

## مکان یابی اولیه سدهای زیر زمینی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS و GIS در بخش شرقی حوزه رودخانه گرگان رود

محمد رضا دهمرده قلعه نو<sup>۱\*</sup>

[Mr.dahmardeh@uoz.ac.ir](mailto:Mr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

قاسم میرزایی<sup>۲</sup>

احسان الوندی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۶

### چکیده

**زمینه و هدف:** سدهای زیر زمینی سازه‌هایی هستند که توانایی مسدود کردن آب زیر قشری، نگهداری آب در سفره‌های محلی و یا منحرف کردن آب به سفره‌های مجاور، بالا بردن تراز آب زیر زمینی، ذخیره کردن و در دسترس قرار دادن آب زیر زمینی را دارا می‌باشند. با در نظر گرفتن منافع محیط زیست و اجتماعی-اقتصادی سدهای زیر زمینی، مکان‌یابی مناسب اولین قدم در احداث این سدهای می‌باشد. روش‌های اصولی و جدید به منظور مکان‌یابی صحیح، خطرات مرتبط با مکان‌یابی نامناسب و ساخت سدهای زیر زمینی را کاهش می‌دهد. بدین منظور در این تحقیق از طریق استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در کنار قابلیت‌های بالای نرم افزار ArcGIS مکان‌یابی مناسب سدهای زیر زمینی در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان رود استان گلستان انجام شده است.

**روش بررسی:** معیارهای شیب، شبکه آبراهه، زمین شناسی، توپوگرافی، کاربری اراضی، گسل، بافت خاک و موقعیت روستا در نظر گرفته شده است. به منظور وزن دهی معیارها، از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. در ادامه به منظور تلفیق نقشه‌های معیار و مکان‌یابی مناسب سدهای زیر زمینی از تکنیک TOPSIS استفاده شده است.

**یافته‌ها:** نتایج به دست آمده در مرحله وزن دهی معیارها نشان داد، نرخ سازگاری مقایسات ۰/۰۳ است که این رقم تایید کننده صحت وزن دهی انجام شده بود. دو معیار شیب و موقعیت روستا به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین تاثیر روی مکان‌یابی سد زیر زمینی تشخیص داده شده است. نتایج نشان داد منطقه مورد مطالعه به چهار بخش خیلی مناسب، مناسب، تا حدودی نامناسب و نامناسب برای احداث سد زیر زمینی طبقه‌بندی شده است. 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.

۱- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۲- عضو هیات علمی، دانشکده کشاورزی مشکین شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.

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

**بحث و نتیجه گیری:** با توجه به نتایج تحقیق می‌توان گفت، در مکان‌یابی مناسب برای احداث سد زیرزمینی در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان‌رود استان گلستان، با وجود وابستگی‌های مکانی میان نقشه‌های معیار و این‌که نمی‌توان نقشه‌های معیار را مستقل از یکدیگر در نظر گرفت، استفاده از تکنیک TOPSIS می‌تواند به عنوان یک روش مناسب در تلفیق معیارها معرفی شود. همچنین معیارهای شیب و زمین‌شناسی به عنوان مهم‌ترین معیار برای مکان‌یابی سد زیرزمینی معرفی شدند. لازم به ذکر است با توجه به توانایی‌های بالای تکنیک TOPSIS و GIS در مکان‌یابی مناسب سدهای زیرزمینی، هرچه قدر نظرات کارشناسی دقیق‌تر و داده‌ها و اطلاعات به روزتر باشند، استفاده از این فنون و ابزار با نتایج بهتری همراه است.

**واژه‌های کلیدی:** سدهای زیرزمینی، تصمیم‌گیری چند معیاره، GIS، مناطق خشک، حوزه رودخانه گرگان‌رود

# **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**

**Mohammad Reza Dahmardeh Ghaleno<sup>1\*</sup>**

[Mr.dahmardeh@uoz.ac.ir](mailto:Mr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

**GhasemMirzaei<sup>2</sup>**

**EhsanAlvandi<sup>3</sup>**

Admission Date: May 9, 2018

Date Received: February 24, 2017

## **Abstract**

**Background and Objective:** Groundwater dams are structures that have the ability to block subcortical water, retain water in local aquifers or divert water to adjacent aquifers, raise groundwater levels, store and make available groundwater. Taking into account the environmental and socio-economic benefits of underground dams, proper location is the first step in the construction of these dams. New and innovative methods for correct location reduce the risks associated with improper location and construction of underground dams. For this purpose, in this research, through the use of multi-criteria decision-making methods along with the high capabilities of ArcGIS software, suitable location of underground dams in the eastern part of Gorganroud watershed in Golestan province has been done.

**Method:** Criteria were considered including slope, drainage, geology, topography, land use, fault, soil texture, and positions of village. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is used to weighting the criteria. Then the TOPSIS technique is used to integrate criteria maps and locating underground dams.

**Findings:** A consistency rate of 0.03, showed a relatively high accuracy of weighting process. Considering the normal weights, slope and positions of village were found to be the most and the least effective criteria, respectively. The results showed that the study area is classified into four categories for constructing underground dams: very suitable, suitable, partly suitable and unsuitable. The unsuitable category has the highest percentage of the surface area (76.7 percent) and the very suitable category has the lowest percentage of the surface area (2.1 percent).

**Discussion and Conclusion:** In conclusion, with considering high capacities of multiple-criteria decision-making methods and GIS in locating underground dams, as expert opinions are more accurate and data are newer and it is more possible to get better results from these techniques and tools.

**Key words:** Underground Water, Multiple-Criteria Decision-Making, GIS, Arid Regions, Gorganroud Watershed.

---

1- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran \*(Corresponding author)

2- Faculty of Agriculture of Meshkin Shahr, University of Mohaghegh, Ardabil, Iran

3- Ph.D., Student, Watershed Management, Department of Watershed Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

## مقدمه

راه کارهای مقابله با کم آبی در دو استراتژی مدیریت صحیح منابع آب و استحصال از منابع جدید آب خلاصه می شود. در کشور ایران به دلیل شرایط جغرافیایی و اقلیمی خاص، بهبود مدیریت منابع آبی موجود، نتایج بهتر و سریع تری خواهد داشت. در اغلب نقاط ایران، به علت بارندگی کم و توزیع زمانی نامناسب آن، منابع آب زیرزمینی و مدیریت آن از اولویت خاصی برخوردار است (۱). از طرفی میزان کم بارندگی، تبخیر زیاد، مدیریت ضعیف آبخیزداری در حوزه های آبخیز، میزان بسیار زیاد رسوب، مواد آلی و شیمیایی و در نهایت اثرات مخرب زیست محیطی و اجتماعی، بسیاری از سدهای بزرگ کشور را دچار بحران نموده است (۲). سد کردن آب زیرزمینی برای حفاظت از منابع آب یک مفهوم جدید نمی باشد. رومی ها این سدها را در جزیره ی ساردینیا ساخته اند. بررسی سازه های تاریخی در تونس نیز نشان می دهد که سد کردن آب زیرزمینی توسط تمدن باستانی در شمال آفریقا به اجرا در آمده است (۳). از جمله مهم ترین مراحل اجرایی یک پروژه سد زیرزمینی مطالعات قبل از احداث آن می باشد که مطالعات زمین شناسی، ژئوفیزیک و لرزه زمین ساخت از بخش های اصلی این مطالعات محسوب می گردند (۴). سدهای زیرزمینی سازه های هستند که توانایی مسدود کردن آب زیر قشری، نگهداری آب در سفره های محلی و یا منحرف کردن آب به سفره های مجاور، بالا بردن تراز آب زیرزمینی، ذخیره کردن و در دسترس قرار دادن آب زیرزمینی را دارا می باشند (۵). مهم ترین مشکل در توسعه و ایجاد یک سد زیرزمینی پیچیدگی تعیین مناطق مناسب برای احداث سد می باشد. این مشکل از آنجایی ناشی می شود که معیارهای و عوامل زیادی همانند معیارهای فیزیکی و هیدرولوژیکی و اقتصادی - اجتماعی در مکان یابی سدهای زیرزمینی دخیل هستند (۶).

مکان یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد توجه بسیاری از محققان در داخل و خارج از کشور قرار گرفته است. درفشان و همکاران (۷)، مکان یابی محل های مناسب برای ساخت سدهای زیرزمینی از طریق فرایند تحلیل سلسله مراتبی را

مورد بررسی قرار دادند. امین زاده و قاسمی (۸)، مکان یابی محل های مناسب برای ساخت سدهای زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. صفاییان و امانی (۹)، تجزیه و تحلیل تناسب اراضی برای سدهای خاکی کوچک با استفاده از ارزیابی چندمعیاره (MCE) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را مورد بررسی قرار دادند. صلاح الدین و همکاران (۱۰)، به منظور انتخاب محل مناسب برای احداث سد زیر سطحی در حوضه آبی ذی منطقه کردستان عراق از نرم افزار GIS و تکنیک RS استفاده کردند. با توجه به نتایج تحقیق، ویژگی های زمین شناسی، ژئومورفولوژی، آب شناسی و هیدروژئولوژیک همراه با بررسی RS نشان دهنده مناسب بودن سایت های انتخاب شده برای احداث سد زیر سطحی می باشد. عمران و همکاران (۱۱)، مکان یابی محل های مناسب برای ساخت سدهای زیر سطحی را با استفاده از GIS مورد بررسی قرار دادند. جابر و ال اوار (۱۲)، با استفاده از تکنیک های GIS، روش AHP و سیستم مدل کننده حوضه آبخیز WMS روش مناسبی را برای مکان یابی نقاط مناسب ذخیره آب خارج شده از حوضه های آبخیز در مقیاس کوچک پیشنهاد کردند. فورزیری و همکاران (۱۳) در بررسی خود در منطقه کیدال، کشور مالی به معرفی روش هایی برای انتخاب بهترین مکان برای احداث سدهای زیرزمینی پرداختند.

منطقه مورد مطالعه این تحقیق بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان رود استان گلستان می باشد. در این حوضه بارندگی سالانه از غرب به شرق کاهش می یابد به طوری که مقدار بارش متوسط سالانه در بخش غربی حدود ۴۵۰ میلی متر و در مناطق شرقی حوضه در حدود ۱۸۰ تا ۲۵۰ میلی متر می باشد. با توجه به وضعیت آب و هوایی و منابع آب زیرزمینی در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان رود می بایست از کلیه امکانات و ظرفیت ها جهت استفاده بهینه از منابع آب موجود استفاده نمود. یکی از بهترین روش ها جهت استفاده موضعی از جریان های زیر قشری، احداث سد زیرزمینی و ذخیره آب در زیر سطح زمین می باشد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق مکان یابی اولیه سدهای

1- Jabr and El-Awar

2- Forzieri et al

### روش تحقیق

در این تحقیق به منظور مکان‌یابی اولیه سدهای زیرزمینی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) و GIS استفاده شده است. بدین منظور ابتدا لایه‌های مختلف با دقت بالا تهیه شده است، سپس مکان‌یابی سد زیرزمینی در دستور کار قرار گرفته است. مراحل توسعه و عملی کردن مکان‌یابی اولیه سدهای زیرزمینی در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان‌رود در شکل ۲ ارائه شده است.

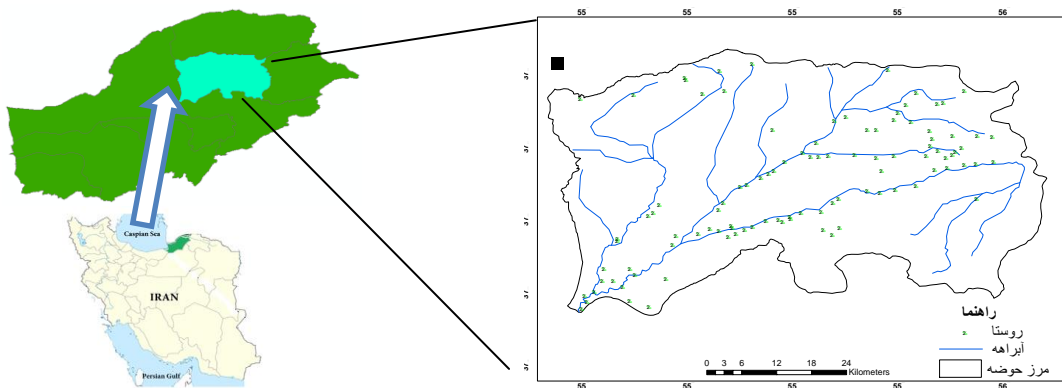
زیرزمینی در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان‌رود استان گلستان با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۱</sup> (TOPSIS) و قابلیت‌های GIS<sup>۲</sup> می‌باشد. در ادامه با انجام مطالعات میدانی تکمیلی می‌توان نسبت به مکان‌یابی نهایی و اجرای این سازه‌ها جهت تامین آب در مقیاس‌های کوچک خصوصاً برای روستاها اقدام نمود. به‌طور کلی با این روش می‌توان از هدر رفتن آب‌های زیرزمینی با کیفیت جلوگیری نموده و این منابع با ارزش و حیاتی استان را بهتر مدیریت نمود.

### مواد و روش

#### منطقه مورد مطالعه

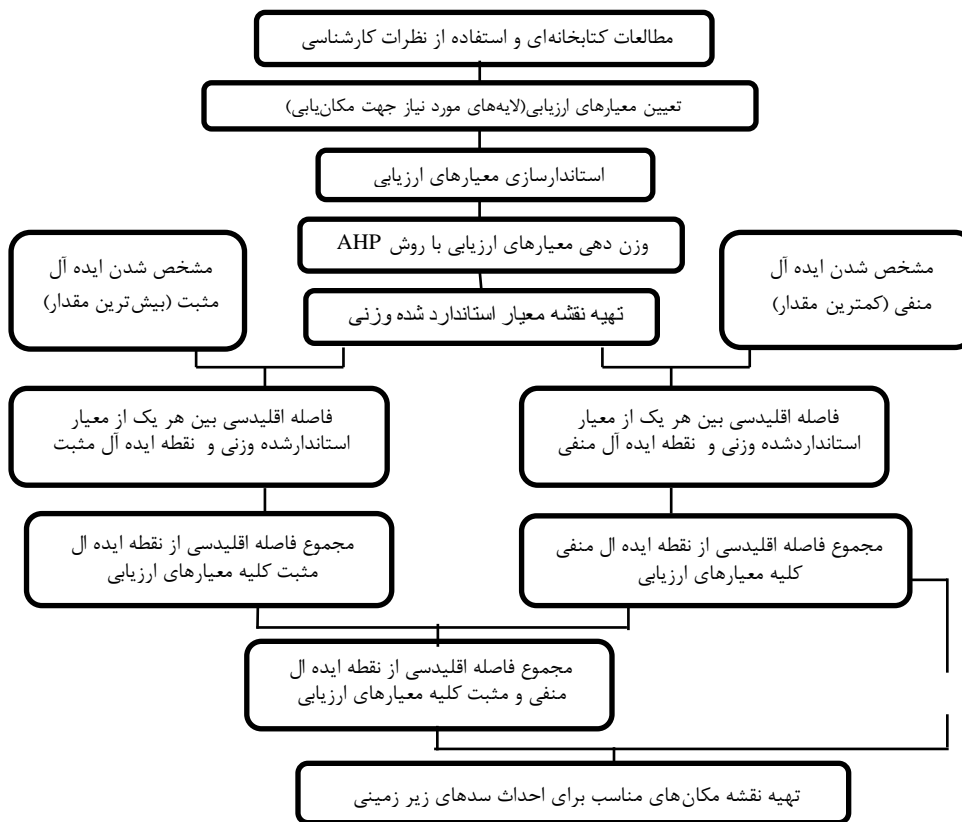
منطقه مورد مطالعه، بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان‌رود است که با مساحت ۲۲۴ هزار هکتار و میانگین ارتفاع ۵۶۴ متر در بخش جنوب شرقی دریای خزر در چین خوردگی‌های شمالی البرز قرار دارد. این حوضه با مختصات ۵۵ درجه و ۱۶ دقیقه و ۵۶ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه و ۳۷ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. کاربری عمده محدوده مورد مطالعه اراضی کشاورزی آبی و دیم، جنگل و مرتع است. خروجی حوضه در محل سد گلستان به عنوان پست‌ترین نقطه محدوده در طبقه ارتفاعی ۴۴ تا ۷۹ متر از سطح دریا قرار دارد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

- 
- 1- Multiple Criteria Decision Making
  - 2-Technique For order Preference by Similarity to ideal Solution
  - 3- Geographic Information System



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان گلستان

Figure 1. Location of the study area in Golestan Province



شکل ۲- مراحل توسعه و عملی کردن مکان‌یابی اولیه سدهای زیر زمینی

Figure 2. Stages of development and implementation of the initial location of underground dams

لایه‌های مورد نیاز جهت مکان‌یابی سد زیرزمینی

هیدروگرافی مرز حوضه مورد مطالعه با استفاده از قابلیت‌های نرم افزار ArcGIS در محیط ArcHydro مشخص گردید. لایه شیب: با توجه به بررسی‌های انجام شده مناسب‌ترین شیب جهت احداث سدهای زیرزمینی بین ۲ تا ۸ درصد

لایه توپوگرافی: برای بررسی وضعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ توپوگرافی سازمان جغرافیایی ارتش استفاده شده است. با استفاده از این لایه و لایه شبکه

اماکن مسکونی، خطوط ارتباطی و مناطق مرتفع کوهستانی از مکان‌های نامناسب برای احداث سدهای زیر زمینی هستند.

**لایه گسل‌ها:** به منظور تهیه لایه‌های گسل منطقه از نقشه-های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰ استان گلستان استفاده شد و گسل‌های موجود استخراج گردید. به منظور تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی بهتر است در حریم ۵۰۰ متری گسل سد احداث نشود. به این منظور در لایه اطلاعاتی آن تا حریم ۵۰۰ متری گسل جزء مناطق نامناسب و خارج آن محدوده به عنوان مناطق مناسب معرفی شده است.

**موقعیت روستاها** با توجه به شبکه ارتباطی منطقه و حریم در نظر گرفته در تحقیقات چزگی و همکاران (۱۸)، حریم با فاصله یک کیلومتر از هر روستا ایجاد شد تا نقاط مناسب به این فاصله ارزیابی شوند.

**استاندارد سازی معیارهای ارزیابی:** بعد از مشخص شدن معیارها، برای ارزیابی واحدهای مکانی، هر معیار به صورت یک لایه نقشه در پایگاه‌داده مبتنی بر ArcGIS آماده‌سازی و تحت عنوان نقشه‌های معیار ذخیره شده است. سپس با ارائه پرسش‌نامه و مراجعه به ۱۵ نفر از متخصصین، با استفاده از روش دلفی ارزش هر یک از طبقات مختلف معیارهای ارزیابی به منظور احداث سد زیرزمینی مشخص شده است، به گونه‌ای که مجموع ارزش‌های تعلق گرفته به طبقات مختلف هر معیار برابر یک باشد.

**وزن دهی معیارهای ارزیابی:** در این مرحله به منظور وزن-دهی معیارها، با مراجعه به ۱۵ نفر از متخصصین در رشته مربوطه وزنی برای هر یک از معیارها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استخراج شده است. در این روش با تشکیل ماتریس که ارائه دهنده آرای بیان شده در خصوص مقایسه هر زوج معیار تصمیم‌گیری است، در نهایت وزن نسبی هر معیار تعیین می‌شود (۱۹،۲۰).

**تهیه نقشه معیار استاندارد شده وزنی و تلفیق معیارهای ارزیابی:** برای این منظور مقدار وزن اختصاص یافته به هر معیار در ارزش طبقات مختلف آن معیار ضرب شده است. در این تحقیق به منظور تلفیق نقشه‌های معیار استاندارد شده وزنی

است (۱۴ و ۱۵). نقشه شیب منطقه با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه تهیه شده است.

**لایه زمین‌شناسی:** بدین منظور نقشه زمین‌شناسی منطقه در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و در محیط Arcmap ژئورفرنس گردید. سپس واحدهای زمین‌شناسی که باعث نامطلوب شدن کیفیت آب می‌گردند نظیر: گنبدها و دشت‌های نمکی، رسوبات مارنی، رسوبات تبخیری (۱۶)، بر روی نقشه مشخص گردید و نسبت به حذف این مناطق جهت مکان‌یابی سد زیرزمینی اقدام گردید.

**لایه شبکه هیدروگرافی:** نقشه آبراهه حوضه از نقشه توپوگرافی منطقه استخراج شده است. معمولاً سدهای زیر زمینی در بستر آبراهه‌ها و خشکه رودها احداث می‌شوند (۱۷). با توجه به این که به طور کلی ایجاد سد زیرزمینی در آبراهه‌های رده ۳ و به بعد آن انجام می‌گیرد. لذا رده آبراهه‌های درجه ۳ و به بعد آن برای این حوضه مشخص شده است.

**خاک‌شناسی:** منطقه مورد مطالعه از نظر خاک‌شناسی دارای سه کلاس بافت لومی سیلتی، لومی رسی و لومی سیلتی و رسی می‌باشد، که بیش‌ترین درصد از سطح حوزه مربوط به بافت لومی سیلتی می‌باشد. لازم به ذکر است در این مطالعه نقشه‌ی بافت خاک استان گلستان از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان تهیه شده است.

**لایه کاربری اراضی:** از آنجایی که سدهای زیرزمینی سطح زمین را اشغال نمی‌کنند و محدودیتی از نظر وسعت زمین‌های تحت پوشش سد ندارند، احداث این سدها در مناطقی با کاربری اراضی مختلف امکان‌پذیر است. به منظور تهیه لایه کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال ۲۰۱۲ منطقه در محیط نرم افزار ArcGIS ژئورفرنس شده است. برای تهیه لایه کاربری اراضی از طریق تصاویر ماهواره‌ای لندست از شاخص پوشش گیاهی NDVI استفاده شد. سپس با استفاده از امکانات نرم افزار ILWIS کاربری اراضی منطقه مشخص گردید. در نقشه کاربری اراضی، مراتع، زمین‌بایر و جنگل تخریب شده از جمله مکانهای مناسب و اراضی ساخته شده،

فاصله را با واحد ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن،  $A_i^-$ ) داشته باشد. بدین منظور ابتدا به تعیین ارزش حداکثر و حداقل در رابطه با هر یک از لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی بر اساس رابطه‌های ۱ و ۲ پرداخته شده است.

$$A^+ = \{(\max v_{ij} | j \in J_1), (\min v_{ij} | j \in J_2) | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (1)$$

$$A^- = \{(\min v_{ij} | j \in J_1), (\max v_{ij} | j \in J_2) | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (2)$$

$$A_i^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) \quad A_i^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-)$$

گزینه منفی با استفاده از رابطه‌های (۳) و (۴) برآورد شده است.

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

سپس محاسبه فاصله براساس نرم اقلیدسی به ازاء نقطه ایده‌آل منفی و گزینه مثبت و همین فاصله به ازاء نقطه ایده‌آل مثبت و

در نهایت میزان نزدیکی نسبی به نقطه ایده‌آل با استفاده از رابطه ۵ برآورد شده است.

$$C_{i+} = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

است. جدول ۱ وزن‌دهی معیارهای ارزیابی مختلف را برای مکان‌یابی مناسب سدهای زیرزمینی با استفاده از روش مقایسه زوجی نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشخص است معیارهای شیب (۰/۲۷۴۵) بیش‌ترین وزن و معیار موقعیت روستا (۰/۰۲۶۰) کم‌ترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند.

به طوری که  $0 \leq C_{i+} \leq 1$  است و هر اندازه یک گزینه به نقطه ایده‌آل نزدیک تر باشد  $C_{i+}$  به سمت ۱ میل می‌کند.

### نتایج

بعد از تعیین ساختار سلسله مراتبی تحقیق، وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) محاسبه شده

### جدول ۱- مقدار وزن استخراج شده برای معیارهای ارزیابی با استفاده از روش AHP

Table 1. Weight extracted for assessment criteria using AHP

وزن معیارها	موقعیت روستا	طبقات ارتفاعی	بافت خاک	رودخانه	کاربری اراضی	گسل	زمین شناسی	شیب	معیارهای ارزیابی
۰/۲۷۴۵	۹	۸	۷	۶	۵	۳	۲	۱	شیب
۰/۱۹۴۱	۸	۷	۶	۵	۴	۲	۱	-	زمین شناسی
۰/۱۶۴۶	۷	۶	۵	۴	۳	۱	-	-	گسل
۰/۱۲۵۷	۶	۵	۴	۳	۱	-	-	-	کاربری اراضی



۰/۰۹۴۸	۵	۳	۲	۱	-	-	-	-	رودخانه
۰/۰۷۴۶	۳	۲	۱	-	-	-	-	-	بافت خاک
۰/۰۴۵۷	۲	۱	-	-	-	-	-	-	طبقات ارتفاعی
۰/۰۲۶۰	۱	-	-	-	-	-	-	-	موقعیت روستا

سازگاری (C.I) بر اساس رابطه ۶ محاسبه می‌شود، که در آن n بیان‌کننده تعداد گزینه‌های رقیب است.

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (۶)$$

نرخ سازگاری (C.R.) نیز با رابطه ۷ برآورد می‌شود، که در آن R.I نشان‌دهنده مقدار شاخص سازگاری تصادفی است و بر اساس جدول که توسط ساعتی و هارکر تهیه شده است استخراج می‌شود.

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad (۷)$$

در جدول ۲ وزن نسبی سطوح سازگاری و نرخ سازگاری (C.R.) مقایسات ارائه شده است. همانطور که در جدول مشخص است نرخ سازگاری مقایسات ۰/۰۳ است و از ۰/۱۰ کم‌تر است، بنابراین می‌توان سازگاری مقایسات را پذیرفت.

در اولویت‌بندی عناصر و فعالیت‌ها با توجه به معیارها، برای این‌که نتایج معتبری را در دنیای واقعی بدست آوریم، درجه خاصی از ناسازگاری لازم است. AHP ناسازگاری کلی قضاوت‌ها را به وسیله نرخ سازگاری محاسبه می‌کند. این سازگاری نشان می‌دهد که تا چه اندازه می‌توان به اولویت‌های حاصل از اعضای گروه و یا اولویت‌های جدول‌های ترکیب اعتماد کرد. تجربه نشان داده است که اگر نرخ سازگاری (C.R.) کم‌تر از ۰/۱۰ باشد، می‌توان سازگاری مقایست را پذیرفت، در غیر این صورت باید مقایسات مجدداً انجام گیرد (۲۱). برای مقایسه نرخ سازگاری، از روش بردارهای ویژه استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا بردار مجموع وزنی (WSV) محاسبه می‌شود، برای این کار مقادیر اصلی مقایسات در جدول ۱ در وزن نسبی هر یک از سطوح سازگاری ضرب می‌شود و در نهایت مجموع هر سطر حاصل می‌گردد (جدول ۲). در ادامه بردار سازگاری (C.V.) محاسبه می‌شود. در پایان نیز مقدار  $\lambda_{max}$  از میانگین C.V. محاسبه می‌شود (جدول ۲). در نهایت شاخص

### جدول ۲- وزن نسبی سطوح سازگاری و نرخ سازگاری (C.R.)

Table 2. The relative weight levels of consistency and consistency rate (C.R.)

نرخ سازگاری (C.R.)	شاخص سازگاری (C.I)	$\lambda_{max}$	بردار سازگاری (C.V.)	مجموع وزنی (WSV)	وزن نسبی
۰/۰۳۳۵۹۵	۰/۰۳۷۶۲۶	۵/۱۵۰۵۰۵	۵/۳۰۹۴۲۶	۲/۷۳۰۱۴۴	۰/۲۷۴۵
			۵/۲۴۸۱۸۴	۱/۳۳۹۸۸۸	۰/۱۹۴۱
			۵/۱۰۵۳۶۳	۰/۶۰۳۶۸۶	۰/۱۶۴۶
			۵/۰۳۷۴۹۲	۰/۳۸۱۳۰۶	۰/۱۲۵۷
			۵/۰۵۲۰۵۸	۰/۱۸۴۶۴۶	۰/۰۹۴۸
-	-	-	۵/۰۴۲۰۶۸	۰/۱۴۳۲۴۳	۰/۰۷۴۶
-	-	-	۵/۰۸۲۰۲۸	۰/۱۰۷۶۵۴	۰/۰۴۵۷
-	-	-	۵/۰۵۱۰۲۸	۰/۰۹۶۲۴۱	۰/۰۲۶۰

نحوه محاسبه نقشه‌ی شیب استاندارد شده وزنی در جدول ۳ ارایه شده است. نقشه استاندارد شده وزنی بقیه معیارهای ارزیابی

موجود در این تحقیق همانند این معیارها تهیه شده است.

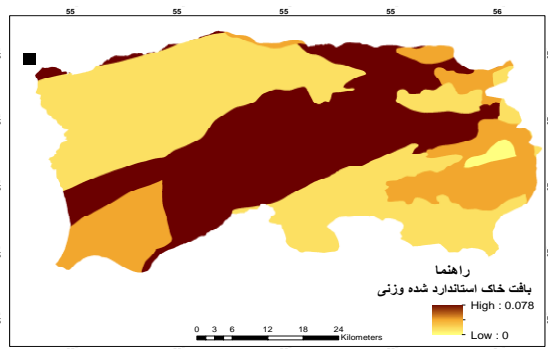
### جدول ۳- نحوی محاسبه نقشه معیار ارزیابی شیب استاندارد شده وزنی

Table3. Calculating map of weight standardized slope assessment criterion

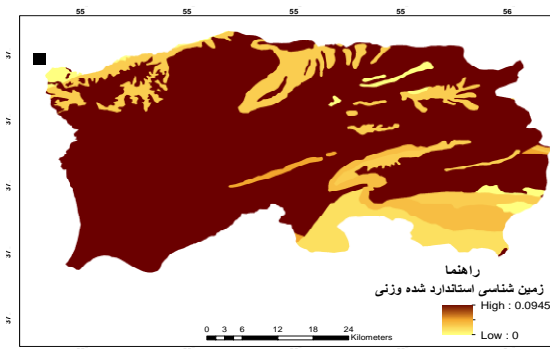
ردیف	طبقات	ارزش طبقات	وزن معیار	استاندارد وزنی
۱	۰-۲	۰/۱۳	۰/۲۷۴۵	۰/۰۳۶
۲	۲-۵	۰/۴۴	۰/۲۷۴۵	۰/۱۲۰
۳	۵-۸	۰/۲۸	۰/۲۷۴۵	۰/۰۷۷
۴	۸-۱۲	۰/۱۰	۰/۲۷۴۵	۰/۰۲۷
۵	۱۲-۱۵	۰/۰۵	۰/۲۷۴۵	۰/۰۱۴
۶	۱۵-۲۰	۰/۰۰	۰/۲۷۴۵	۰/۰۰
۷	>۲۰	۰/۰۰	۰/۲۷۴۵	۰/۰۰

نامناسب و خارج آن محدوده به عنوان مناطق مناسب معرفی شده است. همچنین در لایه موقعیت روستا تا حریم یک کیلومتر جزء مناطق نامناسب معرفی شده است. لازم به ذکر است نقشه قنات‌ها و چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت است. نتایج نشان داد در سطح منطقه مورد مطالعه قنات شاخصی وجود ندارد که نیاز به بررسی این معیار به منظور مکان‌یابی سد زیرزمینی باشد.

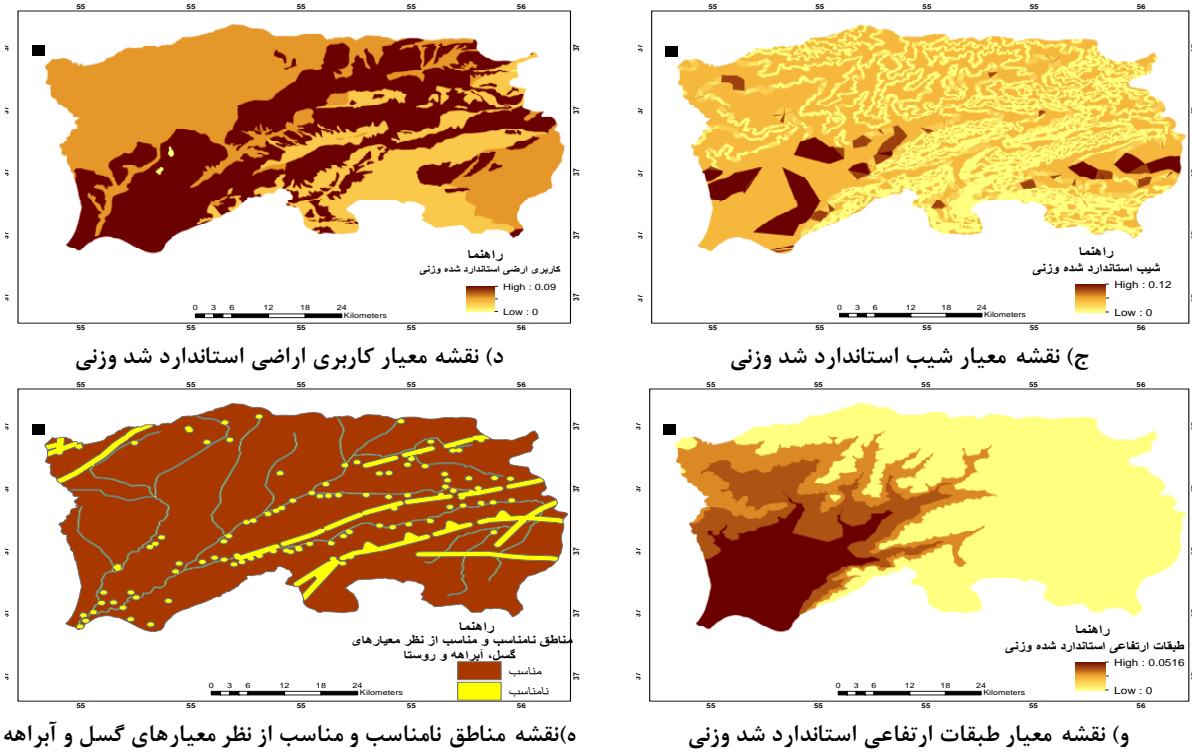
در شکل‌های ۳ نقشه‌های کاربری اراضی، شیب، بافت خاک، زمین‌شناسی و طبقات ارتفاعی استاندارد شده وزنی برای مکان-یابی سد زیرزمینی در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان‌رود ارائه شده است. به منظور تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در لایه گسل تا حریم ۵۰۰ متری جزء مناطق نامناسب و خارج آن محدوده به عنوان مناطق مناسب و همچنین در لایه آبراهه تا حریم ۱۰۰ متری جزء مناطق



ب) نقشه معیار بافت خاک استاندارد شد وزنی



الف) نقشه معیار زمین‌شناسی استاندارد شد وزنی



شکل ۳- نقشه معیارهای استاندارد شده وزنی برای مکان‌یابی سد زیرزمینی

Figures 3. Maps of weight standardized for locating underground dams

است. در جدول ۴ ارزش حداکثر و حداقل معیارهای مورد نظر در مکان‌یابی سد زیرزمینی ارائه شده است.

تهیه نقشه فاصله به ازاء راه حل ایده آل مثبت و منفی به منظور تعیین فاصله به ازای راه حل ایده آل مثبت و منفی، ابتدا مقادیر ارزش حداکثر و حداقل معیارهای ارزیابی مشخص شده

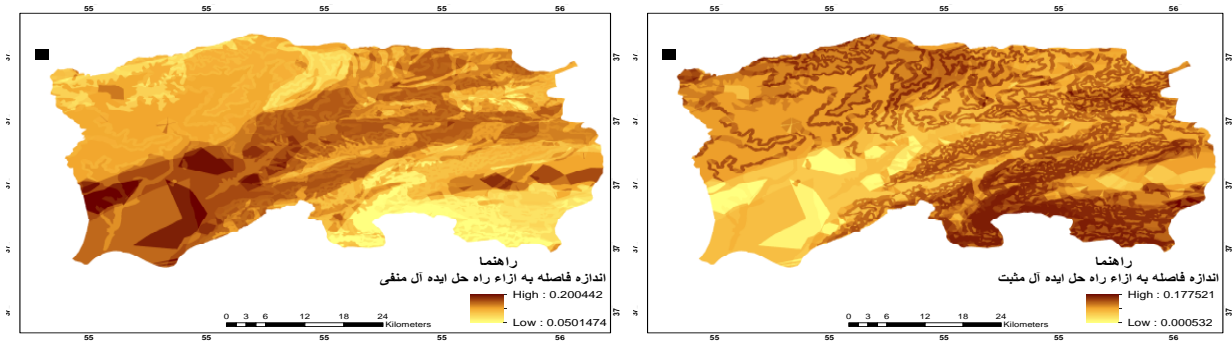
جدول ۴- ارزش حداکثر و حداقل معیارهای ارزیابی

Table 4. The maximum and minimum evaluation criteria

معیار ارزیابی	ایده آل مثبت (بیشترین مقدار)	ایده آل منفی (کمترین مقدار)
شیب	۰/۱۲۰	۰
زمین شناسی	۰/۰۹۴	۰
کاربری اراضی	۰/۰۹۰	۰
بافت خاک	۰/۰۷۸	۰
طبقات ارتفاعی	۰/۰۵۲	۰

نقشه اندازه فاصله بر حسب نرم اقلیدسی به ازای راه حل ایده آل مثبت و منفی تهیه شده است. در شکل ۴ نقشه فاصله بر حسب نرم اقلیدسی با واحد ایده آل مثبت و واحد ایده آل منفی نشان داده شده است.

پس از تعیین ارزش حداکثر (بهترین حالت ممکن،  $A_i^+$ ) و حداقل (بدترین حالت ممکن،  $A_i^-$ ) برای هر لایه نقشه استاندارد شده وزنی به منظور مکان‌یابی مناسب سد زیرزمینی،

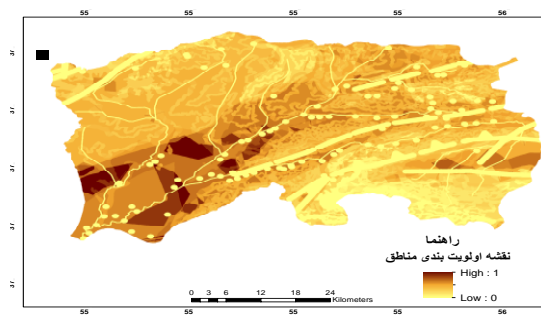


شکل ۴- نقشه فاصله برحسب نرم اقلیدسی با واحد ایده آل مثبت (S+) و منفی (S-)

Figure4. Map based on Euclidean norms with the ideal unit positive (S+) and negative (S-)

نقشه اولویت بندی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی

نقشه اولویت بندی مناطق برای احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش TOPSIS و GIS در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان - رود استان گلستان در شکل ۵ ارایه شده است.

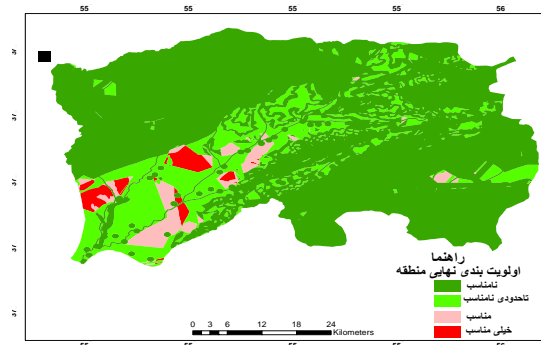


شکل ۵- توزیع فضایی مکان یابی مناسب برای احداث سد زیرزمینی با استفاده از تکنیک تاپسیس و GIS

Figure 5. The spatial distribution of suitable locations for underground dam construction using TOPSIS and GIS

اولویت بندی نهایی بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان رود استان گلستان برای احداث سد زیر زمینی در شکل ۶ نشان داده شده است.

به طوری که در شکل مشخص است  $C_i^+$  (میزان نزدیکی نسبی به نقطه ایده آل) بین ۰ تا ۱ قرار گرفته است و هر اندازه یک نقطه به نقطه ایده آل نزدیک تر باشد  $C_i^+$  به سمت ۱ میل می کند و برای احداث سد زیرزمینی شرایط مناسب تری دارد.



شکل ۶- نقشه نهایی اولویت بندی بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان رود استان گلستان برای احداث سد زیرزمینی

Figure6. Final map of priorities for underground dam construction in Gorganroud watershed

همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است منطقه مورد مطالعه به چهار بخش خیلی مناسب، مناسب، تا حدودی نامناسب و نامناسب برای احداث سد زیرزمینی طبقه‌بندی شده است. بیش‌ترین سطح منطقه را طبق نامناسب (۷۶/۷ درصد) و کم‌ترین سطح منطقه را طبق خیلی مناسب (۲/۱ درصد) به خود اختصاص داده است. همان‌طور که در شکل مشخص است مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی معمولاً در جاهایی که از نظر معیارهایی ارزیابی شرایط مناسبی را دارند، قرار گرفته‌اند.

**بحث و نتیجه‌گیری**

سفره‌های آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع آبی هر کشور می‌باشند، بنابراین برای جلوگیری از خطر شورشدگی سفره‌های آب شیرین و تقلیل کیفیت آن بویژه در مناطق کویری و کم‌آب، بهبود منابع آبی، افزایش بهره‌وری آن‌ها، مقابله با بحران کم‌آبی، کاهش میزان نشت آب و بازگشت آب به لایه‌های زیرین و جلوگیری از هدر رفتن آب می‌توان از تکنیکی به عنوان سد زیرزمینی استفاده کرد. در این تحقیق از روشی نوین برای مکان‌یابی مناسب سدهای زیرزمینی استفاده شده است. تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با GIS چارچوب مناسبی را به منظور حل مسایل پیچیده‌ی تصمیم‌گیری فضایی فراهم می‌کند. امینی‌زاده و قاسمی (۸) عمران و همکاران (۱۱) نیز در تحقیقات خود نشان دادند که تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS توانایی بالایی در مکان‌یابی مناسب سدهای زیر زمینی دارا است، که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. لازم به ذکر است، در مطالعات انجام شده توسط چزگی و همکاران (۲۰) و درفشان و همکاران (۷) شیب و زمین‌شناسی به عنوان مهم‌ترین معیار برای مکان‌یابی سد زیرزمینی در نظر گرفته شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. همان‌طور که مشخص است، روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و GIS مکان‌یابی مناطق مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی را با توجه به نظرات کارشناسی و مبانی ریاضی انجام داده و بهترین مکان‌هایی که با توجه به معیارهای ارزیابی و نظرات کارشناسی شرایط، احداث سد زیرزمینی را دارند با توجه به

اصول ریاضی برای ما شناسایی کرده‌اند. در این روش انتخاب معیارها از نقاط قوت این روش می‌باشد که در تعیین معیارهای مؤثر، خطا را بسیار کاهش داده است. همچنین هرچه تعداد معیارها و نظرات کارشناسی بیش‌تری در امر تصمیم‌گیری دخالت داده شود نتایج به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. در مکان‌یابی مناسب برای احداث سد زیرزمینی در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان‌رود استان گلستان، با استفاده از تکنیک- TOPSIS همراه با بهره‌گیری از قابلیت‌های نرم افزار ArcGIS، با وجود وابستگی‌های مکانی میان نقشه‌های معیار و این که نمی‌توان نقشه‌های معیار را مستقل از یکدیگر در نظر گرفت، بهترین روش در تلفیق معیارها، استفاده از تکنیک TOPSIS است. این تکنیک غالباً در حل مسایل پیچیده تصمیم‌گیری فضایی که اغلب شامل وابستگی‌های متقابل بین معیارها هستند استفاده می‌گردد که با نتایج بختیاری‌فر و همکاران (۲۱) هم‌خوانی دارد. بنابراین می‌توان گفت تکنیک TOPSIS به همراه قابلیت‌های ArcGIS می‌تواند به عنوان یک روش مناسب برای مکان‌یابی مناسب سدهای زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد. کاربرد تکنیک TOPSIS و ArcGIS در مکان‌یابی مناطق مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی توانمندی بسیاری دارند و زمانی که کنار هم استفاده می‌شوند، کاستی‌های همدیگر را از بین برده و در مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر به مدیران و برنامه‌ریزان کمک خواهد کرد که با نتایج فاضل‌نیا و همکاران (۲۰) و غفاری گیلاننده و همکاران (۲۲) مبنی بر توانمندی بالای استفاده از تکنیک- TOPSIS و ArcGIS هم‌خوانی دارد. در پایان می‌توان گفت تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با ArcGIS ساده و انعطاف‌پذیر است به طوری که هر تعداد معیار می‌تواند در حل یک مساله به کار گرفته شود. با این حال با توجه به توانمندی‌های بالای روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه و ArcGIS در مدل‌سازی مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی هر چه قدر نظرات کارشناسی قوی‌تر و دقیق‌تر و داده‌ها و اطلاعات به روزتر باشند، به همان نسبت انتظار می‌رود که استفاده از این فنون و ابزار با نتایج مثبت برجسته‌تری همراه می‌باشد.

- Pajouhesh&Sazandegi, 79: 93-101. (In Persian)
6. Nilsson, A., 1988. Groundwater dams for small-scale water supply. IT Publications, London. 64 pp.
  7. Dorfeshan, F., Heidarnejad, M., Bordbar, A., Daneshian, H., 2014. Locating Suitable Sites for Construction of Underground Dams through Analytic Hierarchy Process. International Conference on Earth, Environment and Life sciences (EELS-2014) Dec. 23-24, 2014 Dubai (UAE). (In Persian)
  8. Amini, M., Ghasemi, M., 2015. Locating Suitable Sites for Construction of Underground Dams Science Journal (CSJ), 36 (3): 1-13. (In Persian)
  9. Safavian, A., Amani, M., 2015. Analysis of land suitability for small earth dams Using Multi Criteria Evaluation (MCE) in the Geographic Information System (GIS), International Letters of Natural Sciences., 42: 38-46. (In Persian)
  10. Salahaldin, A., Foad, A., Sarkawt, G., Salar, N., Sven, K., 2014. Evaluation of Selected Site Location for Subsurface Dam Construction within Isayi Watershed Using GIS and RS Garmiyān Area, Kurdistan Region. Journal of Water Resource and Protection, 6(3): 972-987. (In Persian)
  11. Imran, A., Bo, O., Ulla, M., 2013. Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. Environ Earth Sci, 70:2511-2525.
  12. Jabr, W.M., El-Awar, F.A., 2004. GIS and analytic hierarchy process for sitting water harvesting reservoirs, The department of land and water resources at the faculty of agriculture and food sciences of the

## تشکر و قدردانی

این مقاله تحت حمایت مالی دانشگاه زابل با کد گرنت -UOZ-GR-9718 انجام شده است.

## Reference

1. Haji Azizi, Sh., KhierkhahZarkash, M., Sherifi, A., 2011. Select the location of UndergroundDams Using Analytic hierarchy process to both spatialandGhyrmkany (Case Study: Yazd, TaftcityPishkuhbasin), Sensing and GIS Applications in NaturalResources Science Journal. 2: 27-38. (In Persian)
2. HassanzadehNafooti, M., Jamali, A., Falah, A., 2014. Site Selection Underground Dams Using Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) (Case Study: the Adori Area in Bam city), Iran-Watershed Management Science & Engineering, 32: 69-77. (In Persian)
3. Salmanpour, A. 2007. Qanat renovation with the use of underground dam, modeling in Chamchamal Plain. M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad. Engineering College, 193p. (In Persian).
4. Cheng, Ru. Wu., Chin, Tsai. Lin. & Huang, Chu Chen., 2007. Optimal selection of location for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis, Building and Environment, 42: 1431-1444.
5. KheirkhahZarkesh, M.M., Naseri, H.R., Davodi, M.H., Salami, H., 2008. Using analytical hierarchy process for ranking suitable location of groundwater dams construction, case study: Northern slopes of Karkas Mountains in Natanz.

18. Chesghy, J., Moradi, H.R., Kheirkhah, M., 2015. Locating suitable sites for construction of underground dam using multi-criteria decision making approach with emphasis on water resources (Case study of west of Tehran province) (Technical report). Iran-Watershed Management Science & Engineering, 13:65-68. (In Persian)
19. Asgarpoure, M.J., 2017. Multiple Criteria Decision Making, University of Tehran Press, 400 pp. (In Persian)
20. Fazelnia, F., Kiani, A., Mahmodian, H., 2011. Locate and Prioritize Urban Parks Using GIS and TOPSIS Model (The Case Study: Alashtar City). Human Geography Research Quarterly, 78: 137-152. (In Persian)
21. Bakhtiarifar, M., Mesgari, M., Karimi, M., Chehrehani, A., 2011. Land use Change Modeling Using Multi-Criteria Decision Analysis and GIS, Journal of Environmental Studies 58: 43–52. (In Persian)
22. GhaffariGuilan, A., Kamalifar, Z., Yazdani, M., 2014. Prioritizing land suitability in urban green space location process using multi-criteria analysis techniques Case study: Tabriz Municipality Area. Journal of Applied Geosciences Research, 14 (32): 251-270. (In Persian)
13. Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F., Castelli, F., 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali, Physics and Chemistry of the Earth 33: 74–85. (In Persian)
14. Eshghizadeh, M., Noura, N., 2010. Determining the suitable site for underground dam construction on Qanat A case of study, DahanchenarQanat of Kalat watershed in Gonabad, Journal of Water and Soil Conservation, 17: 45–64. (In Persian)
15. Esavi, V., Karami, J., Alimohammadi, A., Niknezhad, A., 2012. Comparison the AHP and FUZZY – AHP Decision Making Method in Underground DAM Site Selection in Taleghan Basin, Scientific Quarterly journal, 22: 27-34. (In Persian)
16. Foster, S., Tuinhof, A. 2004. Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence Brazilian and Kenyan Experience. World Bank. Groundwater Management Advisory Team. No. 5.
17. Ishida, S., T. Tsuchihara, S. Yoshimoto and M. Imaizumi. 2011. Sustainable use of groundwater with underground dams. Japan Agric. Res. Quartely 45(1):51-61.