

# مکان یابی محل های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش AHP

## تصمیم گیری چند معیاره

### (مطالعه موردی ناحیه اندیکا - خوزستان)

فرید درفشان<sup>۱\*</sup>، محمد حیدر نژاد<sup>۲</sup>، امین بردبار<sup>۳</sup> و حسن دانشیان<sup>۴</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های آبی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران،

fariddorfeshan@yahoo.com

۲- استادیار گروه سازه های آبی، واحداهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، Mo\_he3197@yahoo.com

۳- استادیار گروه سازه های آبی، واحداهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، asefmm@yahoo.com

۴- کارشناسی ارشد آبهای زیرزمینی سازمان آب و برق خوزستان، daneshianhassan@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷

## چکیده

به منظور، توسعه و بهره برداری بهینه و نیز ذخیره کردن آب در زیرزمین، استفاده از سدهای زیرزمینی می تواند مفید واقع گردد. با در نظر گرفتن شرایط منطقه اندیکا خوزستان، احداث سد زیر زمینی به دلیل هزینه اندک و بازدهی قابل قبول در این منطقه راهکاری مناسب برای جبران کم آبی در ماه های خشک سال است. معیارها و عوامل زیادی در مکان یابی سدهای زیرزمینی دخیل می باشند و میزان اهمیت آنها با هم متفاوت است. لذا با استفاده از همگام سازی سامانه اطلاعات جغرافیائی به دلیل توانمندی بالا در تحلیل داده های مکانی و آنالیز سلسله مراتبی نقش هر یک از عوامل مذکور با توجه به میزان تاثیرگذاری آنها در انتخاب محل های مناسب بررسی و اعمال گردید و سپس نتایج مورد نظر بدست آمد. در تحقیق حاضر درخت تصمیم گیری شامل معیارهای مخزن و اقتصادی است که هر کدام از این دو معیار دارای زیرشاخه هائی است. برای عامل مخزن چهار زیرمعیار شیب، هدایت هیدرولیکی، تخلخل موثر و نفوذپذیری پی و برای عامل اقتصادی دو زیرمعیار دسترسی به محل سد و فاصله از محل مصرف در نظر گرفته شده است. جهت تعیین محورهای انتخابی سد در محل های مورد نظر ۲۷ مکان انتخابی اولیه مشخص گردید. سپس با توجه به موقعیت مکان های انتخابی بر روی نقشه اولویت های مکانی ۱۵ محل برای اجرای سد معرفی گردید و در آخر میزان ذخیره سازی هریک از اولویت های پیشنهادی محاسبه گردید.

واژه های کلیدی: منطقه اندیکا، سد زیرزمینی، تصمیم گیری چندمعیاره، GIS

## مقدمه

جریان آب زیرزمینی در یک لایه آبدار طبیعی یا مصنوعی قرار گرفته و وضعیت جریان را به منظور نیل به اهداف احداث آن تغییر می دهد (۳). با توجه به اینکه کشور ما در منطقه ای نیمه خشک قرار گرفته است همواره از کم آبی و خشکسالی های متمادی رنج می برد و میانگین نزولات جوی در ایران پائین تر از میانگین سالیانه جهانی است و عمده بارندگی ها در

سدهای زیرزمینی سازه های ساخته شده در زیر سطح زمین طبیعی بوده که جریان سیال موجود در لایه های زمین را مسدود کرده و با ایجاد یک مانع در مقابل جریان آب زیرزمینی سبب ذخیره آب در آبرفت بالادست سد می شوند. به عبارت دیگر سد زیرزمینی در یک تعریف کلی به مانعی گفته می شود که در مسیر

فصول خاص ( زمستان ، بهار) متمرکز است (۲). با توجه به بیان فوق منطقه اندیکا در استان خوزستان نیز از این امر مستثنی نیست و به دلیل شرایط زمین شناسی و ساختاری خاص خود با کمبود منابع آب سطحی و زیرزمینی مواجه است. در ایران و سایر نقاط جهان تحقیقات زیادی در مورد مکان‌یابی و ساخت سدهای زیرزمینی انجام گرفته‌است و نمونه‌های زیادی نیز به مرحله اجرا رسیده‌است. از جمله نمونه‌های انجام شده در ایران در منطقه کندر کهنوج استان کرمان، کوه زرد دامغان، تویه دوار یزد و از سدهای زیرزمینی خارجی نیز می‌توان به منطقه ساحلی واقع در شاخ آفریقا، جزایر و مناطق ساحلی کشور ژاپن، جزیره میاکو در جنوب غربی ژاپن، جزیره ناکاجیمای ژاپن، نواحی مرکزی کشور تانزانیا، مناطق خشک و نیمه خشک شمال و شمال غرب تبت در کشور چین، جزیره ساحلی فاکت در جنوب تایلند و غیره اشاره کرد.

اوندر و ایلماز (۱۲) سدهای زیر زمینی را به عنوان ابزاری جهت توسعه و مدیریت منابع آب زیرزمینی بررسی نمودند. وانرومپی (۱۴) در گزارش ارزیابی ۵ سد زیرزمینی در بلژیک نتیجه گیری کرد که سدهای زیرزمینی دارای مزایائی نظیر :

افزایش ظرفیت چاه‌های موجود، سادگی و هزینه کم اجرائی ، قابلیت تکرار، خطرآلودگی پائین و سهولت بهره برداری توسط اهالی محل می باشند. هاشمی (۱۱) مکان یابی جهت احداث سد زیرزمینی در حوضه آبریز حاج علیقلی واقع در استان سمنان را مورد بررسی قرار داده است. وی پارامترهای مساحت حوضه، فرسایش پذیری، میزان رواناب، شیب حوضه، عرض مقطع، ضخامت آبرفت و بافت رسوبات را از طریق بررسی نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، بررسی‌های بصری و صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای تعیین و در نهایت با توجه به پارامترهای فوق مکان‌های پیشنهادی را اولویت‌بندی نموده‌است. سعادت (۹) شاخص‌های مکان یابی جهت احداث سدهای زیرزمینی را در استان اصفهان مورد بررسی

قرار داد و نتیجه گرفت که وجود یک سفره آبدار عمیق در دره‌ای با شیب مناسب و تنگه‌ای باریک در معبر خروجی، شرایطی ایده‌آل برای احداث سد زیرزمینی فراهم می‌آورد. وی بررسی شاخص‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، نیاز آبی، شرایط اقتصادی- اجتماعی و وضعیت زیست محیطی منطقه را جهت مکان‌یابی سدهای زیرزمینی ضروری دانست. امینی زاده و همکاران (۱) روش‌های پایش سدهای زیرزمینی را با مطالعه سد زیرزمینی راور کرمان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کیفیت اجرایی خوب سد تأثیر مثبت بر روی جریانات زیر بستری منطقه داشته‌است. چزگی و همکاران (۴) مکان‌یابی محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره با تاکید بر منابع آب (مطالعه موردی غرب استان تهران) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که معیار آب در مقایسه با دیگر معیارها در ارجحیت قرار دارد. زیرا بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است.

حاجی عزیز و همکاران (۵) به انتخاب مکان مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دو روش مکانی و غیرمکانی (مطالعه موردی: حوضه پیشکوه شهرستان تفت استان یزد) مبادرت ورزیدند و با تعریف ۵ سناریو به اولویت بندی این مکان‌ها پرداختند که در نهایت دریافتند به علت خاصیت مکانی برخی از معیارها، زیر معیارها و شاخص‌های ارزیابی نتایج حاصل از اولویت بندی در دو روش مکانی و غیرمکانی یکسان نمی باشد.

حیدری و شهریاری (۷) مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در حوضه رودخانه گرماب در استان گلستان را بررسی نمودند و با توجه به انباشتگی رسوب در طول رودخانه اصلی ۳ محل را جهت احداث سد زیرزمینی به ترتیب اولویت مشخص نمودند.

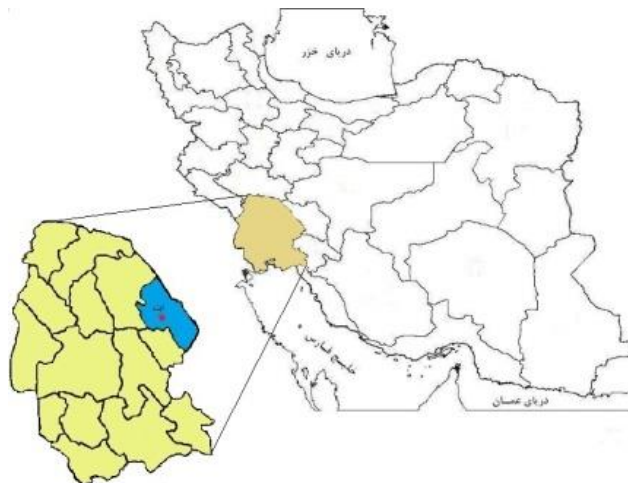
عیسوی و همکاران (۱۰) به مقایسه دو روش تصمیم‌گیری AHP و Fuzzy-AHP در مکان‌یابی اولیه سدهای زیرزمینی در منطقه طالقان پرداختند.

لذا نظر به نتایج متفاوت محققین که ناشی از موقعیت جغرافیایی متفاوت مناطق مورد مطالعه دارد بر آن شدیم تا در تحقیق حاضر به بررسی مکان یابی محل های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره AHP در منطقه اندیکا- خوزستان بپردازیم.

منطقه اندیکا در استان خوزستان در فاصله ۵۰ کیلومتری شهرستان مسجدسلیمان و ۲۰۰ کیلومتری شهرستان اهواز بین طول جغرافیائی ۴۹/۲ تا ۴۹/۶ درجه شرقی و عرض جغرافیائی ۳۲ تا ۳۲/۳ درجه شمالی واقع شده است (شکل ۱). منطقه اندیکا دارای مساحت ۳۹۲ کیلومترمربع و محیط ۹۲ کیلومتر و ارتفاع متوسط ۷۸۰ متر می باشد. این منطقه به لحاظ زمین شناسی در زون ساختار زاگرس چین خورده قرار گرفته و بخشی از حوضه آبریز رودخانه کارون در استان خوزستان است. حوضه آبریز منطقه در غرب سد شهید عباسپور و در مجاورت رودخانه کارون واقع شده است.

نتایج ایشان نشان داد که روش Fuzzy-AHP انعطاف پذیری بیشتر و قابلیت بالاتری در تعیین مناطق مناسب سد دارد.

حسن زاده نفوتی و همکاران (۶) به مطالعه مکان یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از ارزیابی چند معیاره مکانی (SMCE) (مطالعه موردی: حوضه آدوری شهرستان بزم) پرداختند. ایشان دریافتند که محل احداث سد زیرزمینی در منطقه آدوری بزم بهتر است در نقطه خروجی در محل اتصال کوهستان به دشت سر باشد زیرا بیشترین نیاز آب در این مناطق دیده شده است. همچنین به دلیل اینکه شیب یکی از فاکتورهای حذفی در محدودیت ها است در صورتی که نقشه های توپوگرافی منطقه مورد بررسی فاقد بعد ارتفاعی باشند بهتر است که از نهایت دقت در هنگام مشخص کردن ارتفاع منحنی های توپوگرافی استفاده شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیائی منطقه مورد مطالعه

شامل نقشه های زمین شناسی تهیه شده توسط شرکت ملی نفت، تصاویر ماهواره ای، نقشه ارتفاعی رقومی منطقه، اطلاعات هواشناسی و نقشه های با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور می باشد. جهت تشکیل لایه های

### روش انجام کار

برای شروع هر پروژه مکان یابی به مجموعه ای از داده ها و اطلاعات اولیه نیاز است که با داشتن تک تک آنها می توان به یک نتیجه واحد که همان هدف پروژه و تعیین بهترین مکان است رسید. این داده ها

شده توسط سازمان نقشه برداری ایران به ArcGis انتقال داده شد (شکل ۳).

**حریم گسل :** گسل‌ها نیز یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار روی انتخاب مکان سدها می‌باشند و در صورت وجود در پی و تکیه‌گاه سد هم سبب ناپایداری سازه می‌شوند و هم سبب فرار آب از مخزن می‌شوند. نقشه گسل‌ها با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ رقومی و با کمک تصاویر ماهواره‌ای کنترل و تهیه گردید (شکل ۴).

**حریم جاده :** به منظور حفاظت از مخازن سد و همچنین حالت آب‌گرفتگی که ممکن است در روی مخزن سد زیرزمینی در پی بارندگی‌های شدید و سیلاب‌ها ایجاد شود. بهتر است که حداقل فاصله‌ای بین محل احداث این سازه‌ها و جاده‌های موجود در محدوده مورد مطالعه در نظر گرفت. همچنین خطر آلودگی که ممکن است جاده‌ها برای این گونه مخازن ایجاد کنند مانند ریختن مواد شیمیایی و نفتی و روغن خودروها و انتقال این مواد به داخل مخزن مزید بر علت می‌باشد (شکل ۵).

**حریم روستا :** جهت جلوگیری از آلودگی مخزن به دلیل فعالیت‌های روستاییان، فاضلاب‌ها و زباله‌های روستایی و همچنین جلوگیری از آسیب‌های فیزیکی احتمالی به مخزن لازم است که حداقل فاصله‌ای از روستاها برای محل احداث سد زیرزمینی در نظر گرفته شود. (شکل ۶)

### عوامل نسبی

**نفوذپذیری :** وجود یک پی سنگ متراکم و غیرقابل نفوذ از شرایط اساسی برای احداث سد زیرزمینی است (شکل ۷).

**هدایت هیدرولیکی ، آبدهی ویژه:** در آبراهه‌های منطقه اندیکا ضمن اینکه از سراب به سمت پایین دست شیب توپوگرافی و به تبع آن توان هیدرولیکی آبراهه کاهش می‌یابد، به طور کلی

اطلاعاتی داده‌های مورد نیاز با فرمت مناسب وارد نرم افزار ArcGIS شده و پایگاه اطلاعات در محیط نرم افزار تشکیل گردید. پس از ورود اطلاعات و انجام عملیات مربوطه داده‌ها در لایه‌های جداگانه دسته‌بندی و ذخیره گردیده‌اند تا متناسب با نیاز واحدهای مختلف مورد استفاده قرار گیرند. لایه‌های مذکور دارای ویژگی‌های ایده‌آلی هستند که در صورت فراهم نبودن آن‌ها مکان معرفی شده جهت احداث سد زیرزمینی مناسب نمی‌باشد.

### عوامل مطلق

عواملی هستند که وجود یا نبود آن‌ها به طور مطلق در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. از جمله این عوامل می‌توان موارد زیر را در نظر گرفت:

**توپوگرافی :** یکی از پارامترهای مهم برای ساختن سد زیرزمینی با حجم مخزن مناسب، شرایط مناسب توپوگرافی است. به منظور دریافت هرچه دقیق‌تر و بهتر از شرایط توپوگرافی و تهیه لایه شیب منطقه پس از مشخص نمودن مرز محدوده و تغییرات ارتفاعی، از لایه مدل رقومی ارتفاعی یا DEM منطقه استفاده گردید. با توجه به بررسی‌های انجام شده حداکثر شیب جهت احداث سدهای زیرزمینی کمتر از ۱۰ درصد است. به این منظور نقشه طبقات ارتفاعی در نرم افزار ArcGIS فراخوانی گردید و با تعیین مقادیر خواسته شده نقشه خام شیب تهیه شد. بر اساس نقشه، حداقل شیب در منطقه اندیکا از کمتر از ۲ تا حداکثر ۷۰ درجه متغیر می‌باشد. مناطقی دارای شیب کمتر از ۱۰ درصد با رنگ آبی در تصویر مشخص گردیده‌اند، شیب بستر آبراهه‌ها نیز باید کمتر از ۵ درصد باشد تا بتوان انتظار تشکیل مخازن آب زیرزمینی با حجم مناسب را داشت (شکل ۲).

**آبراهه :** در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی مقدار رواناب یکی از پارامترهای مهم می‌باشد که رابطه مستقیمی با رده آبراهه دارد. لایه مذکور از طریق فایل‌های تهیه شده از نقشه‌های DGN با مقیاس تهیه

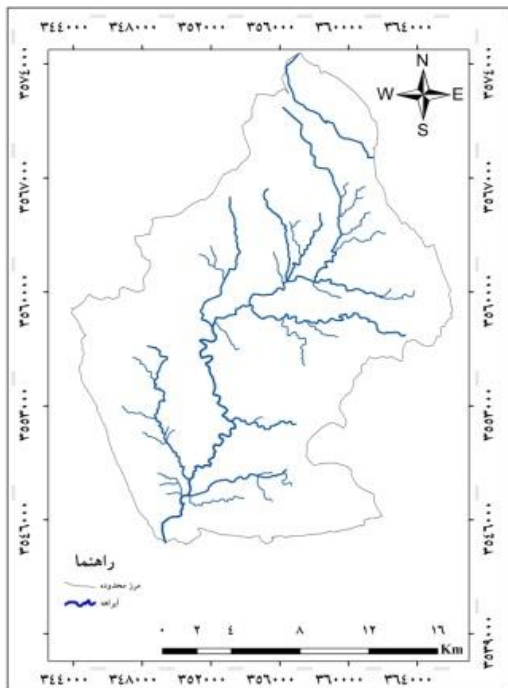
شده به محل مصرف از لحاظ راندمان آب و ملاحظات اقتصادی بسیار حائز اهمیت است (شکل ۱۰).

**دسترسی به محل سد:** دسترسی آسان به محل احداث سد می‌تواند در هزینه‌های تمام شده پروژه به میزان زیادی تأثیرگذار باشد. بنابراین پارامتر مذکور به عنوان یکی از عوامل اقتصادی موثر بر پروژه احداث سد زیرزمینی لازم است که مورد توجه قرار گیرد، هرچند که این پارامتر نسبت به پارامتر فاصله از محل مصرف دارای اهمیت نسبی کمتری می‌باشد (شکل ۱۱).

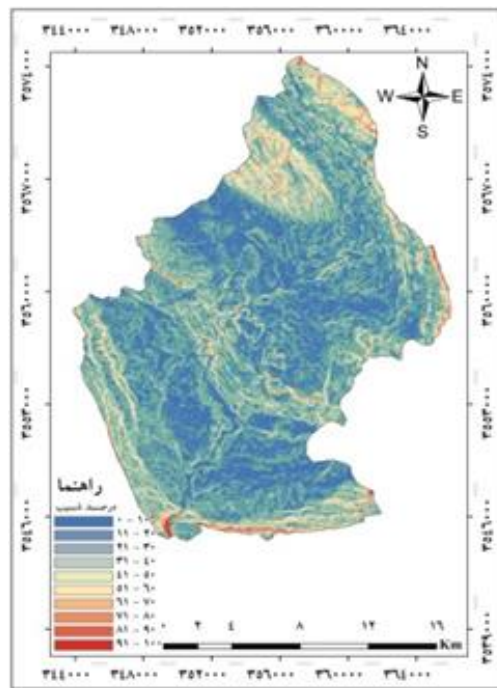
اشکال ذیل کلیه لایه‌های موجود که به نرم افزار ArcGIS انتقال داده شده است را نشان می‌دهد.

سازندهای زمین‌شناسی که رودخانه از آن‌ها عبور می‌نماید در مسیر جریان دانه ریزتر گردیده و مواد ریزدانه بیشتری را به مسیر آبراهه وارد می‌نماید. با در نظر گرفتن این موارد و با استفاده از ترکیب لایه شیب و لایه زمین‌شناسی، لایه‌های هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه با نظر کارشناسی در محیط نرم افزار ArcGIS10 تهیه گردید. (شکل ۸)، (شکل ۹).

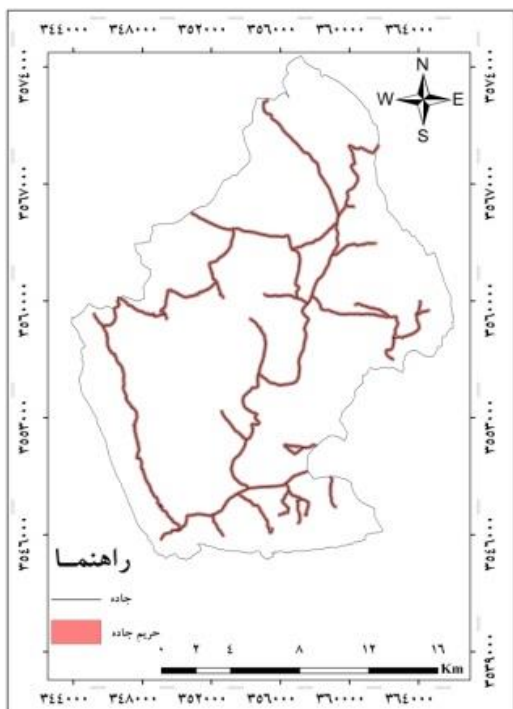
**فاصله از محل مصرف:** از فاکتورهای مهم و اساسی احداث سد زیرزمینی تعیین فاصله سد از محل مصرف می‌باشد. بسته به هدف از احداث سد زیرزمینی ممکن است آب ذخیره شده در مخزن سد جهت شرب انسان، دام، آبیاری اراضی زراعی و باغات و ... مورد استفاده قرار گیرد. به همین دلیل نزدیکی آب ذخیره



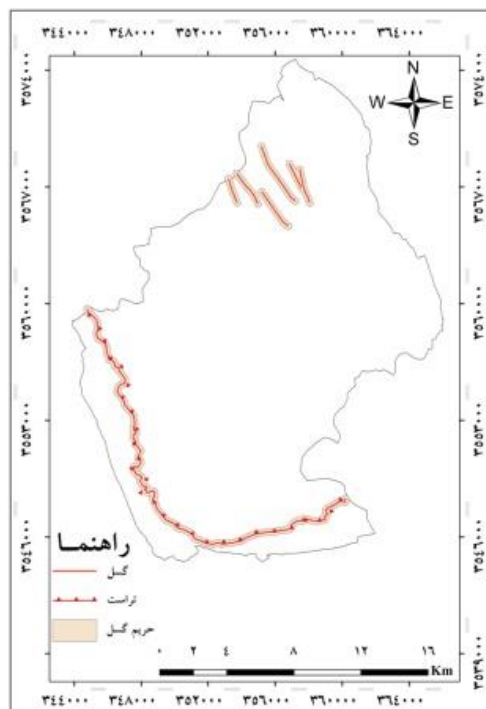
شکل ۳- آبراهه های منطقه مورد مطالعه



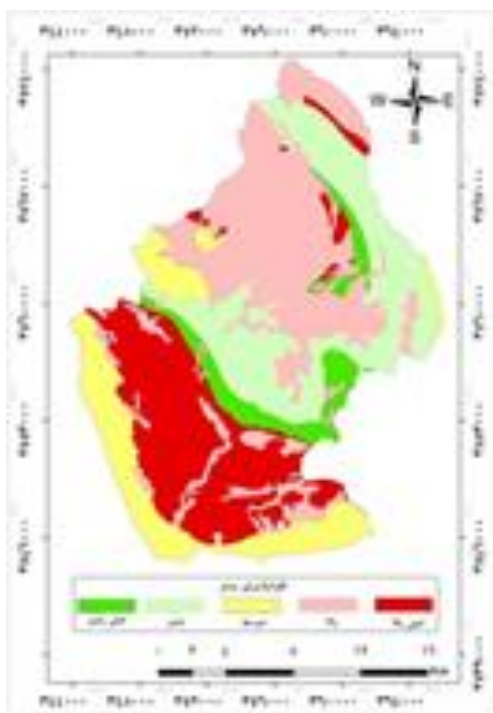
شکل ۲- توپوگرافی منطقه مورد مطالعه



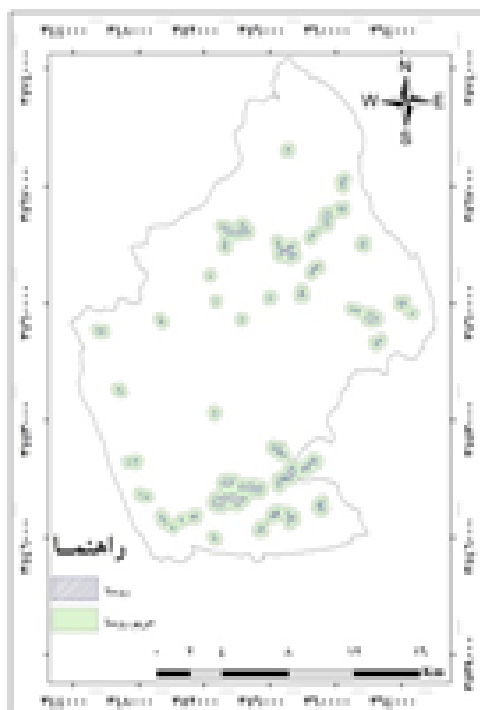
شکل ۵- حريم جاده در منطقه مورد مطالعه



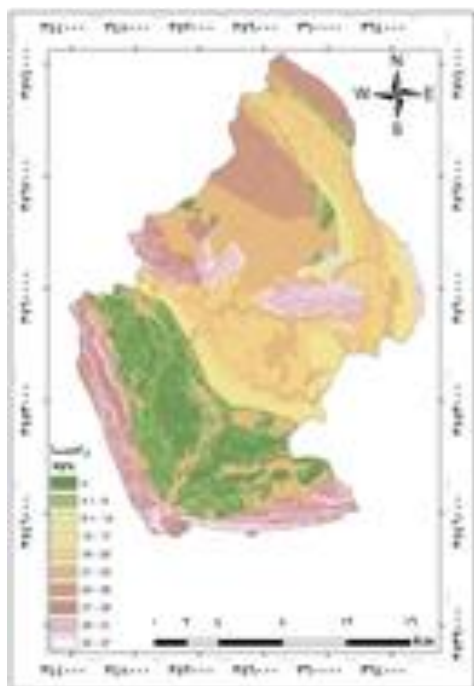
شکل ۴- حريم کسل در منطقه مورد مطالعه



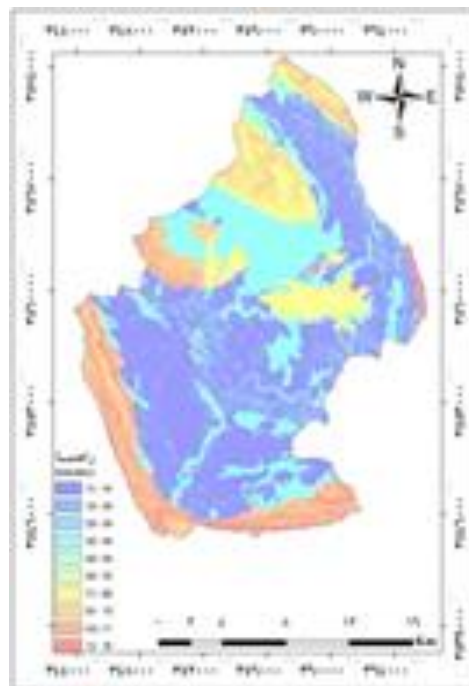
شکل ۷- نفوذ پذیری در منطقه مورد مطالعه



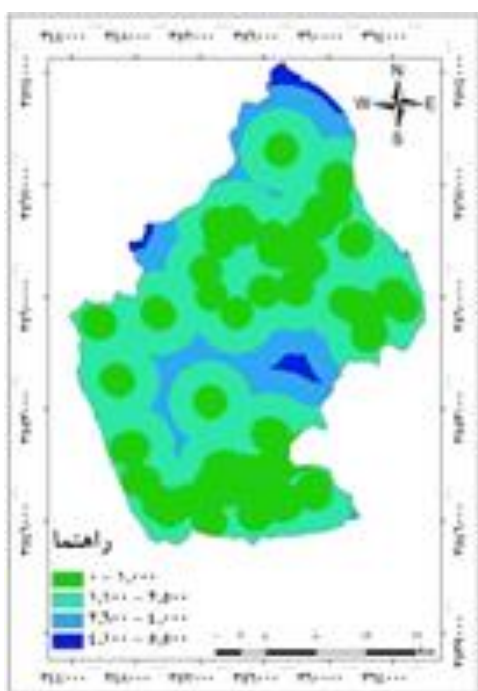
شکل ۶- حريم روستا در منطقه مورد مطالعه



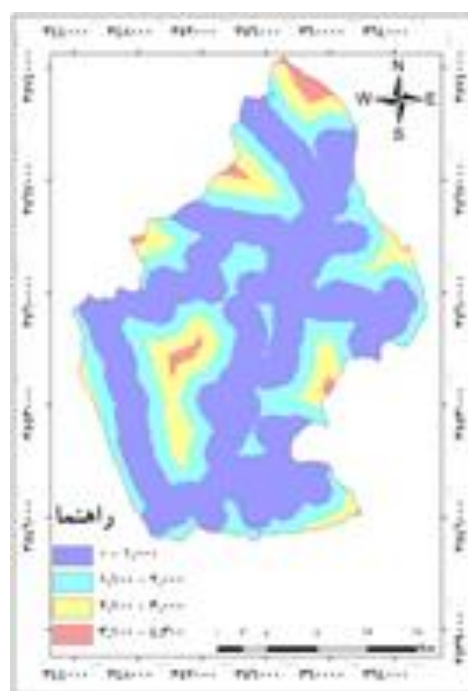
شکل ۹- آبدهی ویژه در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸- هدایت هیدرولیکی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۱- دسترسی به محل سد



شکل ۱۰- فاصله از محل مصرف

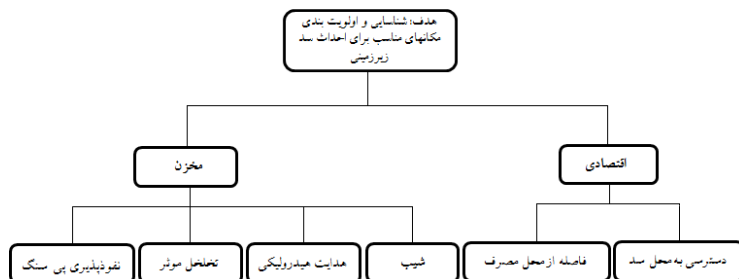
process به معنی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است. این روش بر مبنای سه اصل تجزیه، مقایسه دودویی یا جفتی، جمع بندی و اولویت بندی گزینه‌ها استوار

تلفیق لایه های اطلاعاتی: در این بخش برای ترکیب لایه ها از منطق AHP استفاده گردید. واژه AHP مخفف عبارت Analytical Hierarchy



معیارهای اصلی و خود آنها نیز به معیارهای فرعی تقسیم می گردند. شکل ۱۲ ساختار درخت تصمیم گیری AHP مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

می باشد (۸). گام نخست در شروع چنین فرآیندی ایجاد یک درخت تصمیم گیری است بدین صورت که با توجه به ماهیت کاری که باید انجام گردد، شاخه اصلی را در نظر می گیریم. سپس موضوع اصلی به



شکل ۱۲- ساختار درخت تصمیم گیری AHP مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

شاخه های اصلی درخت تصمیم گیری نیز دو به دو با هم مقایسه شده است. این قیاس ها در مرحله اول به شکل توصیفی و در مرحله دوم به شکل عددی و در یک مقیاس از ۱ تا ۹ انجام می شود. جدول ۱ ارزش معیارها نسبت به یکدیگر را با استفاده از نظر کارشناسی نشان می دهد (۱۳).

در مرحله بعد لایه های تهیه شده بر مبنای دانش کارشناس، نظر افراد تصمیم گیرنده رده بندی و وزن های موجود در شاخص ها تعیین گردیده است. سپس رده های مختلف به صورت دودویی در قالب یک ماتریس نسبت به یکدیگر سنجیده شده اند. در نهایت هر جفت از معیارهای اصلی دخیل در تصمیم گیری

جدول ۱- تعیین ارزش معیارها نسبت به یکدیگر با استفاده از نظرهای کارشناسی (ساتی، ۱۹۸۰)

ارزش عددی معادل ارزش نظری	ارزش نظری بر مبنای مقایسه دو معیار
۱	دارای ارزش یکسان و برابر
۳	ارزش یکی نسبت به دیگری کمی بیشتر است
۵	ارزش یکی نسبت به دیگری بیشتر است
۷	ارزش یکی نسبت به دیگری مسلماً بیشتر است
۹	ارزش یکی نسبت به دیگری مطلقاً بیشتر است
۲،۴،۶،۸	ارزش های بینابین

## نتایج و بحث

نفوذپذیری و تخلخل موثر) می باشد و برای معیار اقتصادی شامل (دسترسی به محل سد و فاصله از محل مصرف) است حال طبق منطق AHP این زیر معیارها در قالب یک ماتریس دو به دو با هم مقایسه می شوند. جداول ۲ و ۳ مقایسه دودویی هر یک از زیر پارامترهای مخزن و اقتصادی را نشان می دهد.

در منطقه اندیکا جهت احداث سد زیر زمینی ۲ معیار اصلی مانند شکل ۱۲ در نظر گرفته شد. این معیارها شامل معیار مخزن و معیار اقتصادی نام گرفتند. این دو معیار به دو زیر معیارهایی تقسیم گردیده که برای معیار مخزن شامل (شیب، هدایت هیدرولیکی،



**جدول ۲- جدول ماتریسی معیار مخزن در مکان یابی سد زیرزمینی در منطقه اندیکا**

معیارهای فرعی	شیب	نفوذپذیری	تخلخل موثر	هدایت هیدرولیکی	اهمیت نسبی
شیب	۱	۲	۳	۹	۰/۴۸
نفوذپذیری	۱/۲	۱	۳	۷	۰/۳۲
تخلخل موثر	۱/۳	۱/۳	۱	۵	۰/۱۶
هدایت هیدرولیکی	۱/۹	۱/۷	۱/۵	۱	۰/۰۴

**جدول ۳- جدول ماتریسی معیار اقتصادی در مکان یابی سد زیرزمینی در منطقه اندیکا**

معیارهای فرعی	فاصله از محل مصرف	دسترسی به محل سد	اهمیت نسبی
فاصله از محل مصرف	۱	۵	۰/۸۳
دسترسی به محل سد	۱/۵	۱	۰/۱۷

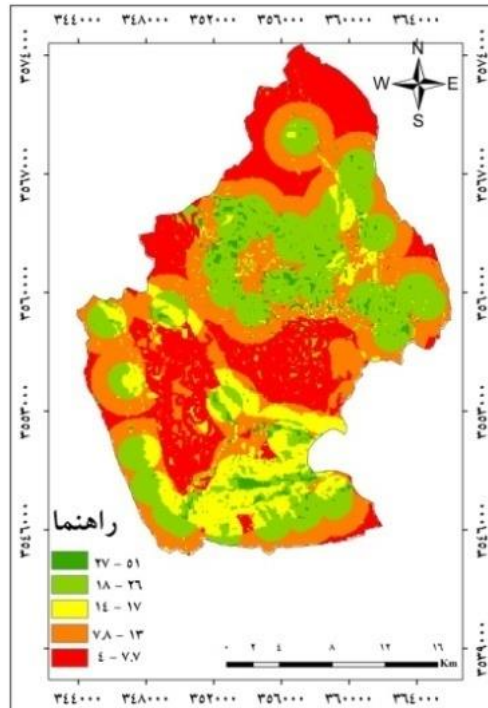
از معیارهای اصلی، می‌توان گزینه‌های متفاوتی را جهت اولویت بندی هر معیار در نظر گرفت. در نظر گرفتن ارزش و وزن برابر برای معیارهای اصلی از جمله گزینه‌هایی است که تصمیم گیرندگان می‌توانند در اولویت بندی محل‌ها از آن استفاده نمایند، اما با توجه به نیاز آبی زیاد و بحرانی در منطقه اندیکا و هزینه‌های کلی پایین سد زیرزمینی در این مطالعه وزن بیشتری برای معیار مخزن نسبت به معیار اقتصادی در نظر گرفته شده است. جدول ۴ این مقایسه را نشان می‌دهد.

برای مقایسه اهمیت نسبی هر یک از زیرمعیارها یا به طریق محاسبه دستی و یا به طریق نرم افزار Expert choice مقادیر محاسبه شده و سپس در قسمت اهمیت نسبی در جداول ۲ و ۳ قرار می‌گیرند. پس از قرارگیری مقادیر اهمیت نسبی در جای خود اینک نوبت به مقایسه ارزش نسبی دو معیار اصلی مخزن و اقتصادی است. در واقع با توجه به تأثیر زیاد وزن و اهمیت نسبی معیارهای اصلی (مخزن و اقتصادی) در مقدار نهایی هر معیار و همچنین تفاوت دیدگاه‌های موجود در ارتباط با وزن و ارزش هر کدام

**جدول ۴- جدول ماتریسی معیارهای اصلی در مکان یابی سد زیرزمینی در منطقه اندیکا**

معیارهای اصلی	مخزن	اقتصادی	اهمیت نسبی
مخزن	۱	۳	۰/۷۵
اقتصادی	۱/۳	۱	۰/۲۵

با اعمال وزن های بدست آمده در نرم افزار ARC GIS نقشه اولویت مکانی سد زیرزمینی در منطقه اندیکا بدست آمد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- نقشه اولویت مکانی سد زیرزمینی در منطقه اندیکا

ارتباط با این سازند می باشند. رسوبات کف کانال از مواد درشت (گراول تا ماسه) بوده و در میان آن ها ذرات دانه ریز نیز دیده می شود. سطح تماس این رسوبات با سنگ کف و رسوبات و سازندهای مجاور به صورت تخریبی می باشد. به طور کلی و از لحاظ هیدروژئولوژی رسوبات کف آبراهه های منطقه مورد مطالعه دارای هدایت هیدرولیکی و ذخیره ویژه خوبی هستند. ذخایر رسوبی در طول آبراهه ها در نقاطی مشاهده گردید که عرض و عمق رسوبات بیشتر و شیب کمتر است. متوسط بارش سالانه در منطقه ۵۵۶ میلی متر محاسبه گردید. با توجه به این مقدار متوسط، می توان نتیجه گیری کرد که منطقه مورد مطالعه از نظر بارش، منطقه ای نیمه خشک است. معادله بارش- ارتفاع منطقه نیز به صورت زیر بدست آمد:

$$P=0.1437H+489.41 \quad (1)$$

ضریب خشکی منطقه ۱۱/۹ محاسبه گردیده که رقم ارائه شده در طبقه بندی دومارتن معرف اقلیم نیمه خشک می باشد.

نتایج نشان می دهد محدوده مورد مطالعه در اکثر نقاط با توپوگرافی نسبتاً هموار و شیب کم و با طول متوسطی در حدود ۲۵ کیلومتر و عرض متوسط ۱۵ کیلومتر می باشد. شیب توپوگرافی در منطقه اندیکا از کمتر از ۲ تا حداکثر ۷۰ درجه متغیر می باشد. بنابراین در قسمت عمده ای از منطقه شیب آبراهه ها برای اهداف این بررسی مناسب می باشد. جنس لایه های زمین شناسی منطقه اساساً از گچ، مارن، ماسه سنگ و کربنات ها است. هرچند که سازند گچساران در محدوده اندیکا دارای اهمیت فراوانی به لحاظ ذخایر آب زیرزمینی به حساب نمی آید ولی با این حال اثرات تخریبی آن بر منابع آب سطحی مشخص است. سیماهای کارستی از قبیل کارن، دره های خشک، تنگ، غار، آبروچاله، شکاف های انحلالی و شافت ها و غیره در سازندهای آهکی و گچی محدوده اندیکا قابل مشاهده می باشند. به دلیل موادی با نفوذپذیری پایین، مخزن آب زیرزمینی قابل توجهی در منطقه تشکیل نشده است. با وجود ضخامت کم سازند بختیاری چشمه های متعدد با آبدهی و کیفیت بسیار مطلوب در

زیرزمینی است که مسئله را از ابعاد مختلف بررسی می‌نماید. در اکثر مطالعات مشابه، عملکرد این سیستم مورد تأیید بوده است.

۴- در مکان‌یابی مناطق مناسب به منظور احداث سد زیرزمینی در این مطالعه معیارهای اصلی درخت تصمیم‌گیری شامل معیارهای مخزن و اقتصادی است. برای مخزن چهار معیار فرعی (زیر معیار) شیب، هدایت هیدرولیکی، تخلخل موثر و نفوذپذیری پی‌سنگ و برای عوامل اقتصادی شامل دسترسی به محل سد و فاصله سد از محل مصرف در نظر گرفته شده است. اما با توجه به نیاز آبی زیاد و بحرانی در منطقه اندیکا و هزینه‌های کلی پایین سد زیرزمینی در این مطالعه وزن بیشتری برای معیار مخزن نسبت به معیار اقتصادی در نظر گرفته شده است.

۵- بعضی از محل‌ها یا توسط عوامل مطلق حذف شده‌اند و یا در اولویت بندی در رده نامناسب قرار گرفته‌اند. مکان‌های نامناسب حذف گردیده با عوامل مطلق عبارتند از حریم جاده، حریم روستا و شیب‌های بزرگ‌تر از ۵ درصد.

۶- برای تعیین محل دقیق محور سد در یک نقطه از مسیر آبراهه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر گوگل ارث ابتدا ۲۷ مکان تشخیص داده شد. در واقع مناطقی که دارای بیشترین تجمع و انباشتگی رسوب در مسیر آبراهه‌های منطقه می‌باشند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به عنوان گزینه‌های پیشنهادی اولیه مورد توجه قرار گرفته‌اند. سپس با توجه به موقعیت مکان‌های انتخابی بر روی نقشه اولویت‌های مکانی ۱۵ محل برای اولویت معرفی گردید.

۷- بررسی و مقایسه میزان آب ذخیره شده در مخازن نشان داد که حداکثر میزان ذخیره به مقدار ۲۳۷۶۰ متر مکعب و حداقل آن به مقدار ۶۷۲ متر مکعب به ازای هر ۱۰۰ متر طول مخزن سد می‌باشد.

۸- مطالعه سدهای زیرزمینی و مزایا و معایب آن به خصوص در برابر مخازن سطحی نشان می‌دهد که

با توجه به بارندگی منطقه و نفوذپذیری سازندها، آبراهه‌های رده ۳ به بالا قابلیت تأمین آب مورد نیاز جهت ذخیره در سد زیرزمینی را دارا می‌باشند.

## نتیجه گیری

۱- مهم‌ترین پی‌سنگ‌های آبرفتی منطقه به ترتیب فراوانی شامل ژئیس (گچ)، مارن، ماسه سنگ، کنگلومرای آهکی و آهک می‌باشند. لایه‌های ژئوسی و مارنی که وسعت زیادی از منطقه را می‌پوشاند، به خودی خود نفوذپذیری بالایی ندارد اما به دلیل انحلال پذیری زیاد ژئیس و ایجاد درز و شکاف‌ها و حفرات انحلالی این لایه‌ها قابلیت نگهداری آب را نداشته و قابلیت تشکیل پی‌سنگ و دیواره آب بند سد را دارا نمی‌باشند.

۲- قابلیت بالای GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) آنالیز داده‌های مکانی به ویژه در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی کمک بسزایی در انتخاب بهترین مکان جهت احداث سد زیرزمینی می‌باشد. در این تحقیق پس از بررسی پیشینه تحقیق و اصلاح برخی اطلاعات پایه با استفاده از تکنیک‌های GIS محل‌های مناسب برای این سازه مشخص شد.

۳- از آنجا که معیارها و عوامل زیادی شامل معیارهای فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی دخیل می‌باشند و همچنین میزان اهمیت آن‌ها با هم متفاوت است. بررسی و تعیین این عوامل با استفاده از روش‌های سنتی بسیار پرهزینه بوده و نیاز به صرف وقت بسیار دارد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. لذا با استفاده از همگام سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند آنالیز سلسله مراتبی (AHP) نقش هر یک از عوامل مذکور با توجه به میزان تأثیر گذاری آن‌ها در انتخاب محل‌های مناسب سد بررسی و اعمال گردیده و نتایج مورد نظر بدست آمد. روش آنالیز چند معیاری یک سیستم کار آمد در زمینه تصمیم‌گیری در انتخاب محل سد

با توجه به مزایای زیاد و معایب کم و قابل اغماض آن، همچنین با توجه به هزینه کم احداث آن می‌توان به این نتیجه رسید که احداث سد زیرزمینی در مدیریت جامع آبخیز می‌تواند جایگزین روش‌های قدیمی، هزینه‌بر و وقت‌گیر شود.

## منابع

۱. امینی زاده، م.، غ. لشکری پور و م. غفوری. ۱۳۸۹. متدولوژی پایش سدهای زیرزمینی، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱ (۲): ۴۳-۵۷.
۲. بابایی، ع.ا. ۱۳۸۰. نگرشی راهبردی بر مقوله آب. فصلنامه شرکت مهتاب قدس، (۱۵): ۲-۴.
۳. بهرنگی، ع. ۱۳۸۰. سدهای زیرزمینی راهی به سوی توسعه منابع آب زیرزمینی و مقابله با بحران آب، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل.
۴. چزگی، ج.، ح. مرادی و م. خیرخواه. ۱۳۸۹. مکانیابی محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره با تاکید بر منابع آب (مطالعه موردی غرب استان تهران). نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۴ (۱۳): ۶۸-۶۵.
۵. حاجی عزیز، ش.، م. خیرخواه زرکش و ا. شریفی. ۱۳۹۰. انتخاب مکان مناسب احداث سد زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دو روش مکانی و غیرمکانی (مطالعه موردی: حوضه پیشکوه شهرستان تفت استان یزد). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۲ (۲): ۳۸-۲۷.
۶. حسن زاده نفوتی، م.، ع.ا. جمالی و ا. فلاح. ۱۳۹۵. مکان‌یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از ارزیابی چند معیاره مکانی (SMCE) (مطالعه موردی: حوضه آدوری شهرستان بم). نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۰ (۳۲): ۶۹-۷۷.
۷. حیدری، ح. و س. شهریاری. ۱۳۹۰. مکان‌یابی سد زیر زمینی درحوضه رودخانه گرماب «ایستگاه تحقیقات گلستان». فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۵ (۱۰۰): ۱۴۸-۱۳۱.
۸. خیرخواه زرکش، م.، ح. ناصری، م. داوودی و ه. سلامی. ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه های کرکس - نطنز. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، (۷۹): ۱۰۱-۹۳.
۹. سعادت، م. ۱۳۸۱. تعیین شاخص‌های مکان‌یابی جهت ایجاد سد زیرزمینی و شبیه‌سازی مدل ریاضی جریان در سد زیرزمینی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشکده عمران، ۹۳ صفحه.
۱۰. عیسوی، و.، ج. کرمی، ع. علیمحمدی و س.ع. نیک نژاد. ۱۳۹۱. مقایسه دو روش تصمیم‌گیری AHP و Fuzzy-AHP در مکان‌یابی اولیه سدهای زیرزمینی در منطقه طالقان. نشریه علوم زمین، ۲۲ (۸۵): ۳۴-۲۷.
۱۱. هاشمی، ز. ۱۳۸۱. بررسی نهشته‌های کواترنری شمال حوضه آبریز کویر حاج علیقلی به منظور تعیین مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیر زمینی، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال.
12. Onder H, yilmaz M. 2005. Underground Dams, A Tools of Sustainable Development and Management of Groundwater Resources. European Water 11(12): 35-45.
13. Saaty T. 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill.
14. Vanrompay L. 2003. Report on The Technical Evaluation & Impact Assessment of Subsurface Dams (SSDs), TLDP technical report, pp. 14.