مکان یابی محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش AHP تصمیم گیری چند معیاره (مطالعه موردی ناحیه اندیکا- خوزستان)

فرید درفشان[1]، محمد حیدرنژاد[2]، امین بردبار[3] و حسن دانشیان[4]

۱- گروه سازه های آبی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان ، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- گروه سازه های آبی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳- گروه سازه های آبی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۴- کارشناسی ارشد آب های زیرزمینی سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲ /۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۴

چکیده

به منظور، توسعه و بهره برداری بهینه و نیز ذخیره کردن آب در زیرزمین، استفاده از سدهای زیرزمینی می‌تواند 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 ، سدزیرزمینی ، تصمیم گیری چندمعیاره، GIS***

مقدمه

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

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 چاه های 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 سدزیرزمینی 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. سعادتی (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 محل های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم گیری 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 عزیزی و همکاران (۵) به انتخاب مکان مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دو روش مکانی و غیرمکانی (مطالعهٔ موردی :حوضهٔ 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.

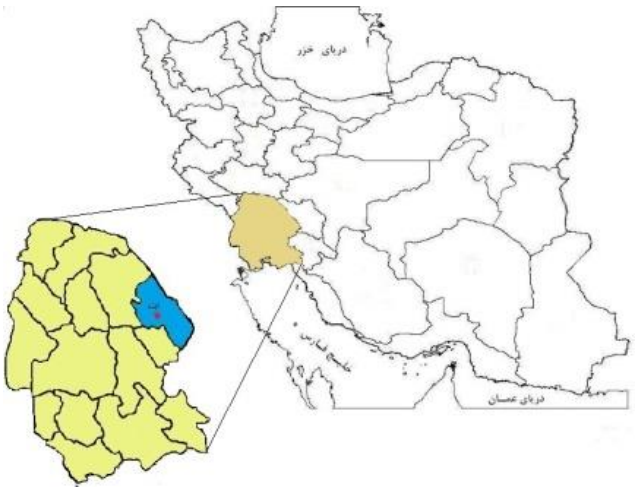
عیسوی و همکاران (۱۰) به مقایسه دو روش تصمیم گیریAHP و Fuzzy-AHP در مکانیابی اولیه سدهای زیرزمینی در منطقه طالقان پرداختند.

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 مکان‌یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از ارزیابی چند معیاره مکانی(SMCE)(مطالعه موردی :حوضه آدوری شهرستان بم) پرداختند. ایشان دریافتند که محل احداث سد زیرزمینی در منطقه آدوری بم 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.

لذا نظر به نتایج متفاوت محققین که ناشی از موقعیت جغرافیایی متفاوت مناطق مورد مطالعه دارد برآن شدیم تا در تحقیق حاضر به بررسی مکان یابی محل های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیارهAHP 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.



شکل ۱- موقعیت جغرافیائی منطقه مورد مطالعه

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 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

اطلاعاتی داده های 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 داده ها 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 دقیق تر 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 مکان یابی 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 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 ۱/۱۰۰۰۰۰ 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).

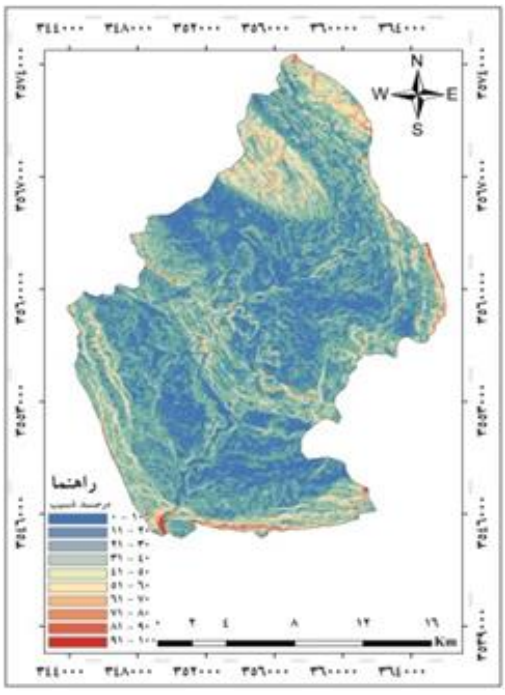
هدایت هیدرولیکی ، آبدهی ویژه: در آبراهه‌های منطقه اندیکا ضمن اینکه از سراب به سمت پایین دست شیب توپوگرافی و به تبع آن توان هیدرولیکی آبراهه کاهش می‌یابد، به طور کلی

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).

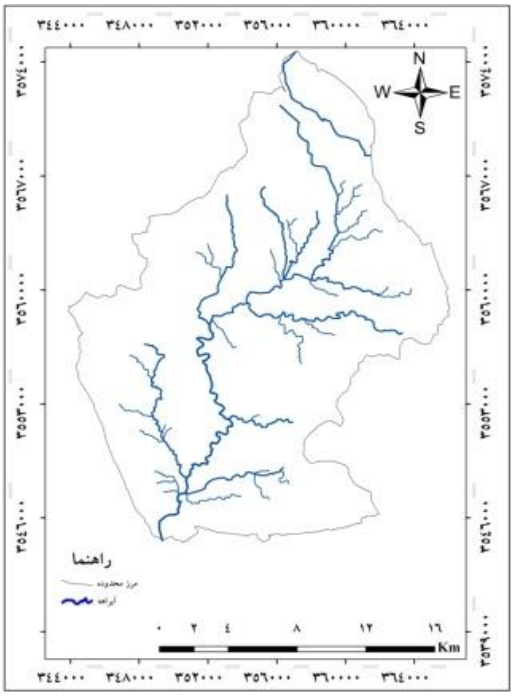
فاصله از محل مصرف: از فاکتورهای مهم و اساسی احداث سد زیرزمینی تعیین فاصله سد از محل مصرف می‌باشد. بسته به هدف از احداث سد زیرزمینی ممکن است آب ذخیره شده در مخزن سد جهت شرب انسان، دام، آبیاری اراضی زراعی و باغات و ... مورد استفاده قرار گیرد. به همین دلیل نزدیکی آب ذخیره شده به محل مصرف از لحاظ راندمان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

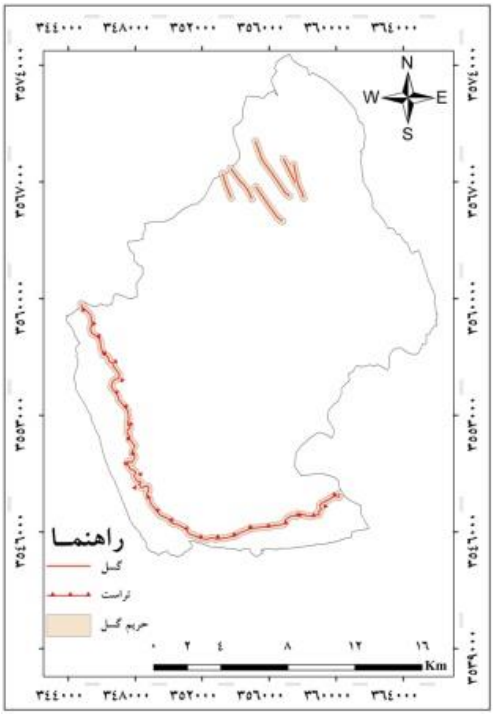
اشکال ذیل کلیه لایه های موجود که به نرم افزار ArcGIS انتقال داده شده است را نشان می‌دهد.



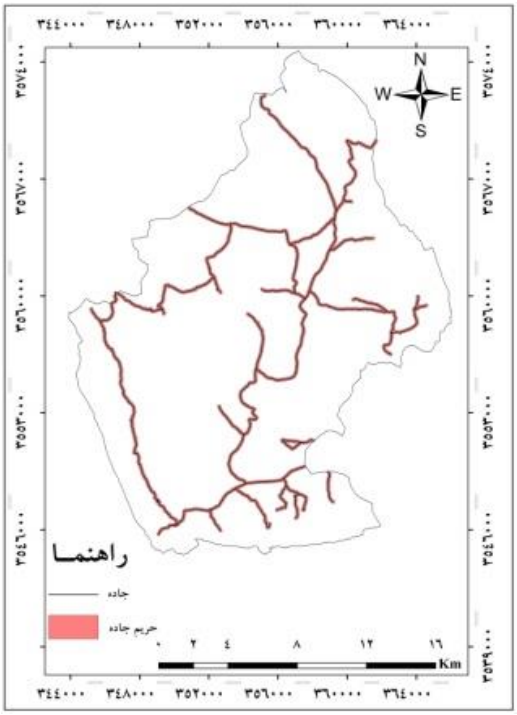
شکل ۲- توپوگرافی منطقه مورد مطالعه



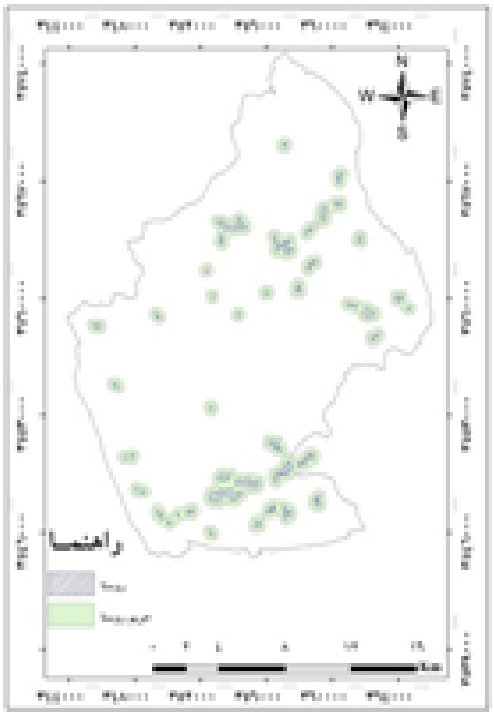
شکل۳- آبراهه های منطقه مورد مطالعه



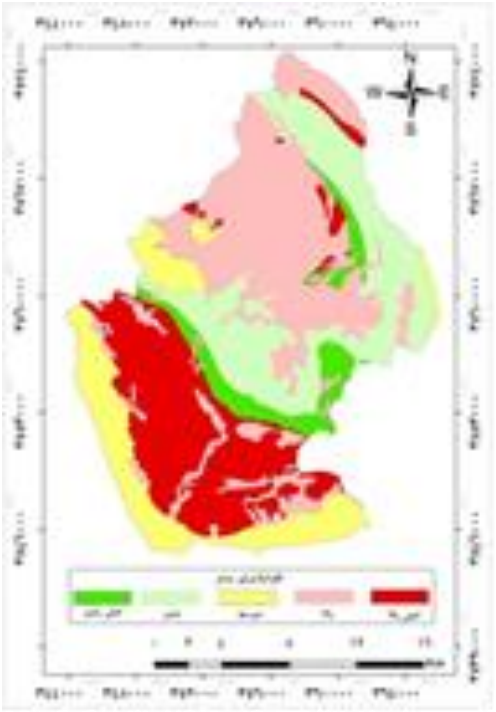
شکل٤- حریم گسل در منطقه مورد مطالعه



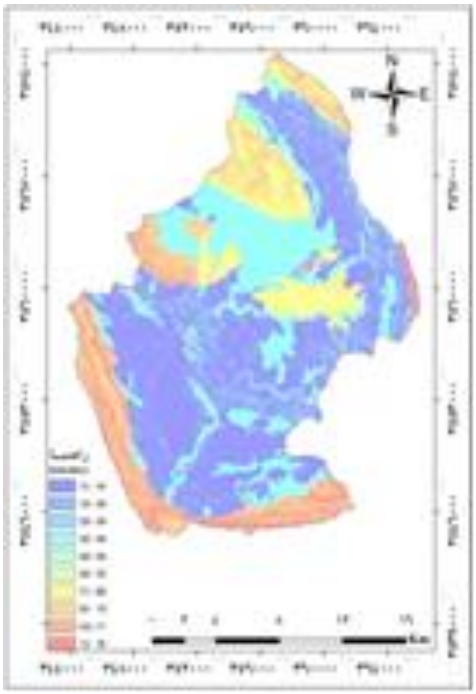
شکل٥- حریم جاده در منطقه مورد مطالعه



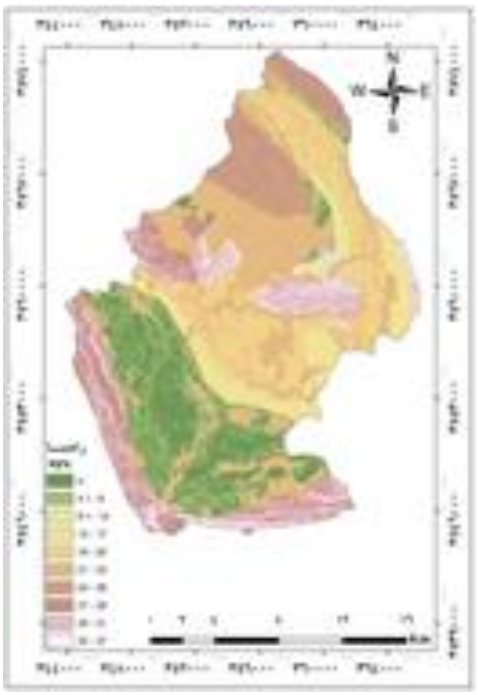
شکل٦- حریم روستا در منطقه مورد مطالعه



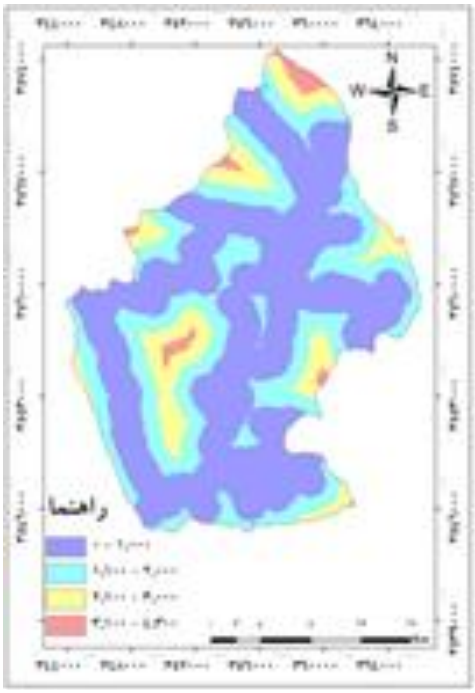
شکل٧- نفوذپذیری در منطقه مورد مطالعه



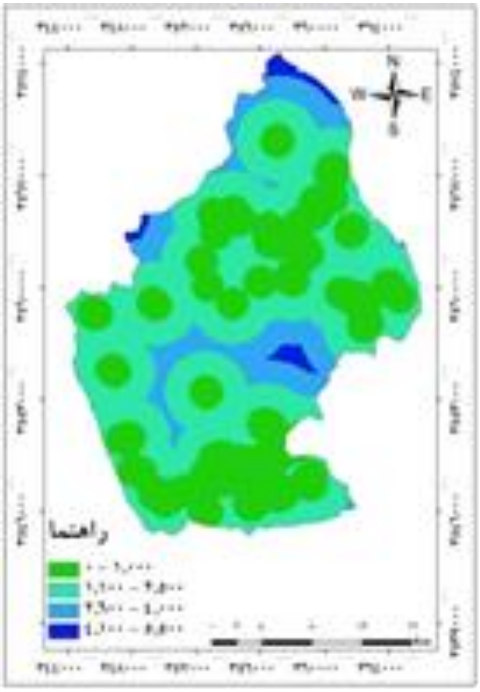
شکل۸- هدایت هیدرولیکی در منطقه مورد مطالعه



شکل۹- آبدهی ویژه در منطقه مورد مطالعه



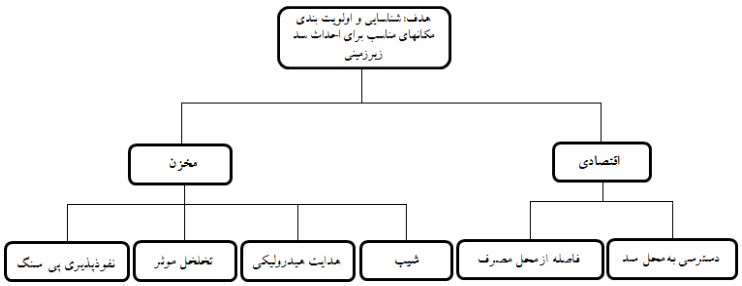
شکل۱۰- فاصله از محل مصرف



شکل۱۱-دسترسی به محل سد

تلفیق لایه های اطلاعاتی: در این بخش برای ترکیب لایه ها از منطق AHP استفاده گردید. واژه AHP مخفف عبارت Analytical Hierarchy process به معنی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است. این روش بر مبنای سه اصل تجزیه، مقایسه دودوئی یا جفتی، جمع بندی و اولویت بندی گزینه‌ها استوار

می‌باشد (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 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 می‌دهد.



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

در مرحله بعد لایه‌های تهیه شده بر مبنای دانش کارشناس، نظر افراد تصمیم گیرنده رده بندی و وزن‌های موجود در شاخص‌ها تعیین گردیده است. سپس رده‌های مختلف به صورت دودوئی در قالب یک ماتریس نسبت به یکدیگر سنجیده شده‌اند. در نهایت هر جفت از معیارهای اصلی دخیل در تصمیم‌گیری شاخه‌های اصلی درخت تصمیم‌گیری نیز دو به دو با هم مقایسه شده‌است. این قیاس‌ها در مرحله اول به شکل توصیفی و در مرحله دوم به شکل عددی و در یک مقیاس از ۱ تا ۹ انجام می‌شود. جدول ۱ ارزش معیارها نسبت به یکدیگر را با استفاده از نظر کارشناسی نشان می‌دهد (۱۳) .

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

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

نتایج و بحث

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 معیارهائی تقسیم گردیده که برای معیار مخزن شامل (شیب ، هدایت هیدرولیکی ، نفوذپذیری و تخلخل موثر) می‌باشد 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 دودوئی هر یک از زیر پارامترهای مخزن و اقتصادی را نشان می دهد.

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 سدزیرزمینی در منطقه اندیکا

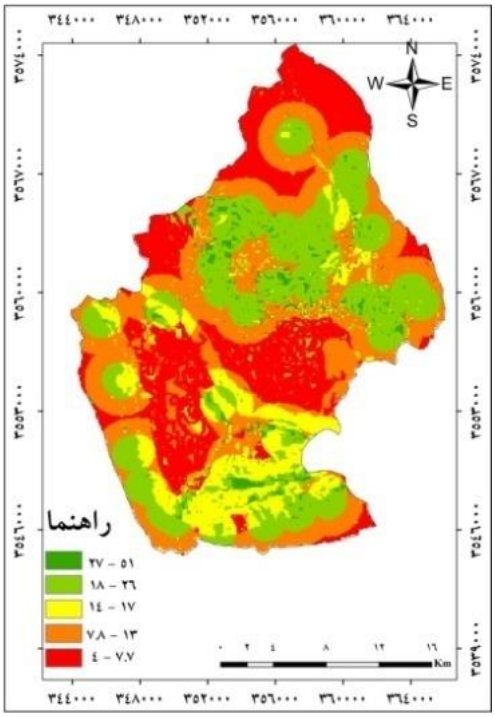
معیار های فرعی	فاصله از محل مصرف	دسترسی به محل سد	اهمیت نسبی
فاصله از محل مصرف	۱	۵	۰/۸۳
دسترسی به محل سد	۱/۵	۱	۰/۱۷

برای مقایسه اهمیت نسبی هریک 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 می گیرند. پس از قرارگیری مقادیر اهمیت نسبی در جای خود اینک نوبت به مقایسه ارزش نسبی دو معیاراصلی 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 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 شده‌است.جدول ۴ این مقایسه را نشان می‌دهد.

جدول ٤- جدول ماتریسی معیارهای اصلی در مکان یابی سدزیرزمینی 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 سدزیرزمینی در منطقه اندیکا بدست آمد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- نقشه اولویت مکانی سدزیرزمینی در منطقه اندیکا

نتایج نشان می‌دهد 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 می‌باشد. شیب توپوگرافی در منطقه اندیکا از کمتر از ۲ تا حداکثر ۷۰ درجه متغیر می‌باشد. بنابراین در قسمت عمده‌ای از منطقه شیب آبراهه‌ها برای اهداف این بررسی مناسب می‌باشد. جنس لایه‌های زمین‌شناسی منطقه اساساً از گچ، مارن، ماسه سنگ و کربنات‌ها است. هرچند که سازند گچساران در محدوده اندیکا دارای اهمیت فراوانی به لحاظ ذخایر آب زیرزمینی به حساب نمی‌آید ولی با این حال اثرات تخریبی آن بر منابع آب سطحی مشخص است. سیماهای کارستی از قبیل کارن، دره‌های خشک، تنگ، غار، آبفروچاله، شکاف‌های انحلالی و شافت‌ها و غیره در سازندهای آهکی و گچی محدوده اندیکا قابل مشاهده می‌باشند. به دلیل موادی با نفوذپذیری پایین، مخزن آب زیرزمینی قابل توجهی در منطقه تشکیل نشده‌است. با وجود ضخامت کم سازند بختیاری چشمه‌های متعدد با آبدهی و کیفیت بسیار مطلوب در ارتباط با این سازند می‌باشند. رسوبات کف کانال از مواد درشت (گراول تا ماسه) بوده و در میان آن‌ها ذرات دانه‌ریز نیز دیده می‌شود. سطح تماس این رسوبات با سنگ کف و رسوبات و سازندهای مجاور به صورت تخریبی می‌باشد. به طور کلی و از لحاظ هیدروژئولوژی رسوبات کف آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه دارای هدایت هیدرولیکی و ذخیره ویژه خوبی هستند. ذخایر رسوبی در طول آبراهه‌ها در نقاطی مشاهده گردید که عرض و عمق رسوبات بیشتر و شیب کمتر است. متوسط بارش سالانه در منطقه ۵۵۶ میلی‌متر محاسبه گردید. با توجه به این مقدار متوسط، می‌توان نتیجه گیری کرد که منطقه مورد مطالعه از نظر بارش، منطقه‌ای نیمه خشک است. معادله بارش- ارتفاع منطقه نیز به صورت زیر بدست آمد:

$$P=0.1437H+489.41 \quad (۱)$$

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

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 ژیپس (گچ)، مارن، ماسه سنگ، کنگلومرای آهکی و آهک می‌باشند. لایه‌های ژیپسی و مارنی که وسعت زیادی از منطقه را می‌پوشاند، به خودی خود نفوذپذیری بالایی ندارد اما به دلیل انحلال پذیری زیاد ژیپس 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 زیرزمینی است که مسئله را از ابعاد مختلف بررسی می‌نماید. در اکثر مطالعات مشابه ، عملکرد این سیستم مورد تأیید بوده‌است.

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 شده‌است. 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 شده‌است.

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 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): ۵۷-۴۳.

۲. بابایی، ع.ا. ۱۳۸۰. نگرشی راهبردی بر مقوله آب. فصلنامه شرکت مهاب قدس، (۱۵):۴-۲.

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 تصمیم گیری چند معیاره با تاکید بر منابع آب (مطالعه موردی غرب استان تهران). نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۴ (۱۳): ۶۵-۶۸.

۵. حاجی عزیزی، ش.، م. خیرخواه زرکش وا. شریفی. ۱۳۹۰. انتخاب مکان مناسب احداث سد زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دو روش مکانی و غیرمکانی(مطالعهٔ موردی :حوضهٔ پیشکوه شهرستان تفت استان یزد). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۲ (۲): ۲۷-۳۸.

۶. حسن زاده نفوتی، م.، ع.ا. جمالی و ا. فلاح. ۱۳۹۵. مکان یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از ارزیابی چند معیاره مکانی (SMCE) (مطالعه موردی :حوضه آدوری شهرستان بم). نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۰ (۳۲): ۷۷-۶۹.

۷. حیدری، ح. و س. شهریاری. ۱۳۹۰. مکان یابی سد زیر زمینی درحوضه رودخانه گرماب «ایستگاه تحقیقات گلستان». فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۵ (۱۰۰): ۱۳۱-۱۴۸.

۸. خیرخواه زرکش،م.، ح. ناصری، م. داوودی و ه. سلامی. ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت بندی مکان های مناسب احداث سد زیرزمینی مطالعه موردی:دامنه شمالی کوه های کرکس- نطنز.مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی،(۷۹): ۹۳-۱۰۱.

۹. سعادتی، م. ۱۳۸۱. تعیین شاخص های مکان یابی جهت ایجاد سد زیرزمینی و شبیه سازی 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 تصمیم گیریAHP و Fuzzy-AHP در مکانیابی اولیه سدهای زیرزمینی در منطقه طالقان. نشریه علوم زمین، ۲۲(۸۵): ۲۷-۳۴.

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، د انشگاه آزاد اسلامی واحد شمال.

12. Onder H, yilmaz M. 2005. Underground Dams, A Tools of Sustainable Devlopment and Management of Groundwater Resourses. 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.