

رتبه‌بندی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی (منطقه مورد مطالعه: حوزه باغک سرنی استان هرمزگان)

یحیی اسماعیل‌پور^۱، حمیدرضا امیری*^۲، ساناز فلاح^۳، ناهید میرزاده^۴

چکیده

علیرغم بارندگی کم که با پراکنش زمانی نامنظم همراه است حجم زیادی از بارندگی‌ها در استان هرمزگان بدلیل شدت زیاد و رگباری بودن به صورت رواناب هدر می‌رود. از سوی دیگر منابع آب سطحی جاری از قبیل رودخانه‌ها و دریاچه سدها بدلیل پتانسیل تبخیر زیاد با هدر رفت بخش مهمی از ذخایر روبرو هستند. شناسایی مناطق مناسبی از دشتهای آبرفتی برای ذخیره آب در زیر زمین راهکار مناسبی برای توسعه منابع آب در این شرایط است. تعیین مناطق مناسب به این منظور به معیارهای گوناگون اکولوژیک و انسانی وابسته است. بر اساس ادبیات تحقیق عوامل اقتصادی-اجتماعی (نیاز آبی و دسترسی)، محور سد زیرزمینی (عمق، طول و لیتولوژی)، مخزن سد زیرزمینی (نفوذپذیری، شیب و سطح مخزن) و آب (کمیت و کیفیت آب) از جمله مهم‌ترین معیارهای موثر نام برده شده‌اند. در این تحقیق از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در وزن‌دهی معیارهای اصلی و فرعی موثر بر تعیین پتانسیل احداث سد زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بهره‌گیری شد. شاخص کمیت آب با وزن ۰/۸۳۳، نیاز آبی با وزن ۰/۸ و عمق محور و نفوذپذیری مخزن با وزن برابر ۰/۶۳۷ از مهم‌ترین شاخص‌های تحقیق هستند. لایه‌های اطلاعاتی هر یک از معیارها فازی‌سازی شد. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدید میدانی ۱۴ محور (گزینه) تشخیص داده و انتخاب شد. با تلفیق نهایی داده‌ها در محیط ArcGIS شاخص تناسب برای هر محور محاسبه و رتبه‌بندی گردید. نتایج بدست آمده نشان داد گزینه‌ی ۱۴ در شمال غربی منطقه مورد مطالعه شرایط مناسب و قابلیت احداث سد زیرزمینی را دارد. حساسیت سیستم به رتبه‌بندی‌ها با تغییر ± 5 و ± 10 درصد وزن معیارهای دارای بالاترین درجه تأثیر مورد آزمایش قرار گرفت. گزینه انتخابی دارای نفوذپذیری مناسب بوده و عمق محور آن ۱۲-۹ متر است. به علاوه در زیرحوزه B1 با متوسط بارش سالانه ۲۰۷/۱ میلی‌متر و دارای حجم نزولات ۱/۹ میلیون مترمکعب، واقع شده است. این ویژگی‌ها از پتانسیل‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در منطقه می‌باشد. بنابراین نتایج نشان داد مدل بدست آمده از ثبات کافی در اولویت‌بندی محورها نسبت به یکدیگر برخوردار است.

واژگان کلیدی: استحصال آب، تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی، سدهای زیرزمینی، حوزه سرنی.

مقاله پژوهشی

۱. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران.

y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir

۲. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران.

amirihamid15@gmail.com

* نویسنده مسئول

۳. کارشناسی ارشد بیابان‌زایی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران.

sanaz.falah@yahoo.com

۴. کارشناسی ارشد GIS، دانشگاه آزاد تبریز واحد مغان، تبریز، ایران.

nido1372@gmail.com

شناسه مقاله: ۲۱۰۴-۱۰۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳

انتشار آنلاین: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹

زمان پذیرش: ۱۳۶ روز

استناددهی:

اسماعیل‌پور، ی.، امیری، ح.ر.، فلاح، س.، و میرزاده، ن. (۱۴۰۰). رتبه‌بندی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی (منطقه مورد مطالعه: حوزه باغک سرنی استان هرمزگان). مدیریت اکوسیستم، ۱(۱)، ۱۱-۲۵.

۱- مقدمه

تأمین آب کشاورزی و آشامیدنی سالم و بهداشتی و مقابله با بحران کم آبی مسأله‌ای حیاتی بوده و از اهداف حرکت در مسیر توسعه پایدار محسوب می‌گردد. از طرفی بارندگی فصلی و غیرقابل پیش‌بینی و تبخیر فوق‌العاده زیاد در مناطق خشک مانع از تحقق این هدف می‌باشد. کمتر از یک درصد آب شیرین زمین به صورت چشمه، رودخانه و منابع آب زیرزمینی با هزینه‌ای مناسب قابل دسترسی می‌باشد، که تأمین آن منابع از طریق فرایند بارش در سیکل هیدرولوژی صورت می‌گیرد (سعادت، ۱۳۸۱). شاخص بحران زمانی نامطلوب‌تر جلوه می‌کند که بدانیم در حالی که تقریباً یک درصد از جمعیت جهان در ایران زندگی می‌کنند و سهم آن از کل منابع آب شیرین تجدیدشونده دنیا تنها ۰/۳۶ درصد است (محمدی و شمسی‌پور، ۱۳۸۲؛ فلاح و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از روش‌های نوین ذخیره آب که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته، احداث سدهای زیرزمینی است. این سازه‌ها در مناطقی مورد استفاده قرار می‌گیرند که جریان آب‌های زیرزمینی بطور قابل ملاحظه‌ای در طول سال از مقادیر بسیار زیاد ناشی از بارندگی تا مقادیر قابل صرف‌نظر در فصول خشک تغییر می‌کند. افزایش ذخیره‌ی آب زیرزمینی از طریق احداث سدهای زیرزمینی می‌تواند یک راه‌حل مفید به ویژه در مناطق دارای بارندگی کم و جریان‌های رودخانه‌های فصلی محسوب شود. در چنین مناطقی خشکی تبخیر در ارتباط با جریان‌های زیرسطحی به مراتب کمتر از اندازه تبخیر برای آب‌های سطحی می‌باشد (Jamali et al., 2014). حوزه آبخیز باغک سرنی در شمال شرق استان هرمزگان به دلیل واقع شدن در منطقه خشک، دارای توزیع نامنظم بارندگی از نظر مکانی و زمانی، افزایش نیازهای مختلف آب، محدودیت فوق‌العاده منابع آب سطحی، تغییرات اقلیمی (وقوع دوره خشکسالی) و کاهش روزافزون منابع آب زیرزمینی و شور شدن آنها با مشکل عدیده‌ای به‌خصوص در فصل‌های خشک مواجه است. این حوزه دارای نهشته‌های کواترنری (Qt1, Qt2, Qal) مستعد برای ذخیره آب در زیرزمین می‌باشد که با وجود نفوذپذیری مناسب این نهشته‌ها، می‌توان بر ضرورت توسعه سدهای زیرزمینی به عنوان یکی از روش‌های مهم اقتصادی و موثر در مقابله با خشکسالی و کمبود آب در این حوزه تأکید نمود. فواید اصلی ذخیره آب در این سدها میزان تبخیر بسیار کم، کاهش خطر آلودگی، نبود مشکل زیر آب رفتن زمین‌های زیاد (عدم خسارت مخزن)، پایداری سازه‌ای بسیار بالا، عدم تهدید برای ساکنین و ابنیه پایین دست سد، هزینه پایین ساخت و استفاده از منابع آب قابل تجدید (استفاده از آب‌های زیرزمینی کم عمق) می‌باشد. عوامل زیادی شامل توپوگرافی، آب و هواشناسی، زمین‌شناسی، اقتصادی- اجتماعی و پوشش گیاهی در مکان‌یابی مناسب این سدها موثرند. بررسی و تعیین این عوامل در عرصه با استفاده از روش‌های سنتی بسیار پرهزینه بوده و نیاز به صرف زمان بسیار دارد. استفاده از قابلیت سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ در آنالیز داده‌های مکانی به‌ویژه در همپوشانی تعداد بالای لایه اطلاعاتی کمک بسزایی در انتخاب بهترین مکان جهت احداث سدها دارد (چزگی و همکاران، ۱۳۸۸). اهداف اصلی این تحقیق توسعه و ارزیابی یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی^۲ بر مبنای تکنیک‌های GIS به منظور شناسایی و اولویت‌سنجی مناطق مناسب احداث سدهای زیرزمینی در حوزه سرنی می‌باشد. قالب‌بندی مجدد ارزش‌ها در چارچوب صورت وضعیت مترتب بر عضویت در مجموعه را می‌توان به عنوان وجهی از فرایند استانداردسازی معیارهای ارزیابی تلقی کرد (Eastman, 1997). در این مطالعه بحث ما بر روی آن دسته از مؤلفه‌های مربوط به نظریه‌ی مجموعه‌های فازی متمرکز می‌شود که در طراحی نقشه‌های معیار استاندارد شده به منظور استفاده در تحلیل فضایی چندمعیاره، استفاده می‌شوند. فرض بر این است که اعداد فازی هر دو ویژگی نرمال بودن و تحدب را دارند. این اعداد باید نرمال باشند، زیرا عضویت حداکثر در مجموعه فازی برابر با عدد یک است. همچنین می‌توان نشان داد که هر مجموعه فازی، خانواده‌ای از مجموعه‌های قطعی یا عادی (حلقه حلقه) است (Chen and Hwang, 1992). در نتیجه می‌توان عملیات حسابی و جبری را بر روی اعداد فازی انجام داد، به گونه‌ای که امکان کار بر روی این اعداد در روشی مشابه با اعداد قطعی میسر باشد. به ویژه می‌توان گفت که عملیات بر پایه اصل گسترش قرار دارند (Klir and Yuan, 1995). مطابق با این اصل، امکان بسط هر عملیات جبری که برای مجموعه‌های قطعی تعریف شده است، در مجموعه‌های فازی نیز فراهم می‌شود. این موضوع زمانی که عملیات فازی در محیط GIS اجرا شود، نمود بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین در سامانه‌های مبتنی بر GIS می‌توان با استفاده از عملیات همپوشی استاندارد، تحلیل تصمیم چندمعیاره فازی را عملیاتی کرد. این عمل می‌تواند با پردازش داده‌های فازی که در طی فرایند مبتنی بر فازی صورت می‌گیرد به صورت مؤثرتری انجام پذیرد (Tabesh, 1992).

طباطبائی یزدی (۱۳۸۱) در مکان‌یابی سد زیرزمینی در بخش‌هایی از استان تهران و سمنان به روش بازدید صحرایی و آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی و بر اساس معیارهای فنی اقدام نمود. سلامی (۱۳۸۵) یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری به منظور مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق آذرین ارائه نموده است. در این مطالعه پس از تعیین معیارهای مناسب در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی با روش وزن‌دهی فرایند تحلیل سلسله مراتبی^۳ و ارزیابی چندمعیاره به اولویت‌بندی محورهای مناسب تعیین شده اقدام نموده‌اند. میان‌آبادی و افشار (۱۳۸۵) با کمک تصمیم‌گیری چندمعیاره به انتخاب مطلوب‌ترین گزینه از بین گزینه‌های موجود برای تأمین آب شهر زاهدان پرداخته و ضمن مقایسه روش‌های مختلف تصمیم‌گیری نتیجه گرفتند که نتایج حاصل از روش‌های مختلف کاملاً با یکدیگر متفاوت می‌باشند. ایدون و همکاران (۱۳۹۷) به مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در حوزه آبخیز رودخانه گز در استان هرمزگان پرداختند. براساس نتایج بدست آمده از تحقیق، سه سایت به‌عنوان گزینه مناسب جهت احداث سد زیرزمینی معرفی شده است.

1. Geographic Information System (GIS)

2. Spatial Decision Support Systems (SDSS)

3. Analytical Hierarchy Process (AHP)

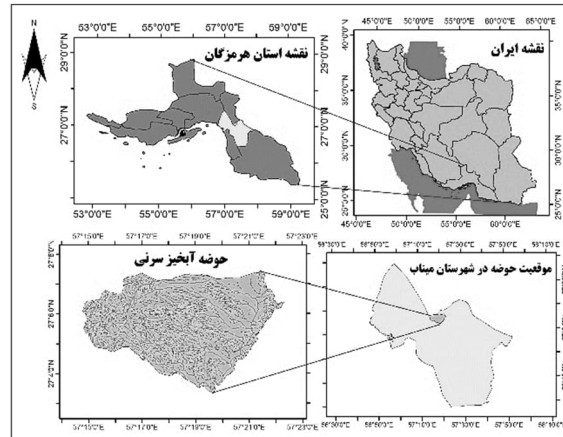
بهاروند و همکاران (۱۳۹۹) در دشت کوهدشت به منظور مکان‌یابی احداث سد زیرزمینی از روش سلسله مراتبی فازی استفاده کردند. در تحقیق آنها سه عامل آبراهه، سنگ‌شناسی و شیب بیشترین تأثیر داشتند. در نهایت، پس از پیمایش‌های پرشمار صحرایی، ۶ مکان در پهنه‌ی خیلی مناسب انتخاب شده‌اند. روهینا و همکاران (۱۳۹۹) در مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی در حوزه آبخیز امامزاده جعفر گچساران از روش AHP و منطق بولین استفاده کرده و مهمترین عامل شیب آبخیز در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که مناطق غربی و مرکزی حوزه آبخیز در اولویت احداث سد زیرزمینی قرار دارد. خزایی و همکاران (۱۴۰۰) به مکان‌یابی احداث بندهای زیرسطحی در منطقه‌های خشک و نیمه خشک استان کهگیلویه و بویراحمد پرداختند. آنها با استفاده از روش FUZZY-AHP، مهم‌ترین عوامل موثر در تحقیق از قبیل آب‌گذری و جنس سنگ کف را تعیین کردند. گزینه‌ی تنگ نایاب انتخاب شده که مقاومت الکتریکی لایه‌های آبدار آن ۳۰۰ تا ۴۰۰ اهم متر است. Foster et al. (۲۰۰۲) در گزارش ارزیابی سدهای زیرزمینی احداث شده در برزیل نشان دادند که عوامل حجم مخزن، عمق سنگ بستر نسبت به سطح زمین، نفوذپذیری و کیفیت شیمیایی خاک مخزن نقش مؤثری در موفقیت سدهای زیرزمینی دارند. Kheirkhah Zarkesh (۲۰۰۵) یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری بر اساس تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و مدل‌های ارزیابی چندمعیاره مکانی برای تعیین مناطق مناسب احداث سیستم‌های پخش سیلاب در کشور ایران را ارائه نمود. در نهایت نتیجه‌گیری شد که سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری ایجاد شده دارای قابلیت بالا در شناسایی مناطق مناسب احداث و طراحی این سیستم‌ها از نظر فنی و اقتصادی می‌باشد. Forzieri et al. (۲۰۰۷) یک روش برای انتخاب اولیه مکان مناسب برای سدهای زیرزمینی و سطحی در مقیاس کوچک در مناطق خشک ارائه نمودند. آنها در این روش با کمک تصویر ماهواره‌ای لندست و بررسی معیارهای هیدرولوژی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی و ارائه فاکتور سود و هزینه و تعریف ضریب ترکیب به مکان‌یابی اولیه سدهای زیرزمینی پرداختند. Mbilinyi et al. (۲۰۰۷) یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری GIS پایه، به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل جمع‌آوری آب‌های سطحی ناشی از بارندگی در مناطق خشک را ارائه نموده‌اند. آنها در این مطالعه نرم‌افزار ArcView3.2 را به عنوان بستر SDSS در نظر گرفته‌اند و در نهایت آنها نتیجه گرفتند که SDSS ابزاری توانمند به منظور همکاری در تعریف مشکلات، ایجاد گزینه، ارزیابی گزینه‌ها و نشان دادن بهترین گزینه می‌باشد. Archwchai et al. (۲۰۰۵) در تحقیق خود به بررسی تعیین مکان سد زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک تایلند، لایه‌های مختلف نظیر گسل، شیب، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، بارش و دما با استفاده از تکنیک GIS پرداختند. Abdoulhalik and Ahmed (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر لایه همگن بر کارایی سد زیرزمینی در حفاظت از آبخوان‌های ساحلی در برابر نفوذ آب دریا پرداختند. بر مبنای مطالعات آنها سدهای زیر سطحی به میزان ۷۸ درصد از طول نفوذ آب شور دریا به آبخوان می‌کاهد؛ اما وجود لایه‌های ناهمگن آبخوان، کارایی سد زیرزمینی در جلوگیری از نفوذ آب شور به آبخوان را کاهش می‌دهد. dos Santos Gomes et al. (۲۰۱۸) به منظور مکان‌یابی مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی در نواحی خشک و نیمه خشک جنوب شرقی برزیل از روش ژئوفیزیکی ترموگرافی (مقاومت الکتریکی) استفاده کردند. Lafayette et al. (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی تبخیر خاک یک سد زیرزمینی در عمق‌های مختلف سطح آب زیرزمینی و شرایط خشک و نیمه خشک ایالت پرنامبوکو در برزیل پرداختند. در تحقیق خود از مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل SISPAT استفاده کردند و نتایج آنها نشان داد که این مدل کارایی مناسبی دارد. Sun et al. (۲۰۱۹) تأثیر احداث سد مصنوعی زیرزمینی وانگ در چین را بر میزان جریان آب زیرزمینی و کیفیت آن بررسی کردند. نتایج نشان داد که احداث این سد علاوه بر بهبود جریان آب زیرزمینی، از نظر کیفیت و جذب مواد معدنی نیز باعث بهبود منابع آب شده است. Dortaj et al. (۲۰۲۰) ۱۰ منطقه از ۵۰ منطقه به عنوان جایگزین سدهای زیرسطحی^۲ در استان اصفهان ایران مورد مطالعه قرار گرفته است. ۱۴ معیار بر اساس چهار جنبه مختلف ساختار سدهای زیرسطحی تعریف شده است که عبارتند از: زمین‌شناسی، اقتصاد- اجتماعی، زمین‌شناسی و تغییرات آب و هوایی. مهم‌ترین معیارها عبارتند از متوسط بارندگی سالانه، مساحت حوضه فوقانی، فاصله از روستاها و شیب نهر از روش ELECTRE III اصلاح شده برای رتبه‌بندی گزینه‌ها از مناسب‌ترین انتخاب برای ساخت سد زیرسطحی به حداقل استفاده شد. سرانجام منطقه حسین آباد برای احداث سد زیرسطحی انتخاب شد. Kim and Lee (۲۰۲۱) به دلیل شدت خشکسالی در شهر سوکچو واقع در کره جنوبی، برای مدیریت آب عملیات پیوسته سدهای سطحی و زیرسطحی را پیشنهاد کردند. در مجموع ۸۰ مورد تحت چهار سناریو ایجاد شد و برای تعیین قابلیت تأمین آب در طول سال شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد که آب‌خانگی را می‌توان در طول سال با تخصیص مناسب آب تأمین کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه پژوهش

حوزه آبخیز باغک سرنی با مساحت ۵۷۴۵/۲۳ هکتار در شهرستان میناب استان هرمزگان واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۸' ۱۴" ۵۷° تا ۱۸' ۲۲" ۵۷° طول شرقی و ۲۰" ۳' ۲۷° تا ۷' ۲۷" ۲۷° عرض شمالی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع منطقه ۸۵۸ متر در ارتفاعات کوه پالومی واقع در غرب حوزه آبخیز و حداقل ارتفاع آن ۱۹۵ متر از سطح دریا، واقع در جنوب حوزه آبخیز در نزدیکی روستای پابنان می‌باشد. منطقه دارای آب و هوای بیابانی گرم و شدید و متوسط درجه حرارت آن ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد است که حداقل دما در دی‌ماه و بالاترین

آن در خردادماه می‌باشد. عمده فعالیت ساکنان منطقه محدوده طرح در اولویت اول کشاورزی و سپس دامداری است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور، استان و شهرستان

۲-۲- روش پژوهش

مراحل انجام پژوهش حاضر به شرح ذیل است:

(الف) جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز منطقه؛ (ب) عملیات صحرایی؛ به منظور برداشت نقاط تعلیمی با دستگاه GPS و بررسی برخی پارامترها؛ (ج) آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی تحقیق شامل:

(۱) اخذ نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ توپوگرافی از سازمان نقشه‌برداری به عنوان داده پایه برای تعیین مرز حوزه، تهیه مدل ارتفاع رقومی، تهیه نقشه شیب؛

(۲) داده‌های هیدروژئوشیمی حوزه (۱۳۹۵) از شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان دریافت شده است.

(۳) داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای و پیژومترها و چشمه‌های موجود در سطح حوزه (سال ۱۳۹۵) از سازمان آب منطقه‌ای هرمزگان اخذ گردید.

(۴) لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، گسل، کاربری اراضی و موقعیت مکانی نقاط روستایی در سطح حوزه از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری هرمزگان اخذ شده است.

(۵) تصویر سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست هفت با قدرت تفکیک ۱۵ متر از منطقه مورد مطالعه مربوط به سال ۲۰۱۴ میلادی از سایت USGS دریافت شده است.

(د) وزن‌دهی پارامترهای پژوهش: بدین منظور از روش AHP موجود در نرم‌افزار Expert choice استفاده شده است.

(ه) با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ماژول Analysis و تابع Euclidean distance، لایه‌های رستری تهیه و سپس فازی‌سازی شدند. در نهایت همپوشانی وزنی لایه‌ها انجام شده است.

۲-۳- فرایند تحلیل سلسله مراتبی

این روش بر پایه مقایسه زوجی عوامل مختلف استوار است (Yalcin, 2008). روش AHP بطور کلی شامل سه مرحله، ایجاد سلسله مراتب، مقایسه عناصر تصمیم‌گیری بصورت دو به دو و در نهایت ایجاد یک درجه‌بندی کلی از اولویت‌ها است (مالچفسکی، ۱۳۸۵). اولین مرحله شامل تجزیه مسئله تصمیم در قالب طیفی از سلسله مراتب است که در برگیرنده مهم‌ترین عناصر مسئله تصمیم‌گیری است. در مرحله دوم ابتدا به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آنها به مقادیر کمی از نظر کارشناسی و یک مقیاس نه گانه (جدول ۲) استفاده می‌شود. در طی این فرایند که در ماتریس مقایسه‌ای اولیه انجام می‌گیرد عناصر بصورت دو به دو با هم مقایسه شده و ارجحیت آنها نسبت به یکدیگر بصورت کمی بیان می‌گردد. در ادامه جمع هر ستون در این ماتریس بدست آمده و سپس تک تک عناصر هر ستون بر مجموع عناصر همان ستون تقسیم می‌شود و حاصل آن در ماتریس استاندارد شده وارد می‌شود. در این ماتریس متوسط هر سطر محاسبه و به عنوان وزن پارامتر مربوط به آن سطر در نظر گرفته می‌شود در مرحله سوم ابتدا نرخ سازگاری^۱ محاسبه و با استفاده از آن، شاخص (λ) و شاخص سازگاری^۲ بدست می‌آید، این شاخص نماینده انحراف از پایداری است که با استفاده از آن می‌توان نرخ سازگاری را نیز تعیین نمود.

1. Consistency Ratio (CR)

2. Consistency Index (CI)

$$CR=CI / RI$$

رابطه (۱):

که در این رابطه CI شاخص سازگاری و RI^۱ شاخص تصادفی است که با توجه به تعداد پارامترها از روی جدول بدست می‌آید. اگر CR بدست آمده کمتر از ۰/۱ باشد در این صورت سطح پایداری در مقایسه دو به دو قابل قبول است و در غیر این صورت CR باید ارزش‌های اولیه در ماتریس مقایسه‌ای مورد بازبینی قرار گیرند (مالچفسکی، ۱۳۸۵). بعد از این می‌توان شاخص حساسیت برای هر پیکسل را از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$S=\sum WiRi$$

رابطه (۲):

در این رابطه S فاکتور حساسیت مربوط به هر پیکسل W وزن مربوط به پارامترها و R امتیاز هر طبقه از پارامتر ویژه است.

جدول (۲): مقیاس قضاوت شفاهی برای مقایسه زوجی در روش AHP (مالچفسکی، ۱۳۸۵)

مقدار عددی	اهمیت پارامترها نسبت به یکدیگر
۱	اهمیت برابر
۳	اهمیت متوسط
۵	اهمیت قوی
۷	اهمیت خیلی قوی
۹	اهمیت فوق العاده قوی
۲,۴,۶,۸	اهمیت بین فواصل

روش AHP یکی از فرایندهای جامع طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. در این روش، مسأله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود تا تصمیم‌گیرنده بتواند به راحتی در کوچک‌ترین تصمیم دقت کند. بعد از مدل‌سازی سلسله مراتبی مسأله تصمیم، تصمیم‌گیرنده باید عناصر هر سطح را نسبت به عنصر مربوط به خود در سطح بالاتر و به صورت دو به دو مقایسه و وزن آنها را محاسبه کند. مقادیر ارائه شده در این روش دارای ارزش بین ۱ تا ۹ می‌باشند. GIS نیز با داشتن ابزارهای بهینه تحلیل و ترسیم حرفه‌ای و خاص، به تحلیل فضایی موقعیت‌ها می‌پردازد. شیوه تحقیق برای مکان‌یابی مناسب به این صورت است که ابتدا پارامترهای بنیادی مؤثر در مکان‌یابی کاربری‌های احداث سد زیرزمینی را تعیین کرده، پس از تهیه لایه‌ها بر اساس ضوابط در GIS هر یک از آنها به رستر تبدیل شده است. برای مشخص کردن پارامترها و معیارهای بنیادی در مکان‌یابی احداث سد زیرزمینی از فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. برای به دست آوردن وزن نهایی هر لایه و نرخ ناسازگاری، که باید کمتر از ۰/۱ باشد، باید به تهیه ماتریس مقایسه زوجی^۲ اقدام کرد که برای این کار از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شد. پس از به دست آوردن وزن نهایی، در محیط GIS لایه‌های رستری به روش فازی استانداردسازی و در نهایت همپوشانی گردید. بدین ترتیب مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی رتبه‌بندی شد.

۳- نتایج

تعیین شاخص‌های مکان‌یابی جهت ایجاد سد زیرزمینی در مکانی خاص، ملزم به وجود شرایط و ویژگی‌های مناسب می‌باشد. شرایط مناسب مذکور را می‌توان در قالب شاخص‌های جداگانه بیان نمود (جدول ۳):

جدول (۳): شاخص‌ها و متغیرهای تحقیق

شاخص‌ها	متغیر
جغرافیایی منطقه	موقعیت و پستی و بلندی منطقه
زمین‌شناسی	لیتولوژی، ضخامت آبرفت، تقسیم‌بندی واحدهای سنگی از نظر سنگ مخزن آب
آب و هواشناسی	رودخانه‌های فصلی، رودخانه دائمی، بارندگی سالانه
شرایط اقتصادی-اجتماعی طرح	نیاز آبی و دسترسی
نیاز آبی منطقه	نیاز آب شرب و کشاورزی
دسترسی (فاصله)	الگوی توزیع جمعیت، شبکه ارتباطی و منابع قرضه

ماخذ: یافته‌های نگارنده، ۱۳۹۹

1. Random Index (RI)

2. Paired Comparison

۳-۱- تعیین محورهای مناسب در محدوده (ایجاد گزینه)

تعیین محورهای مناسب در محدوده‌های مستعد یکی از اساسی‌ترین کارها در مکان‌یابی و اولویت‌بندی ایجاد سدهای زیرزمینی در این تحقیق می‌باشد. برای تعیین محور مناسب در هر محدوده از روش سلامی استفاده شده است. در این روش ابتدا در تنگه‌های موجود در محدوده با کمک تفسیر چشمی تصویر ماهواره‌ای چند محور مشخص شده و سپس در محیط GIS برای تمامی محورها یک بافر با فاصله ثابت ۲۵۰ متر به عنوان حداکثر طول مخزن سد زیرزمینی تعریف شده و مساحت مخزن هر محور مشخص می‌شود (سلامی، ۱۳۸۵). این حریم‌ها با توجه به شرایط اقلیمی، مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی منطقه در نظر گرفته شدند.

۳-۲- معیارهای اصلی

چهار معیار اصلی محور، مخزن، آب و اقتصادی- اجتماعی در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی دخیل هستند. با توجه به شرایط خشکسالی منطقه هدف اصلی از ایجاد سد زیرزمینی تأمین آب شرب روستاهای موجود در سطح حوزه می‌باشد. بنابراین قرار گرفتن محورها در نزدیکی روستاها به منظور تأمین آب شرب یکی از تعیین‌کننده‌ترین معیارها در اولویت‌بندی معیارها است.

۳-۳- معیار اقتصادی- اجتماعی

این معیار شامل میزان نیاز آبی کنونی در مناطق اطراف محور و میزان دسترسی به محل محور سد زیرزمینی می‌باشد. در جدول ۴ اهمیت دو معیار نیاز آبی و میزان دسترسی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

اقتصادی- اجتماعی	نیاز آبی	دسترسی	بردار وزن‌ها (بردار ویژه)
نیاز آبی	۱	۴	۰/۸
دسترسی	۱/۴	۱	۰/۲
نرخ سازگاری		صفر	

ماخذ: یافته‌های نگارندگان، ۱۳۹۹

۳-۴- تأمین نیاز آبی

این زیرمعیار شامل تأمین نیاز آب شرب و کشاورزی می‌باشد. مسلماً با توجه به شرایط منطقه تأمین نیاز آب شرب از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنابراین در ماتریس مقایسه زوجی وزن ۰/۸ به آن اختصاص یافت.

۳-۵- نیاز آب شرب روستائیان

حوزه مورد مطالعه دارای شش روستا می‌باشد، با توجه به وقوع خشکسالی‌های دهه اخیر و از بین رفتن کشاورزی این روستاها بیشتر کارکرد سکونت- خوابگاهی داشته و از جهات بسیاری از جمله منابع آبی و تأمین آب شرب نیز در تنگنا می‌باشند. محورهای موردنظر بر حسب تعداد افراد ذینفع در استفاده از سد زیرزمینی جهت تأمین آب شرب مورد نیاز با یکدیگر مقایسه و وزن‌دهی گردید.

۳-۶- نیاز آبی کشاورزی

برای به دست آوردن میزان نیاز آب کشاورزی ابتدا وسعت زمین‌های کشاورزی و باغ‌های زبردست هر محور سد با استفاده از نقشه کاربری در محیط GIS به دست آمده و طبقه‌بندی شده است. سپس مساحت اراضی ذکرشده در ماتریس مقایسه زوجی با هم مقایسه گردید.

۳-۷- میزان دسترسی به سد زیرزمینی (معیار فاصله)

دارای سه معیار فرعی شامل فاصله از روستا، فاصله از نزدیک‌ترین جاده و فاصله از منبع قرضه ریزدانه می‌باشد. در جدول ۴ این معیارها با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۳-۸- فاصله از روستا

فاصله کم محور سد از روستا و زمین‌های کشاورزی میزان هزینه‌های دسترسی به آب را کاهش می‌دهد از طرفی در اجرای پروژه‌های سد زیرزمینی استفاده از نیروهای محلی در ساختن سد و حفاظت و نگهداری بعدی عمدتاً به عهده روستائیان ساکن در مناطق مجاور سد می‌باشد. لذا فاصله کم محور سد از روستا دارای امتیاز بیشتری است.

۳-۹- فاصله از جاده دسترسی

وجود جاده دسترسی در محل احداث سد زیرزمینی باعث افزایش سرعت دسترسی و کاهش هزینه‌های مرتبط با ساخت و نگهداری سازه می‌گردد.

۳-۱۰- فاصله از منابع قرضه

از آنجایی که حوزه مورد مطالعه در ناحیه‌نسبتاً کوهستانی واقع شده، بنابراین برای تهیه منابع قرضه سنگی محدودیتی وجود ندارد. نقشه فاصله محور از منابع قرضه ریزدانه تهیه شده است.

۳-۱۱- محور

یکی دیگر از معیارهای مهم و تعیین کننده در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی محور می‌باشد. معیار محور دارای سه زیرمعیار فرعی طول، عمق و لیتولوژی تکیه‌گاه‌های محور می‌باشد. با توجه به محدودیت‌هایی که عمق حفاری محور در ساخت سد نسبت به طول محور دارد، عمق محور از اهمیت بیشتری برخوردار است (Nilsson, 1988). وزن این معیارها با نرخ ناسازگاری ۰/۰۴ محاسبه شده که در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

جدول (۵): تعیین اهمیت و وزن معیار محور با نظرات کارشناسی

محور	عمق	طول	لیتولوژی	بردار وزن‌ها
عمق	۱	۳	۵	۰/۶۳۷
طول	۱/۳	۱	۳	۰/۲۵۸
لیتولوژی	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۱۰۵
نرخ سازگاری			۰/۰۴	

ماخذ: یافته‌های نگارندگان، ۱۳۹۹

۳-۱۲- عمق محور

در این پژوهش با بررسی شیب تکیه‌گاه‌ها و همچنین بازدید صحرایی و اطلاعات محلی برای هر محور، عمق آن به دست آمده است. در حوزه مورد مطالعه به دلیل کوهستانی و جوان بودن رودخانه‌ها در اغلب موارد آبرفت موجود در رودخانه دارای ضخامت کمی هستند. در جدول ۶ ضخامت آبرفت در محورهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. به دلیل وجود محدودیت در عمق حفاری محور توسط ابزارآلات متداول مانند لودر و بولدوزر حفاری در عمق‌های بیش از ۳۰ متر با این ابزار دشوار و به کندی امکان‌پذیر می‌باشد (سلامی، ۱۳۸۵).

جدول (۶): تعیین اهمیت و وزن زیرمعیار عمق محور با نظرات کارشناسی

عمق محور (متر)	۳-۰	۶-۳	۹-۶	۱۲-۹	>۱۲	بردار وزن‌ها
۳-۰	۱	۱/۵	۱/۳	۳	۵	۰/۱۴۱
۶-۳	۵	۱	۳	۵	۹	۰/۵۰۴
۹-۶	۳	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۲۳۸
۱۲-۹	۱/۳	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۰۷۹
>۱۲	۱/۵	۱/۹	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۳۷
نرخ سازگاری						۰/۰۶

ماخذ: یافته‌های نگارندگان، ۱۳۹۹

۱۳-۳- طول محور

در سدهای زیرزمینی محورهای با طول کمتر دارای اهمیت بیشتری نسبت به دیگر محورها می‌باشند، چون نگهداری و ساخت سد به راحتی و هزینه کمتری انجام می‌شود. از طرفی طول کم محور نباید تأثیر زیادی در میزان حجم مخزن سد داشته باشد. طول محورهای حوزه در چهار طبقه ارائه شده است و در جدول ۷ طول محورهای موجود بر مبنای مقایسه زوجی با یکدیگر مورد مقایسه و وزن‌دهی قرار گرفته‌اند.

جدول (۷): تعیین اهمیت و وزن معیار طول محور با نظرات کارشناسی

طول محور (متر)	۵۰-۰	۱۰۰-۵۰	۱۵۰-۱۰۰	>۱۵۰	بردار وزن‌ها
۵۰-۰	۱	۳	۵	۷	۰/۵۶۵
۱۰۰-۵۰	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۲۶۲
۱۵۰-۱۰۰	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۱۱۸
>۱۵۰	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۵۵
نرخ سازگاری			۰/۰۴		

ماخذ: یافته‌های نگارندگان، ۱۳۹۹

۱۴-۳- لیتولوژی تکیه‌گاه‌ها

بر مبنای بازدیدهای صحرایی و بررسی وضعیت انواع لیتولوژی‌های سنگی از نظر میزان خردشدگی و فاصله‌داری و بازشدگی درزه‌ها، انواع واحدهای سنگی از نظر نفوذناپذیری گروه‌بندی و مورد مقایسه زوجی قرار گرفته‌اند. در حوزه آبخیز مورد مطالعه لیتولوژی غالب از نوع سیلت و ماسه‌سنگ می‌باشد. شیل‌ها اگرچه دارای نفوذپذیری بسیار پایین می‌باشند، اما به دلیل وجود درزه شکاف‌ها و لایه‌بندی ضعیف نمی‌توانند تکیه‌گاه مناسبی برای ایجاد سازه باشند.

۱۵-۳- کیفیت آب

به دلیل نیاز به آب در بخش کشاورزی و شرب در حوزه سرنی می‌بایست کیفیت آب در این دو بخش مورد مطالعه قرار گیرد. یکی از روش‌هایی که در سطح جهانی برای تقسیم‌بندی آب‌های مصرفی جهت کشاورزی کاربرد بیشتری دارد، طبقه‌بندی ویل کاکس^۱ است. جدول شماره ۸ این طبقه‌بندی کیفیت آب را نشان می‌دهد که مشاهده می‌شود آب‌های زیرزمینی حوزه برای مصارف کشاورزی در کیفیت خوب تا متوسط برخوردارند. در ادامه بر مبنای مقایسه زوجی، زیرمعیارهای کیفیت آب‌های موجود مورد مقایسه و وزن‌دهی قرار گرفته است. برای تهیه نقشه هدایت الکتریکی در منطقه از روش طبقه‌بندی ویل کاکس که کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی می‌باشد استفاده شده است (شکل ۲).

جدول (۸): طبقه‌بندی ویل کاکس و کیفیت آب زیرزمینی حوزه برای شرب و کشاورزی

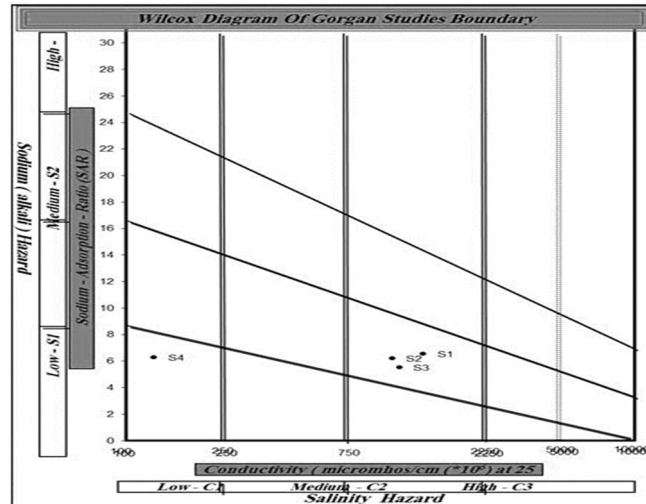
کد	منبع آبی	کیفیت آب از نظر شرب	طبقه‌بندی ویل کاکس	کیفیت آب از نظر کشاورزی
۱	کیدی حیدری- چاه غربال	خوب	C2-S1	خوب
۲	پیر حسن دانایی نسب	خوب	C2-S1	خوب
۳	شنبه حسن پور	قابل قبول	C3-S1	خوب تا متوسط
۴	مالک امیری	قابل قبول	C3-S1	خوب تا متوسط
۵	موسی بهرامی- سرخ‌نار	قابل قبول	C3-S1	خوب تا متوسط
۶	درویش- دره شتر مرده	قابل قبول	C3-S1	خوب تا متوسط
۷	عباس زاده- پامنبر	خوب تا قابل قبول	C2-S1	خوب
۸	جعفری پابنان	قابل قبول	C3-S1	خوب تا متوسط

ماخذ: یافته‌های نگارندگان، ۱۳۹۹

برای تهیه نقشه هدایت الکتریکی، از داده‌های EC حوزه سرنی مربوط به سال ۱۳۹۵ از شرکت مهندسی مشاور کمند آب با نظارت آب منطقه‌ای هرمزگان اخذ و استفاده شده است.

۱۶-۳- کمیت آب

در جدول ۹ حجم نزولات بر حسب میلیون مترمکعب و میانگین بارش در زیرحوزه‌های مطالعاتی به طور جداگانه ذکر گردیده است. متوسط بارندگی سالیانه حوزه مورد مطالعه در یک دوره آماری ۲۶ ساله در حدود ۲۰۵/۱ میلی‌متر می‌باشد. برای به دست آوردن بارندگی سالانه حوزه از آمار بارندگی ایستگاه‌ها مطابق با جدول ۹ استفاده شده است.



شکل (۳): نمودار ویل کاکس در حوزه سرنی

جدول (۹): میانگین و حجم بارندگی سالیانه زیرحوزه‌های مطالعاتی موردنظر

زیرحوزه	مساحت (هکتار)	متوسط باران (میلیمتر)	حجم نزولات (میلیون متر مکعب)
B-INT	۷۲۶/۷	۲۰۶/۱	۱/۴
B1	۹۶۳/۳	۲۰۷/۱	۱/۹
B3-1-1	۵۲۵/۵	۲۰۵/۲	۱
B4	۲۱۴	۲۰۶	۰/۴
B5-1	۴۳۴	۲۰۵/۷	۰/۸
BA-INT	۲۳۳/۴	۲۰۴/۹	۰/۴
B5-2	۴۵۱/۴	۲۰۵/۲	۰/۹
B5-INT	۲۳۵/۱	۲۰۵/۵	۰/۴
BA-1	۱۹۰/۸	۲۰۴/۹	۰/۳
B3-2	۴۶۱/۸	۲۰۶/۲	۰/۹
B2	۲۰۶	۲۰۷	۰/۴
BC	۵۱۲/۶	۲۰۴/۶	۱
B3-INT	۷/۳	۲۰۶/۵	۰/۰۱
B3-1-INT	۵۸۲/۶	۲۰۶/۵	۱/۲
کل حوزه	۵۷۴۵/۲	۲۰۵/۹	۱۱/۴

۱۷-۳- مخزن

معیار مخزن دارای سه معیار فرعی نفوذپذیری مخزن، شیب مخزن و گسترش سطحی می‌باشد. معیار فرعی نفوذپذیری نسبت دو معیار فرعی دیگر اهمیت بیشتری دارد و وزن و اهمیت معیارهای تأثیرگذار در حجم مخزن در جدول ۱۰ ارائه گردیده است.

۱۸-۳- سطح مخزن

در انتخاب مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی، بهترین مکان احداث سد زیرزمینی در یک رودخانه تنگه‌هایی هستند که دارای بیشترین سطح مخزن در مناطق بالادست جریان باشند (معماریان، ۱۳۹۲). با توجه به تحلیل نقشه سطح مخزن، بیشتر سطوح دارای مساحتی بین ۲۵ تا ۳۰ هکتار

می‌باشند. سطح مخزن‌های موجود مورد مقایسه زوجی و وزن‌دهی قرار گرفته‌اند. پس از مقایسه زوجی، به هر یک از معیارها و زیرمعیارها اختصاص داده شده است (جدول شماره ۱۱).

جدول (۱۰): تعیین اهمیت و وزن کلاس‌های مختلف معیار مخزن

معیار فرعی مخزن	نفوذپذیری	شیب	سطح	بردار وزن‌ها
نفوذپذیری	۱	۳	۵	۰/۶۳۷
شیب	۱/۳	۱	۳	۰/۲۵۸
سطح	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۱۰۵
نرخ سازگاری	۰/۰۴			

ماخذ: یافته‌های نگارندگان، ۱۳۹۹

جدول (۱۱): وزن به دست آمده برای معیارهای فرعی و اصلی

معیار اصلی	وزن	معیار فرعی	وزن	زیرمعیار فرعی
اقتصادی - اجتماعی	۰/۸	نیاز آبی	۰/۲۵	روستا
			۰/۲۴	فاصله از روستا
	۰/۲	دسترسی	۰/۱۹	فاصله از جاده
		۰/۰۸	فاصله از منبع قرصه	
محور	۰/۶۳۷	عمق		
	۰/۲۵۸	طول		
	۰/۱۰۵	لیتولوژی		
مخزن	۰/۶۳۷	نفوذپذیری		
	۰/۲۵۸	شیب		
	۰/۱۰۵	سطح		
آب	۰/۸۳۳	کمیت		
	۰/۱۶۷	کیفیت		

۱۹-۳- فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی

به منظور تولید نقشه‌های فازی در محیط GIS در قالب تحلیل Fuzzy Membership از ابزار Spatial Analyst Tools استفاده گردید. ابتدا برای هر یک از لایه‌های موجود، نقشه فاصله تهیه شد. نوع تابع عضویت لایه‌ها از نوع خطی است. به دلیل اینکه از تغییرات فاصله جهت پیدا کردن مکان مناسب استفاده می‌شود. از این‌رو لایه تهیه شده، لایه‌ای است که مقادیر لایه ورودی را به مقادیر بین صفر و یک تبدیل کرده است. در این صورت مناطقی که دارای درجه عضویت یک یا نزدیک به آن را دارند از ارزش بیشتری برخوردارند و برعکس مناطقی که درجه عضویت صفر یا نزدیک به صفر می‌گیرند، کمترین ارزش را دارند. لایه‌ها براساس نوع تابع فازی تهیه شد. نقشه‌های لایه‌ها آمده است (شکل ۳).

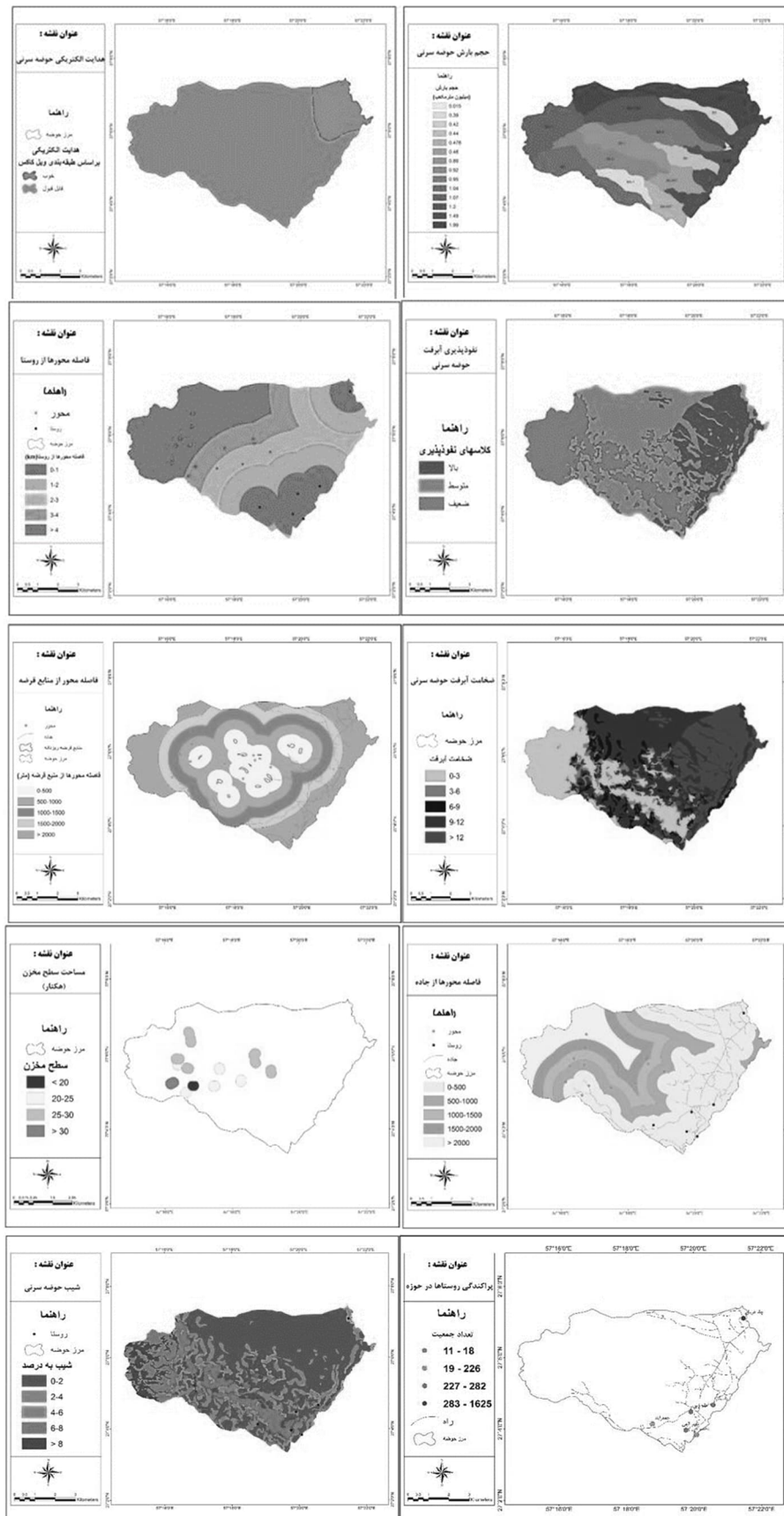
۲۰-۳- تعیین مناطق مستعد

از تلفیق همه لایه‌های رستری، نقشه ارزش‌گذاری محورها بدست آمد. نقشه حاصل با استفاده از روش فازی، نرمال‌سازی شد و ارزش آنها بین اعداد صفر تا یک قرار گرفت. در شکل ۴ نقشه اولویت‌بندی محورها جهت احداث سد زیرزمینی را نشان می‌دهد. در این نقشه محور شماره ۱۴ به عنوان اولویت اول و محورهای شماره ۱۳ و ۱۲ به ترتیب در اولویت دوم و سوم جهت احداث سد زیرزمینی در حوزه سرنی مشخص شد. همان‌طور که در نقشه نهایی مشاهده می‌شود مناطق اولویت‌دار در شمال غرب حوزه و در بالادست مسیر مسیل‌ها واقع شده است.

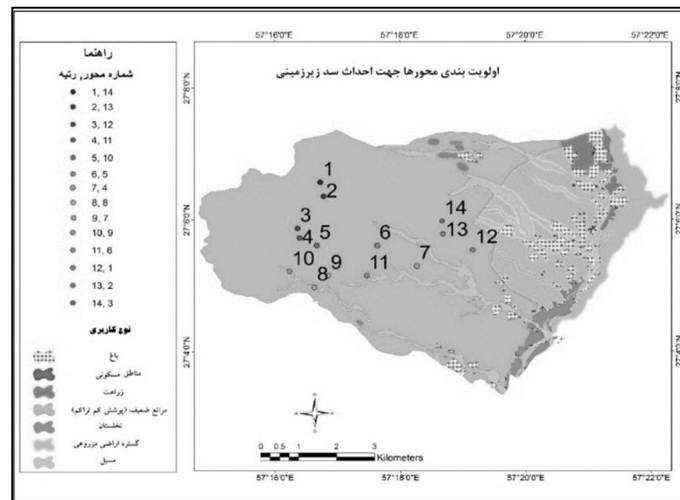
۲۱-۳- تحلیل حساسیت مدل AHP در تعیین مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی

در این مطالعه تحلیل حساسیت برای نشان دادن تغییر در ترتیب قرارگیری مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی با تغییر در وزن معیارهای ورودی انجام شد. با تغییر وزن معیارهای با بالاترین درجه تأثیر، به میزان ± 5 و ± 10 درصد، وزن سایر معیارها نیز تغییر پیدا کرد. این نتایج نشان دادند که اولویت‌بندی محورها نسبت به یکدیگر بدون تأثیرپذیری از تغییرات وزن‌ها، ثابت باقی مانده‌اند. این امر نشان دهنده استحکام وزن‌های معیارهاست، لذا می‌توان خطاهای احتمالی موجود در تخمین وزن‌های معیارهای استفاده شده را ناچیز در نظر گرفت و از آن چشم‌پوشی کرد. در خصوص صحت

سنجی مدل نیز با بازدید میدانی دوباره از محورها، مشخص شد که اولویت بندی محورها براساس پارامترهای مورد بررسی به طور صحیح انجام گرفته است.



شکل (۳): نقشه عوامل مؤثر در مکان یابی سدهای زیرزمینی حوزه مورد مطالعه



شکل (۴): اولویت‌بندی محورها جهت احداث سد زیرزمینی

۴- بحث و نتیجه‌گیری

سدهای زیرزمینی به لحاظ فنی، اقتصادی و اجرایی بایستی دارای شرایط مشخصی باشند تا اجرای آنها اقتصادی و مقرون به صرفه شود. ضخامت آبرفت، عمق و جنس سنگ بستر کف، ابعاد دره، کیفیت و کمیت آب از مواردی است که در احداث یک سد زیرزمینی موثرند. نتایج نشان داد که معیار آب در مقایسه با سایر معیارها در ارجحیت قرار دارد، زیرا بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. در این میان کمیت آب در مقایسه با کیفیت آن از اهمیت بیشتری برخوردار است. چون که نوسان جریان‌ات زیرسطحی مخزن سد زیرزمینی، کاملاً آنگیری نشده و با مشکلات عدیده‌ای از قبیل تأمین نیاز آب شرب روستاهای مجاور و کشاورزی آنها مواجه خواهیم بود. این مسئله با نتایج Nilsson (۱۹۸۸) در ارتباط با جمع‌آوری آب با استفاده از سد زیرزمینی با تأکید بر پارامتر کمیت آب در کشورهای آفریقایی و همچنین چزگی و همکاران (۱۳۸۸) در انتخاب مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در غرب استان تهران هم‌خوانی دارد. در تحقیق بهاروند و همکاران (۱۳۹۹) نیز مهم‌ترین معیار در مکان‌گزینی سد زیرزمینی تراکم شبکه‌ی آبراهه یا به عبارت دیگر کمیت آب در نظر گرفته شده است. در مورد کیفیت آب نیز شرایط مطلوبی داراست و در طبقه‌بندی ویل کاکس از کیفیت خوب تا متوسط برخوردارند. البته در مواردی کیفیت آب می‌تواند متأثر از زمین‌شناسی منطقه باشد که مشکل خاصی ایجاد نمی‌کند. همچنان که تحقیقات Wiplinger (۱۹۵۸) نشان‌دهنده این است که برای کیفیت‌های مختلف آب می‌توان کاربری‌های متفاوتی در نظر گرفت، با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. صحت مدل در تعیین نقاط مناسب و دارای اولویت، نیز براساس مطالعات میدانی و بازنگری لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، انجام گرفت. محوره‌های شماره ۱۴، ۱۳ و ۱۲ به ترتیب دارای اولویت بیشتری بودند. محور شماره ۱۴ به عنوان گزینه‌ی انتخابی در شمال غرب حوزه و در بالادست مسیر مسیل‌ها واقع شده است. این بخش دارای نفوذپذیری مناسب بوده و عمق محور آن ۱۲-۹ متر است. به علاوه در زیرحوزه B1 با متوسط بارش سالانه ۲۰۷/۱ میلی‌متر و دارای حجم نزولات ۱/۹ میلیون مترمکعب، واقع شده است. این ویژگی‌ها از پتانسیل‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در منطقه می‌باشد. نتیجه این تحقیق با ایدون و همکاران (۱۳۹۷) نیز مطابقت دارد. آنها سه سایت به عنوان گزینه مناسب انتخاب کردند. اولویت اول از نفوذپذیری خوبی برخوردار است. نتایج نشان می‌دهد که گزینه مشخص شده به عنوان گزینه برتر به روش ترکیب (در اینجا مدل AHP) مورد استفاده در روند تصمیم‌گیری بستگی دارد. Foster et al. (۲۰۰۲) با بررسی اقتصادی سدهای زیرزمینی در برزیل، مهم‌ترین مشکل ساخت سد زیرزمینی را به ترتیب ناشی از اشتباه در انتخاب محل سد (که ناشی از ناکافی بودن پتانسیل ذخیره است)، ناکافی بودن عمق قرارگیری لایه‌ی نفوذناپذیر، داشتن خاکی با نفوذپذیری کم و ویژگی نامناسب خاک که باعث شور شدن آب سد می‌شود دانستند. در این تحقیق معیار اقتصادی-اجتماعی به دو شاخص نیاز آبی و دسترسی تقسیم‌بندی شده است. با توجه به اهمیت شاخص نیاز آبی در مدل AHP امتیاز ۰/۸ و شاخص دسترسی امتیاز ۰/۲ را به خود اختصاص دادند. همچنین نیاز آبی به دو گروه نیاز آب روستا (امتیاز ۰/۷۵) و کشاورزی (امتیاز ۰/۲۵) طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شده است. این مورد با تحقیق Kim and Lee (۲۰۲۱) که اولویت تأمین آب برای مصارف خانگی قرار داده، مطابقت دارد. Dortaj et al. (۲۰۲۰) بیان کردند که استفاده از روش پیشرفته MCDM مانند ELECTRE برخی عدم قطعیت‌ها را در انتخاب سایت سدهای زیرسطحی کاهش می‌دهد و این روش توسعه یافته می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای تحقیقات میدانی دقیق‌تر مورد استفاده قرار گیرد. خزایی و همکاران (۱۴۰۰) با به‌کارگیری روش FUZZY-AHP بی‌اطمینانی در رتبه‌بندی عملکردها و تصمیم‌های روش AHP را از بین برده است. همچنین منطق فازی کمک کرد که ابهام در قضاوت‌ها قالب‌بندی شود و به زبان ریاضی درآید. آنچه از نتایج تحقیقات جدید حاصل می‌شود این است که همگی بیانگر این موضوع هستند که با استفاده از ابزار و داده‌های صحیح و قابل اطمینان، نتایج تحقیق به واقعیت نزدیک گردد. بنابراین ویژگی‌های مسئله تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیران یا تصمیم‌گیر و روش‌های ترکیب می‌بایست در انتخاب گزینه برتر مدنظر قرار گیرد. ویژگی‌های مسئله تصمیم‌گیری با اندازه و پیچیدگی مسئله (تعداد

معیارها، گزینه‌ها و محدودیت‌ها) و میزان خطاهای موجود در داده‌ها و عدم قطعیت در ارتباط است. ویژگی‌های تصمیم‌گیران و یا تصمیم‌گیر مشتعل بر توانایی یا شایستگی‌ها آنها در تبیین مقادیر و انواع مختلف اطلاعات ترجیحی است.

منابع

- ایدون، مر، بیگی‌پور، غ.ح.، و دهقانیان، م.ص. (۱۳۹۷). مکان‌یابی ساختگاه سد زیرزمینی در حوزه آبریز رودخانه گز در استان هرمزگان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۹(۱)، ۹۹-۱۱۴.
- بهاروند، س. امیری امرایی، و. و سوری، س. (۱۳۹۹). ارزیابی استعداد احداث سد زیرزمینی با بهره‌گیری از روش سلسله مراتبی فازی در دشت کوهدشت. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۳(۴)، ۱۴۵-۱۶۱.
- چزگی، ج. مرادی، ح.ر.، خیرخواه زرکش، م.م.، قاسمیان، د. و روستای، ی. (۱۳۸۸). مکان‌یابی سد زیرزمینی به روش معیارهای حذفی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: غرب استان تهران). پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. گرگان، اردیبهشت ۱۳۸۸، ۱۰ ص.
- خزایی، م.، خیرخواه زرکش، م.م.، میرزایی، م.ر.، صالح، ا.، و عزیزی، ف. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر عامل‌های مختلف بر مکان‌یابی و احداث بندهای زیرسطحی در استان کهگیلویه و بویراحمد. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۴(۱)، ۳-۱۵.
- روهینا، ا. احمدی، ح. معینی، ا. و شهریور، ع. (۱۳۹۹). مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از منطق بولین و روش AHP در آبخیز امامزاده جعفر گیساران. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۳(۴)، ۱۷-۲۰.
- سعادت، م. (۱۳۸۱). تعیین شاخص‌های مکانی جهت ایجاد سدهای زیرزمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه عمران دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
- سلامی، ه. (۱۳۸۵). مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق آذرین با استفاده از دورسنجی (مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه کرکس). پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، ۱۴۰ ص.
- طباطبائی یزدی، ج. (۱۳۸۱). بهره برداری از جریان‌ات زیر سطحی در آبراهه‌های فصلی با استفاده از سدهای زیرزمینی. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری. فلاح، س.ا.، قبادی‌نیا، م.، شکرگزار دارابی، م. و قربانی دشتکی، ش. (۱۳۹۱). بررسی پایداری منابع آب زیرزمینی، دشت داراب، استان فارس، پژوهش آب در کشاورزی، ۲۶(۲)، ۱۶۱-۱۷۲.
- مالچفسکی، ی. (۱۳۸۵). سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاره. ترجمه: ا. پرهیزگار و ع. غفاری گیلانده. تهران: انتشارات سمت، ۶۰۸ ص.
- محمدی، ج. و شمسی پور، ع.ا. (۱۳۸۲). تأثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب زیر زمینی دشت‌های شمال همدان. پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۵، ۱۳۰-۱۱۵.
- معماریان، ح. (۱۳۹۲). زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک (چاپ ششم). تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۹۵۲ ص.
- میان‌آبادی، ح. و افشار، ع. (۱۳۸۵). کاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) در تأمین آب شهر زاهدان. دومین کنفرانس منابع آب، بهمن ۱۳۸۵، ۸ ص.
- Abdoulhalik, A., and Ahmed. A. (2017). How does layered heterogeneity affect the ability of subsurface dams to clean up coastal aquifers contaminated with seawater intrusion?. *Journal of Hydrology*, 553, 708-721.
- Archwicheai, L., Mantapan, K., and Srisuk, K. (2005). Approachability of Subsurface Dams in the Northeast Thailand. *International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of Indochina (GEOINDO 2005)*, January 2005, 149-155.
- Chen, S.J., and Hwang, C.L. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*. Berlin: Springer-Verlag, 536p.
- Dortaj, A., Maghsoudy, S., Doulati Ardejani, F., and 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.
- dos Santos Gomes, J.L., Vieira, F.P., and Hamza, V.M. (2018). Use of electrical resistivity tomography in selection of sites for underground dams in a semiarid region in southeastern Brazil. *Groundwater for Sustainable Development*, (7), 232-238.
- Eastman, J.R. (1997). *IDRISI for windows users guide, version 3.2*, Clark labs for cartographic technology and Geographic Analysis. Worcester: Clark University.
- Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F., and Castelli, F. (2007). 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(1): 74-85.
- Foster, S., Azevedo, G.B., and Baltar, A.M. (2002). *Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence-Brazilian Experience*. World Bank, 5, 5p.
- Jamali, I.A., Mortberg, U., Olofsson, B., and Shafique, M. (2014). A spatial multi-criteria analysis approach for locating suitable sites for construction of subsurface dams in Northern Pakistan. *Water Resources Management*. 28(14): 5157-5174.
- Kheirkhah Zarkesh, M. (2005). *Decision Support System (DSS) For Floodwater Spreading Site Selection in Iran*, PhD Thesis, Department of Land Degradation and Development, Wageningen University, Wageningen, 273p.
- Kim, B.R., and Lee, S. I. (2021). Conjunctive Operation of Surface and Subsurface Dams Based on Drought Severity. *Water*, 13(6), 1-18.
- Klir, J., and Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and Applications*. New Jersey: Prentice Hall, 574p.
- Lafayette, F.B., Montenegro, S.M.G.L., Coutinho, A.P., Soares, W., Antonino, A.C.D., Silva, B.B.D., and Rabelo, A. (2019). Experimentation and modeling of soil evaporation in underground dam in a semiarid region. *Brazilian Journal of Water Resources*, 24(2), 1-11.
- Mbilinyi, B.P., Tumbo, S.D., Mahoo, H.F., and Mkiramwinyi, F.O. (2007). GIS-based decision support system for identifying potential sites for rainwater harvesting. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32(15-18), 1074-1081.
- Nilsson, A. (1988). *Underground Dams for Small-Scale Water Supply IT*: pub.
- Sun, Y., Xu, S.G., Kang, P.P., Fu, Y.Z., and Wang, T.X. (2019). Impacts of Artificial Underground Reservoir on Groundwater Environment in the Reservoir and Downstream Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11), 1-21.
- Tabesh, E. (1992). Map integration model applied in site selection. 241-266. In: Kurzl, H., and Merriam, D.F., *Use of microcomputers in Geology*. Boston: Springer, 285p.

- Wipplinger, O. (1958). The Storage of Water in Sand: An Investigation of the Properties of Natural and Artificial Sand Reservoirs and of Methods of Developing Such Reservoirs. Windhoek: South-West Africa Administration, 107p.
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*. 72(1): 1-12.

Ranking of suitable areas to underground dam construction (Case Study: Baghak Serney basin, Hormozgan Province)

Yahya Esmailpour¹, Hamid Reza Amiri^{* 2}, Sanaz Fallah³, Nahid Mirzadeh⁴



Research Article

1. Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Hormozgan University, Hormozgan, Iran.

y.esmailpour@hormozgan.ac.ir

2. M.Sc. of RS & GIS, Hormozgan University, Hormozgan, Iran.

amirihamid15@gmail.com

* Corresponding author

3. M.Sc. Of Desertification, Hormozgan University, Hormozgan, Iran.

sanaz.falah@yahoo.com

4. M.Sc. of GIS, Azad University of Tabriz, Mamqan Branch, Tabriz, Iran.

nido1372@gmail.com

Article Code: 2104-1006

Received: 22 April 2021

Accepted: 4 September 2020

Online: 9 January 2022

Review speed: 136 days

Citation:

Esmailpour, Y., Amiri, H. R., Fallah, S., and Mirzadeh, N. (2021). Ranking of suitable areas to underground dam construction (Case Study: Baghak Serney basin, Hormozgan Province). *Ecosystem Management*, 1(1), 11-25.

Abstract

Despite the low rainfall, which is amplified by disordered time distribution, a large amount of rainfall in Hormozgan province is wasted as runoff due to highly intensive and shower rains. On the other hand, an important part of the reserves of surface water resources such as rivers and dam lakes are losing due to high evaporation potential. Determining susceptible areas for construction of underground storages in plains covered by quaternary deposits is a good way to develop water resources in these conditions. Determination of the proper areas for this purpose depends on various ecological and anthropogenic criteria. Based on the research literature, socio-economic factors (water need and access), underground dam axis (depth, length and lithology), underground dam reservoir (permeability, slope and surface of the reservoir) and water (quantity and quality of water) named as the most important effective criteria. In this research, the Analytic Hierarchy Process (AHP) used to weigh the main and sub-criteria affecting the determination of the potential of underground dam construction in the study area. Sub-criteria of water quantity with a weight of 0.833, water demand with a weight of 0.8 and axis depth and reservoir permeability with a weight of 0.637 are the most important indicators of the research. The information layers of each criterion were fuzzy. Then, using satellite data and field control 14 axes (options) were distinguished and selected. Then by compilation of information layers in the ArcGIS environment, indices were calculated and ranked for each axis. The results showed that options 14 in the northwest of the region has requirements and the capability to build an underground dam. The system sensitivity in the rankings was tested by changing the ± 5 and ± 10 percent in weight of the highest-grade criteria. The selected option has suitable permeability and the depth of its axis is 9-12 meters. In addition, it is located in sub-basin B1 with an average annual rainfall of 207.1 mm and a rainfall volume of 1.9 million cubic meters. These features are among the suitable potentials for the construction of an underground dam in the region. So the results showed that the model has the sufficient stability in the axes prioritization relative to each other.

Key Words: Water harvesting, Spatial multi-criteria decision making, Underground dams, Serney basin.