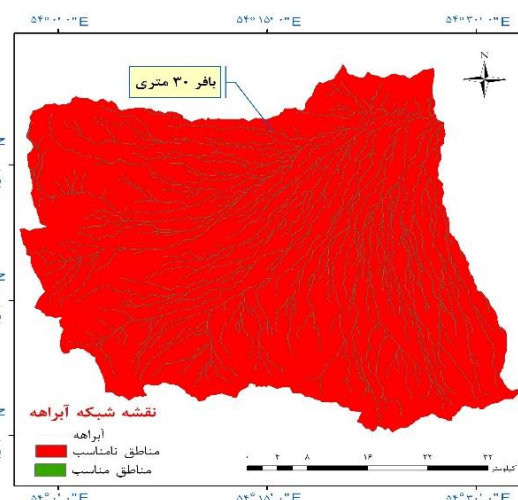
سدهای زیرزمینی، به طور معمول در مسیرهای آبی مانند رودخانه‌ها، آبراهه‌ها و خشک‌رودها، در اعماق زمین احداث می‌شوند (Eisavi و همکاران، ۲۰۱۲). به منظور کلاس‌بندی نقشه شبکه آبراهه، ابتدا نقشه مدل رقومی ارتفاع^۱ (DEM) منطقه مورد مطالعه تهیه شد. به منظور کلاس‌بندی، از دو روش منطق بولین و میانگین هندسی استفاده گردید. در روش منطق بولین، ابتدا نقشه شبکه آبراهه با حریم ۳۰ متر از آن استخراج شد. به مناطق داخل حریم آبراهه‌ها ارزش عددی یک و مناطق بیرون از حریم آبراهه‌ها ارزش عددی صفر تعلق گرفت. در روش میانگین هندسی، برای این فاکتور دو کلاس در نظر گرفته شد، که کلاسی که در آن عرض آبراهه تا ۳۰ متر می‌باشد (مناطق مناسب) وزن ۰/۹۹ و سایر مناطق وزن ۰/۰۱ اختصاص یافت (مناطق نامناسب). در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نقشه کلاس‌بندی شده شبکه آبراهه با استفاده از منطق بولین و روش میانگین هندسی نشان داده شده است.



شکل ۶. نقشه کلاس‌بندی شده شبکه آبراهه با استفاده از روش

میانگین هندسی

Fig. 6 Classified map of channel network using geometric mean



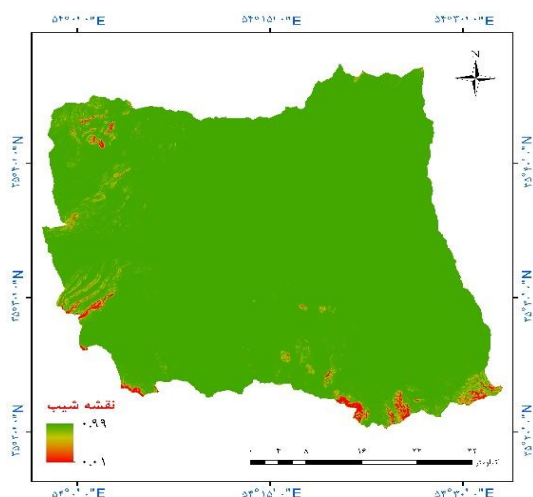
شکل ۵. نقشه کلاس‌بندی شده شبکه آبراهه با استفاده از منطق

بولین

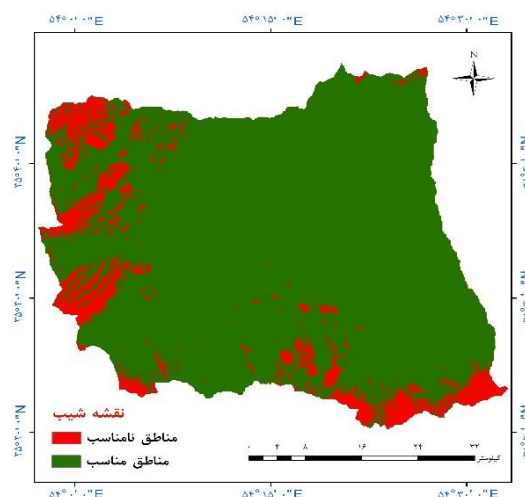
Fig. 5 Classified map of channel network using Boolean logic

۳-۲- نقشه شیب حوضه

یکی از عوامل مؤثر در تعیین مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی، شیب می‌باشد. برای تهیه نقشه شیب منطقه، از نقشه DEM استفاده شده است. با مروی بر مطالعات گذشته و دستورالعمل‌ها، شیب کمتر از ۵ درصد جهت احداث سد زیرزمینی مناسب می‌باشد (Salahaldin و همکاران، ۲۰۱۴). به همین دلیل، در روش منطق بولین، به مناطق با شیب کمتر از ۵ درصد ارزش عددی یک و مناطق با شیب بیشتر از ۵ درصد ارزش عددی صفر تعلق گرفت. در روش میانگین هندسی، هرچه ارزش‌ها به عدد ۰/۹۹ نزدیک می‌شود نشان‌دهنده مناطق با کمترین شیب (مناطق مناسب) و ارزش‌های نزدیک‌تر به عدد ۰/۰۱ نشان‌دهنده مناطق نامناسب (مناطق با شیب زیاد) می‌باشند. در شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب نقشه‌های کلاس‌بندی شده شیب با روش‌های منطق بولین و میانگین هندسی نشان داده شده است.



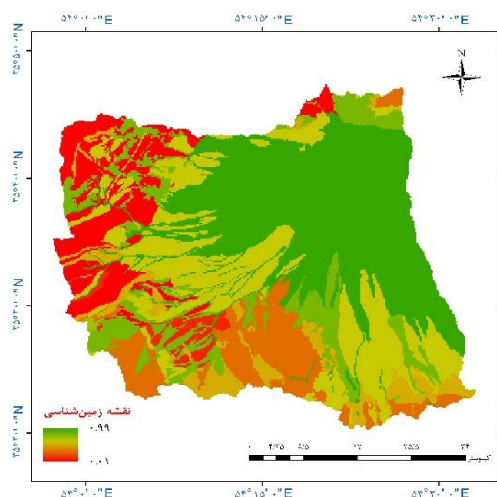
شکل ۸. نقشه کلاس‌بندی شده شیب با استفاده از روش میانگین هندسی
Fig. 8 Classified map of slope using geometric mean



شکل ۷. نقشه کلاس‌بندی شده شیب با استفاده از منطق بولین
Fig. 7. Classified map of slope using Boolean logic

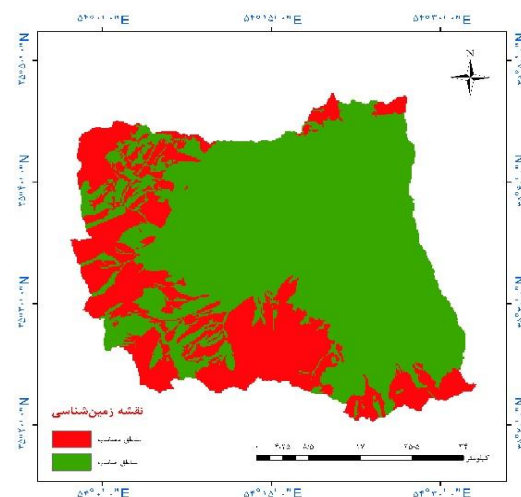
۳-۳- نقشه زمین‌شناسی

نقشه زمین‌شناسی، اطلاعاتی در باره نوع و ویژگی‌های خاک و سنگ‌های موجود در منطقه را ارائه می‌دهد. وجود سنگ بستر نفوذپذیر یا با نفوذپذیری بسیار کم از عوامل مهم و تأثیرگذار در مکان‌یابی محل مناسب جهت احداث سد زیرزمینی می‌باشد، تا از تلفات ناشی از نفوذ عمقی آب ذخیره شده از زیر سد جلوگیری شود (Eisavi و همکاران، ۲۰۱۲). نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شد. به منظور کلاس‌بندی با منطق بولین، به سازندهای نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری کم، ارزش یک و سازندهای با نفوذپذیری زیاد، ارزش صفر تعلق گرفت. در روش میانگین هندسی، وزن ۰/۰۱ نشان‌دهنده مناطق نامناسب و ۰/۹۹ نشان‌دهنده مناطق کاملاً مناسب است و سایر واحدها دارای اهمیت بین دو مقدار فوق قرار دارند. در شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب نقشه زمین‌شناسی کلاس‌بندی شده با روش‌های منطق بولین و میانگین هندسی نشان داده شده است.



شکل ۱۰. نقشه کلاس‌بندی شده زمین‌شناسی با استفاده از روش میانگین هندسی

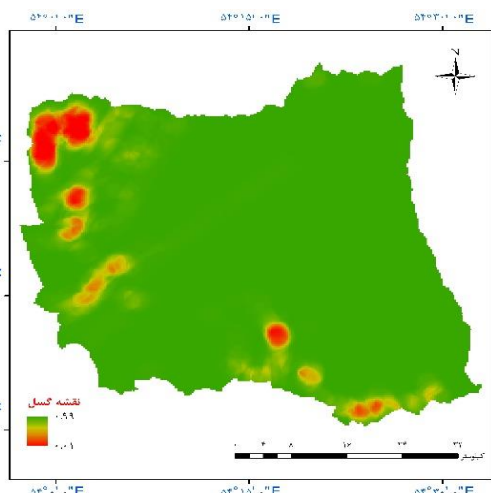
Fig. 10 Classified map of geology using geometric mean



شکل ۹. نقشه کلاس‌بندی شده زمین‌شناسی با استفاده از منطق بولین
Fig. 9 Classified map of geology using Boolean logic

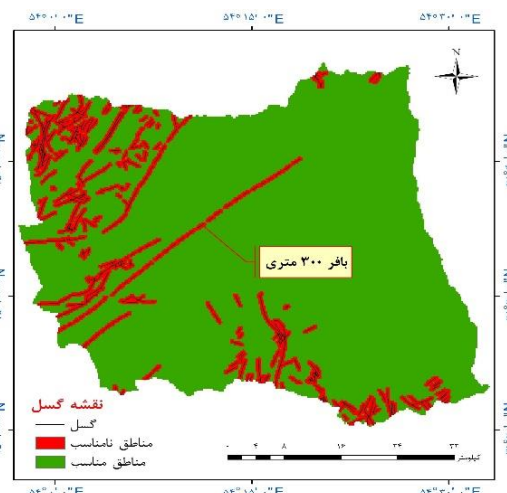
۳-۴- نقشه گسل

وجود شکستگی‌ها و گسل‌ها در محدوده پی سد می‌تواند یکی از عوامل اصلی نشت و فرار آب از مخازن سدهای زیرزمینی باشد (Eisavi و همکاران، ۲۰۱۲). نقشه پراکنش گسل از نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به دست آمد. به منظور استفاده از روش منطق بولین، یک حریم ۳۰۰ متری از گسل ایجاد شد (Shahavand و Heidarimozaffar، ۲۰۲۱) و به محدوده مناطق داخل حریم ارزش صفر و مناطق خارج از حریم ارزش یک تعلق گرفت. در روش میانگین هندسی، ابتدا نقشه چگالی گسل تهیه شد. سپس با وزن‌دهی به روش میانگین هندسی، مناطق با ارزش عددی نزدیک به ۰/۹۹ نشان‌دهنده مناطق با بیشترین فاصله از گسل (مناطق با اهمیت بیشتر) و مناطق با ارزش عددی نزدیک به ۰/۰۱ نشان‌دهنده مناطق نزدیک‌تر به گسل (مناطق با اهمیت کمتر) می‌باشند. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب نقشه کلاس‌بندی شده گسل با روش‌های منطق بولین و میانگین هندسی نشان داده شده است.



شکل ۱۲. نقشه کلاس‌بندی شده گسل

با استفاده از روش میانگین هندسی



شکل ۱۱. نقشه کلاس‌بندی شده گسل

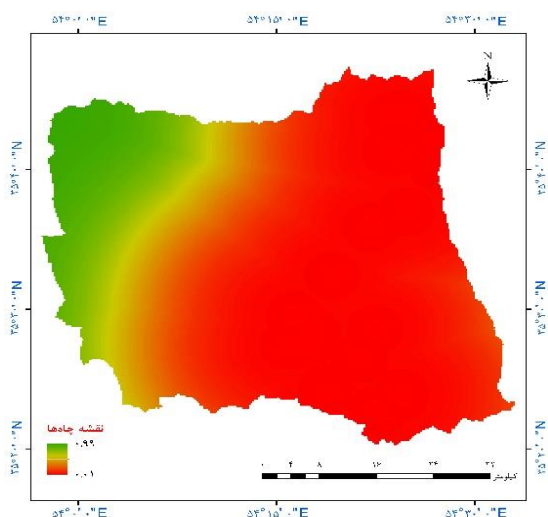
با استفاده از منطق بولین

Fig. 12 Classified map of fault using geometric mean

Fig. 11 Classified map of fault using Boolean logic

۳-۵- نقشه چاه‌ها

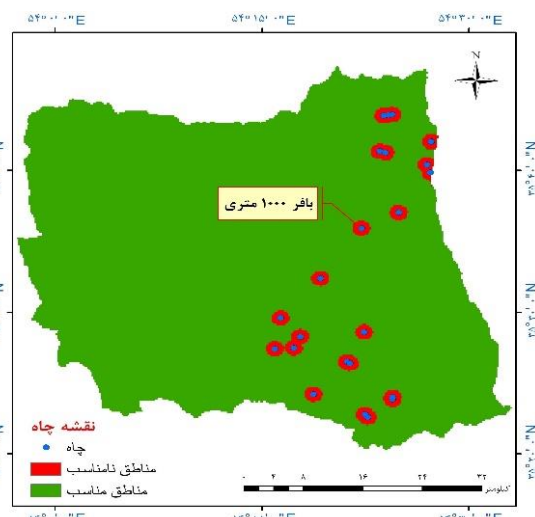
در احداث سدهای زیرزمینی، بسیار مهم است که تأثیرات آن بر منابع آب محیط اطراف را در نظر گرفت. ایجاد یک سد زیرزمینی نباید منجر به تخریب یا کاهش منابع آب سطحی و آب زیرزمینی دیگر در منطقه شود. از این رو، احداث سد زیرزمینی در نزدیکی چاه‌ها و منابع آب مهمی که برای تأمین آب کشاورزی، آب شرب، یا سایر مصارف استفاده می‌شوند، ممکن است منجر به کاهش حجم و کیفیت آب این منابع شود. بنابراین، مناطقی که چاه‌های مهم وجود دارند باید در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی حذف یا به دقت مورد ارزیابی قرار گیرند (Rostamikhajaj و همکاران، ۲۰۲۲). نقشه چاه‌های درون حوضه مورد مطالعه از شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان تهیه شد. این نقشه به دو روش منطق بولین و میانگین هندسی کلاس‌بندی شده است که به ترتیب در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که به منظور استفاده از روش منطق بولین حریم ۱۰۰۰ متری از چاه‌ها ایجاد شده و به مناطق درون حریم چاه‌ها ارزش صفر و به مناطق خارج از حریم چاه‌ها ارزش یک تعلق گرفت. در روش میانگین هندسی، ابتدا نقشه فاصله از چاه‌ها ایجاد شد. سپس با استفاده از روابط مربوطه نقشه فاصله از چاه‌ها وزن‌دهی شد. مناطق مناسب با وزن ۰/۹۹ نشان‌دهنده فاصله دورتر از چاه‌ها (مناطق با اهمیت بیشتر) و مناطق با وزن ۰/۰۱ نشان‌دهنده فاصله نزدیک‌تر از چاه‌ها (مناطق با اهمیت کمتر) می‌باشند.



شکل ۱۴. نقشه کلاس‌بندی شده چاه‌ها

با استفاده از روش میانگین هندسی

Fig. 14 Classified map of wells using geometric mean



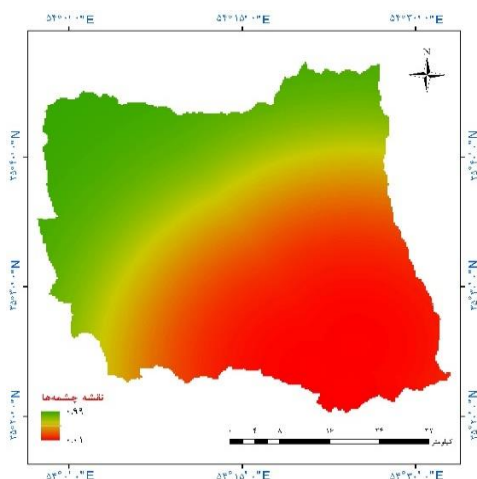
شکل ۱۳. نقشه کلاس‌بندی شده چاه‌ها

با استفاده از منطق بولین

Fig. 13 Classified map of wells using Boolean logic

۳-۶- نقشه چشمه‌ها

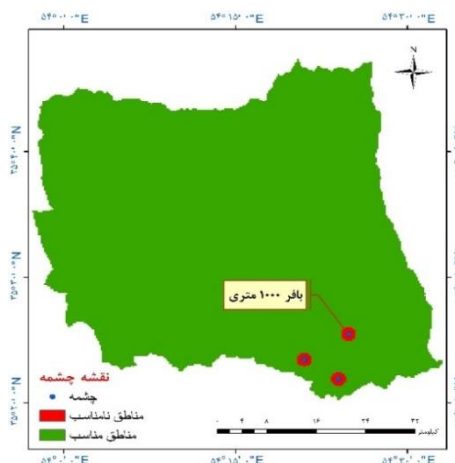
احداث سدهای زیرزمینی در نزدیکی چشمه‌ها می‌تواند منجر به تخریب یا کاهش دسترسی به این منابع آب طبیعی شود و در نتیجه بر بخشی از اقتصاد و زیستگاه‌های محلی تأثیر بگذارد. به همین دلیل، سدهای زیرزمینی نباید در نزدیکی چشمه‌ها احداث شوند (Salahaldin و همکاران، ۲۰۱۴). نقشه چشمه‌های درون حوضه مورد مطالعه از شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان تهیه شد. این نقشه با دو روش منطق بولین و میانگین هندسی کلاس‌بندی شد که به ترتیب در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است. در روش منطق بولین، حریم ۱۰۰۰ متری از چشمه‌ها ایجاد شده و به مناطق درون حریم چشمه‌ها ارزش صفر و به مناطق بیرون ارزش یک تعلق گرفت. در روش میانگین هندسی همانند پارامتر فاصله از چاه ابتدا نقشه فاصله از چشمه‌ها تهیه شد و سپس وزن‌دهی از روابط مربوطه انجام گرفت.



شکل ۱۶. نقشه کلاس‌بندی شده چشمه‌ها

با استفاده از روش میانگین هندسی

Fig. 16 Classified map of springs using geometric mean



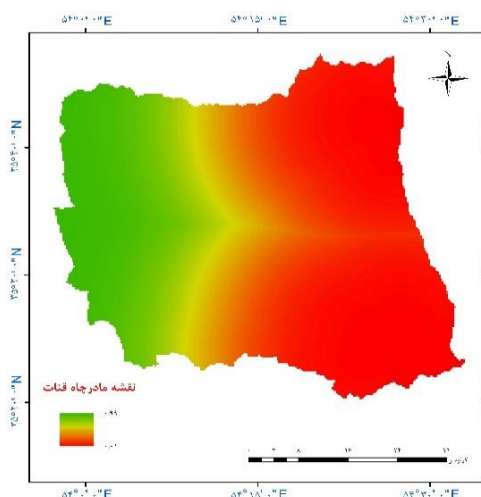
شکل ۱۵. نقشه کلاس‌بندی شده چشمه‌ها

با استفاده از منطق بولین

Fig. 15 Classified map of springs using Boolean logic

۳-۷- نقشه قنات‌ها

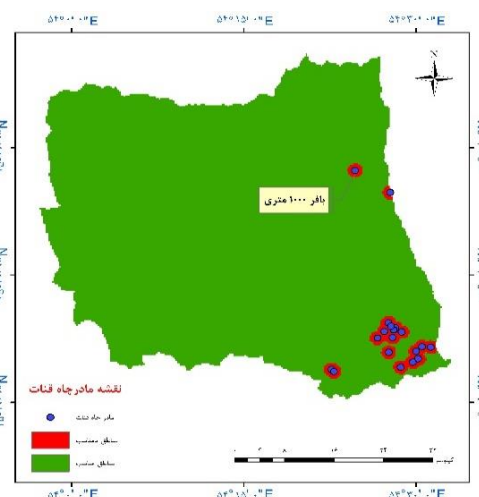
همانند چاه‌ها و چشمه‌ها، سدهای زیرزمینی نباید در نزدیکی قنات‌ها احداث شوند (Salahaldin و همکاران، ۲۰۱۴). نقشه قنات‌های درون حوضه مورد مطالعه از شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان تهیه شد. این نقشه با دو روش منطق بولین و میانگین هندسی کلاس‌بندی شد که به ترتیب در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نشان داده شده است. در روش منطق بولین، حریم ۱۰۰۰ متری از چشمه‌ها ایجاد شده و به مناطق درون حریم چشمه‌ها ارزش صفر و به مناطق بیرون حریم ارزش یک تعلق گرفت. در روش میانگین هندسی، همانند پارامتر فاصله از چاه و چشمه، ابتدا نقشه فاصله از قنات‌ها تهیه شد و سپس وزن‌دهی از روابط مربوطه انجام گرفت.



شکل ۱۸. نقشه کلاس‌بندی شده قنات‌ها

با استفاده از روش میانگین هندسی

Fig. 18 Classified map of qanats using geometric mean



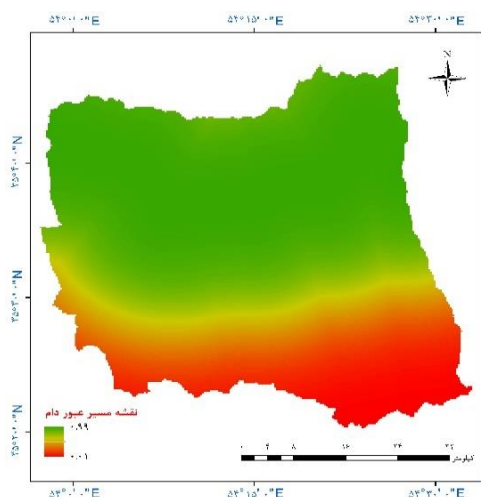
شکل ۱۷. نقشه کلاس‌بندی شده قنات‌ها

با استفاده از منطق بولین

Fig. 17 Classified map of qanats using Boolean logic

۳-۸- نقشه مسیر عبور دام

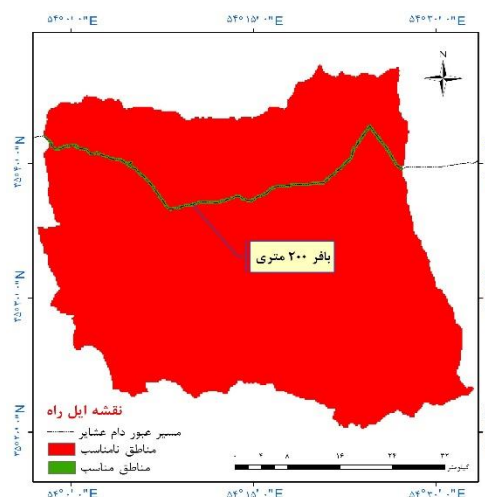
در احداث سد زیرزمینی، به منظور کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری، مکان مورد نظر در نزدیک‌ترین فاصله تا محل مصرف انتخاب می‌شود. نقشه مسیر عبور دام عشایر از اداره کل امور عشایر استان سمنان تهیه شد. سپس با دو روش منطق بولین و میانگین هندسی کلاس‌بندی شد که به ترتیب در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ نشان داده شده است. در حال حاضر، با توجه به محدودیت منابع آب و اقلیم گرم و خشک منطقه، تهیه آب شرب دام‌ها توسط تانکر انجام می‌شود. با توجه به اینکه هدف این پژوهش تأمین منابع آب برای شرب دام درون حوضه می‌باشد، منابع آب تأمین شده بایستی در فاصله‌ای نزدیک به مسیر عبور دام باشد تا دسترسی و انتقال آب به سهولت و با هزینه کمتری انجام شود. برای این منظور، در روش منطق بولین، یک حریم ۲۰۰ متری از مسیر عبور دام ایجاد شد و به مناطق درون حریم ارزش یک و به مناطق بیرون حریم ارزش صفر تعلق گرفت. در روش میانگین هندسی، ابتدا نقشه فاصله از مسیر عبور دام تهیه شد. سپس، وزن‌دهی با استفاده از روابط مربوطه انجام گرفت. مناطق مناسب با وزن ۰/۹۹ نشان‌دهنده فاصله نزدیک‌تر به مسیر عبور دام (مناطق با اهمیت بیشتر) و مناطق با وزن ۰/۰۱ نشان‌دهنده فاصله دورتر از مسیر عبور دام (مناطق با اهمیت کمتر) می‌باشند.



شکل ۲۰. نقشه کلاس‌بندی شده مسیر عبور دام

با استفاده از روش میانگین هندسی

Fig. 20 Classified map of livestock crossing using geometric mean



شکل ۱۹. نقشه کلاس‌بندی شده مسیر عبور دام

با استفاده از منطق بولین

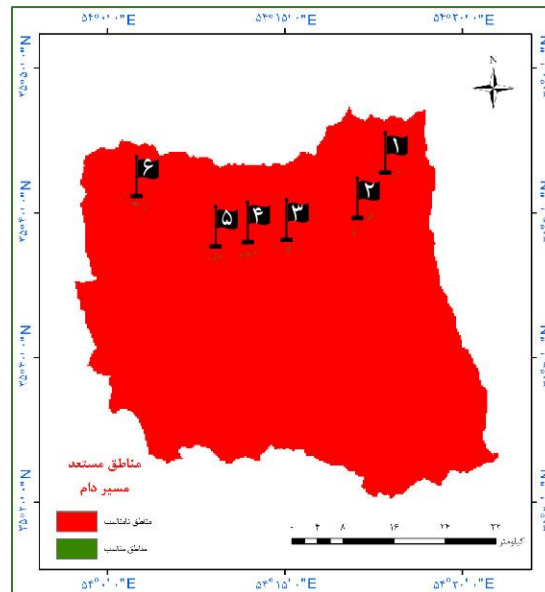
Fig. 19 Classified map of livestock crossing using Boolean logic

۳-۹- تلفیق نقشه‌های کلاس‌بندی شده

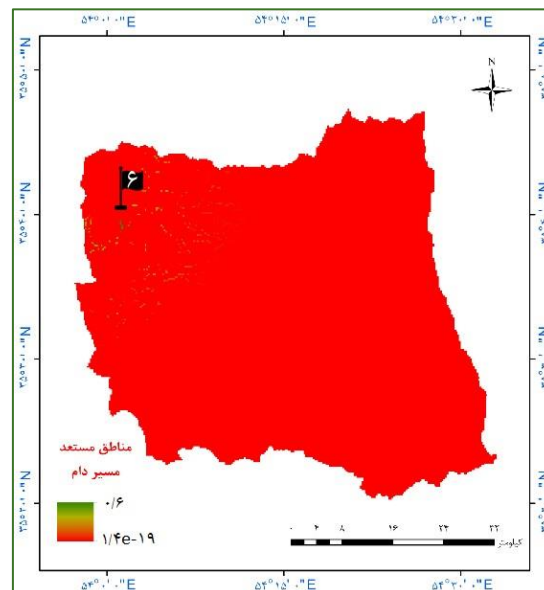
جهت تعیین مناطق مستعد تأمین منابع آب کوچک در مسیر عبور دام، با همپوشانی نقشه‌های کلاس‌بندی شده پارامترهای مؤثر در مکان‌یابی سد زیرزمینی با کمک نرم‌افزار GIS، با استفاده از دو روش مورد استفاده در این پژوهش، مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی مشخص شد. در شکل‌های ۲۱ و ۲۲ به ترتیب نقشه‌های مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی به منظور تأمین آب مورد نیاز دام با استفاده از روش‌های منطق بولین و میانگین هندسی نشان داده شده است.

در روش منطق بولین، ارزش معیارهای مختلف بر اساس یک سری نظرات کارشناسی بررسی و وزن‌دهی می‌شوند. از آنجایی که نظرات کارشناسی براساس تجربیات و نظرات یک فرد یا گروه است و کاملاً نمی‌تواند قابل اعتماد باشد و درصدی خطا دارند، بنابراین، استفاده از روش‌هایی که مستقل از نظرات کارشناسی باشد می‌تواند دقت کار را افزایش دهد. روش میانگین هندسی یکی از این روش‌هاست. مقایسه نقشه‌های تلفیق شده توسط این دو روش در رتبه‌بندی مناطق مناسب مشهود می‌باشد. این نتایج نشان‌دهنده دقت زیاد و خطای کمتر نسبت به نتایج حاصل از روش منطق بولین می‌باشد. در پژوهش Yousefi و همکاران (۲۰۱۷) نیز ثابت شده که روش میانگین هندسی عملکرد بهتری نسبت به دیگر روش‌ها دارد و از بروز خطاهای تصادفی جلوگیری می‌کند. همچنین، با مقایسه نقشه خروجی دو روش مشاهده می‌شود که در روش بولین، نقشه به‌دست آمده تنها توانسته هدف مکان‌یابی که در واقع کوچک نمودن محدوده مورد مطالعه به منظور مطالعات بیشتر است را محقق کند. طبق شکل ۲۱، شش محور مستعد شناسایی شد.

اما روش میانگین هندسی، علاوه بر کوچک کردن محدوده مورد نظر جهت انجام مطالعات بعدی، همانطور که در شکل ۲۲ مشاهده می‌شود، توانست بدون دخالت نظرات کارشناسی محورهای مناسب را مشخص کرده و از خطاهای ناشی از عدم قطعیت نظرات کارشناسی جلوگیری کند.



شکل ۲۱. نقشه مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی به منظور تأمین آب مورد نیاز دام با استفاده از منطق بولین
 Fig. 21 Map of suitable sites for construction of an underground dam in order to supply the water needed by livestock using Boolean logic



شکل ۲۲. نقشه مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی جهت تأمین آب مورد نیاز دام با استفاده از روش میانگین هندسی
 Fig. 22 Map of suitable sites for construction of an underground dam in order to supply the water needed by livestock using geometric mean

همانطور که در شکل ۲۲ مشاهده می‌شود، در روش میانگین هندسی، بیشترین امتیاز جهت احداث سد زیرزمینی محور شماره ۶ می‌باشد. با استفاده از این نقشه می‌توان با توجه به هدف‌گذاری مسئولان و همچنین نیاز آبی حوضه، محورهای مناسب را جهت مطالعات تکمیلی مورد بررسی قرار داد. مناطق شناخته شده کلیه شرایط جغرافیایی و ژئومتریک مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی را دارا می‌باشند و جهت مطالعات بعدی پیشنهاد می‌گردند.

۴- نتیجه‌گیری

در مناطق گرم و خشک استان سمنان، الگوی بارش به صورت نقطه‌ای و آنی می‌باشد که سبب ایجاد حجم قابل توجهی سیلاب در زمان کم می‌شود، که اگر این سیلاب پیش‌بینی و کنترل نشود دو پدیده مهم اتفاق می‌افتد: اول اینکه منجر به ایجاد خسارت به مناطق پایین‌دست خواهد شد و مورد بعد، آب حاصل از بارش که منبع مهم تأمین آب در مناطق با اقلیم گرم و خشک می‌باشد، در صورت عدم کنترل و هدایت، به دل‌کویر ریخته و کیفیت خود را از دست خواهد داد. همچنین، به دلیل کمبود منابع آب و برداشت زیاد از منابع آب زیرزمینی، مسئله تأمین منابع آب کوچک در این گونه مناطق از اهمیت زیادی برخوردار است. از این رو، احداث سد زیرزمینی یکی از راه‌کارهای بسیار مفید برای تأمین منابع آب کوچک در این مناطق می‌باشد. قابلیت ArcGIS در تحلیل داده‌های مکانی، به‌ویژه در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، و همچنین امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نتایج حاصل از تفسیر این تصاویر کمک به‌سزایی در انتخاب بهترین مکان جهت احداث سد زیرزمینی می‌کند. بدون استفاده از ArcGIS، انجام مطالعات مکان‌یابی در مقیاس گسترده و با سرعت و دقت مناسب بسیار مشکل و هزینه‌بر می‌باشد. در این تحقیق، پس از بررسی پیشینه تحقیق، از دو روش منطق بولین و میانگین هندسی به منظور مکان‌یابی مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی استفاده شده است. با بررسی این دو روش، مشخص می‌شود که با اعمال لایه‌های اطلاعاتی مختلف، می‌توان اقدام به مکان‌یابی برای هدف مورد نظر نمود. در این پژوهش، عوامل فاصله از آبراهه، شیب، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها و نزدیک بودن به مسیر عبور دام در مکان‌یابی سد زیرزمینی مؤثر بوده‌اند.

بر اساس مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش، مکان‌یابی به روش میانگین هندسی عملکرد مناسبی دارد و از بروز خطاهای احتمالی جلوگیری می‌کند، زیرا تابع لجستیک نقشه‌های وزن‌دار پیوسته پارامترهای تأثیرگذار مورد استفاده را تولید می‌کند که در آن‌ها اعمال نظر کارشناسان در تخصیص وزن حذف شده است. بنابراین، عدم قطعیت مدل‌های مکانی و خطای تصادفی کاهش می‌یابد.

براساس نتایج حاصل می‌توان با انجام بازدیدها و مطالعات میدانی و در نظر گرفتن عوامل دیگری نظیر نیاز آبی منطقه و تأثیرات اجتماعی و زیست‌محیطی، گزینه‌های پیشنهادی در نقشه نهایی را اولویت‌بندی کرد. با توجه به شرایط حاکم در مناطق گرم و خشک و همچنین مزایای سدهای زیرزمینی، معایب کم و قابل اغماض، زمان کم ساخت و هزینه کم نگهداری آنها، استفاده از این سازه جهت مدیریت و تأمین منابع آب در این مناطق پیشنهاد می‌شود.

۵- داده‌ها و اطلاعات

مبنای داده‌ها و اطلاعات مقاله حاضر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول است.

۶- تعارض منافع

در این مقاله، تعارض منافع وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

۷- مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این مقاله به شرح زیر است:

مشارکت پیمان پیمان‌خواه: جمع‌آوری اطلاعات، تفسیر و تحلیل داده‌ها و نوشتن متن اولیه مقاله می‌باشد.

مشارکت سید فرهاد موسوی، سید علی اصغر هاشمی و خسرو حسینی: نظارت و راهنمایی بر روند انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج و ویرایش نهایی متن مقاله می‌باشد.

۸- اصول اخلاقی

نویسندگان، اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها می‌باشد.

۹- مراجع

1. Amanian, N., Iliati, I., & Mokhtari, M. H. (2019). Site selection for underground dams using RS and GIS (Case study: Kashan Plain, Iran). *Journal of Arid Biome*, 9(1), 21-37. [In Persian]
2. Arabameri, A. R., Sohrabi, M., Rezaei K., & Shirani, K. (2018). Site selection of underground dam using GIS and AHP model. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 12(41), 51-60. [In Persian]
3. Dahmardeh Ghaleno, M. R., Mirzaei, G., & Alvandi, E. (2020). The choice of location of underground dams using multi-criteria decision-making methods TOPSIS and GIS in the eastern part of the watershed of Gorganroud. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(7), 389-403. [In Persian]
4. Dortaj, A., Maghsoudy, S., Doulati Ardejani, F., & Eskandari, Z. (2020). Locating suitable sites for construction of subsurface dams in semiarid region of Iran using modified ELECTRE III. *Sustainable Water Resources Management*, 6(1), 1-13. [In Persian]
5. Ebrahimi, J., Moradi, H. R., & Chezgi, J. (2021). Prioritizing suitable locations for underground dam construction in south-east of Bushehr Province. *Environmental Earth Sciences*, 80, 1-16.
6. Eisavi, V., Cearami, J., Ali-Mohammadi, A., & NikNezhad, A. (2012). Comparison of AHP and Fuzzy-AHP decision making approaches in initial locating of suitable area for underground dam construction in Taleghan area. *Journal of Earth Sciences*, 22(85), 27-34. [In Persian]
7. Esmali Ouri, A. (2000). Geological Survey and Mineral Explorations of Iran. Geological map (1: 100000) of Mahbad region. [In Persian]
8. Esmali Ouri, A., Golshan, M., & Khorrami, K. (2016). Prioritization of suitable axes for construction of underground dam in the Doostbeiglou watershed. *Physical Geography Research*, 48(4), 645-659. [In Persian]
9. Heidarimozaffar, M., & Shahavand, M. (2021). Spatial zoning of Kabodarahang plain using fuzzy logic in geospatial information system for the construction of an underground dam. *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 30(117), 95-110. [In Persian]
10. Jamali, I. A., Olofsson, B., & Mortberg, U. (2013). Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. *Environmental Earth Sciences*, 70(6), 2511-2525.
11. Karimzadeh, A., & Aminizadeh Bazanjani, M. R. (2013). Scrutiny of feasibility of implementation for underground dam in the margin of desert for land farming (Case study, Kerman (Ravar) underground dam). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(9), 1129-1141.
12. Kharazi, P., Yazdani, M. R., Ara, H., & Khazaelpour, P. (2017). Suitable site selection for groundwater dam construction using analytical hierarchy process (Case study: Dasht-e-Kavir watershed). *Quarterly of Geographical Data*, 26(103), 177-185. [In Persian]
13. Kharazi, P., Yazdani, M. R., & Khazaelpour, P. (2019). Suitable identification of underground dam locations, using decision-making methods in a semi-arid region of Iranian Semnan Plain. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100240.
14. Koohbanani, H., Barati, R., Yazdani, M., Sakhdari, S., & Jomemanzari, R. (2018). Groundwater recharge by selection of suitable sites for underground dams using a GIS-based fuzzy approach in semi-arid regions. In: *Progress in River Engineering & Hydraulic Structures*, pp. 11-32.
15. Nasri Zeidabadi, A. (2017). Locating suitable sites for constructing subsurface dams using technique AHP and GIS. Master Thesis, Sirjan University of Technology, Sirjan. [In Persian]
16. Ouerdachi, L., Boutaghane, H., Hafsi, R., Boulmaiz Tayeb, T., & Bouzahar, F. (2012). Modeling of underground dams application to planning in the semi-arid areas (Biskra, Algeria). *Energy Procedia*, 18, 426-437.

17. Rostamikhaj, M., Noor, H., Bagheriyan Kalt, A., & Kheirkhah Zarkesh, M. (2022). Identification of suitable sites for subsurface flow harvesting using underground dam (Case study: Border basins of Torbat-e-Jam county). *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 9(4), 19-32. [In Persian]
18. Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H., & Abolhasani, A. (2023). Selecting proper sites for underground dam construction using Multi-Attribute Utility Theory in arid and semi-arid regions. *Journal of Mountain Science*, 20(1), 197-208.
19. Salahaldin, A., Foad, A. I., Sarkawt, G., & Nadhir, A. I. (2014). Evaluation of selected site location for subsurface dam construction within Lsayi watershed using GIS and RS Garmiyan area Kurdistan region. *Journal of Water Resource and Protection*, 6, 972-987.
20. Shabani Nia, F. (2006). Fuzzy logic using MATLAB. Khaniran Publisher, 154 p. [In Persian]
21. Shirani, K., Dastjerdi, A. S., & Rahnamarad, J. (2017). Integration of multi criteria decision matrix and geographical information system to site selection for an underground dam. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 22(9), 3669-3686.
22. Wei, G. W. (2010). Some arithmetic aggregation operators with intuitionistic trapezoidal fuzzy numbers and their application to group decision making. *Journal of Computers*, 5, 345-351.
23. Yousefi, M., & Carranza, E. J. M. (2015). Geometric average of spatial evidence data layers: A GIS based multi-criteria decision-making approach to mineral prospectivity mapping. *Computers & Geosciences*, 83, 72-79.
24. Yousefi, M., Farokhzadeh, B., & Basati, S. (2017). Prioritization of potential areas for construction of underground dam using geometric average method in geographical information system. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 4(3), 663-672. [In Persian]
25. Zarei, N., & Kord, M. (2023). Underground dam construction site selection using Boolean logic and analytical hierarchy process methods using GIS (Case study: Hassanabad watershed in Kermanshah province). *Hydrogeology*, 7(2), 172-186. [In Persian]