

شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند معیاره فازی در

دشت بتوند، استان خوزستان

کاظم رنگزن^۱، ناهید منجزی^{۲*}، ایوب تقی زاده^۳، احمد نیامدپور^۴

۱ و ۳ - هیئت علمی گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴ - هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی مسجدسلیمان

Nahidmonjezi@live.com

چکیده

امروزه یکی از راه‌های آب در مناطق خشک و نیمه خشک و مقابله با بحران خشکسالی، احداث سدهای زیرزمینی به منظور ذخیره کردن آب‌های زیرزمینی است. سدهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که در مسیر جریان آب زیرزمینی ساخته شده و باعث بالا آمدن و ذخیره آب در مخزن خود می‌شوند. مهم‌ترین و اولین مشکل در احداث این سدها یافتن مکان مناسب برای احداث آن‌هاست. در این مقاله سعی شده است تا با بکارگیری تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ و استفاده از منطق فازی محل مناسب برای احداث سد زیرزمینی در دشت بتوند مشخص گردد. از جمله فاکتورهای مورد استفاده در این روش شیب، محیط غیراشباع، هدایت هیدرولیکی، شوری آب زیرزمینی، عمق سطح ایستابی و چگالی زهکشی سطحی، ضخامت آبرفت، چاه‌ها و گسل می‌باشند. پس از تهیه لایه‌های مربوطه و اعمال توابع فازی بر آن‌ها، نقشه‌های معیار استانداردسازی شده به دست آمد. سپس با استفاده از نظر کارشناسان و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی^۲ وزن مربوط به هر نقشه معیار بدست آمد و در آن ضرب شد. آنگاه با استفاده از عملگر جمع فازی^۳ نقشه معیارها با هم تلفیق و مکان‌های مناسب برای احداث سد بدست آمد. در نهایت برای اولویت‌بندی مناطق بدست آمده از روش تاپسیس^۴ استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که مناطق شمالی دشت دارای پتانسیل خوبی برای احداث سدهای زیرزمینی می‌باشد.

واژگان کلیدی: سد زیرزمینی، GIS، منطق فازی، فازی تاپسیس، دشت بتوند.

1 GIS

2 Fuzzy AHP

3 SUM

4 TOPSIS

در ارزیابی سدهای احداث شده در برزیل فوستر و همکاران نشان دادند که عواملی همچون حجم مخزن، عمق سنگ بستر نسبت به سطح زمین، کیفیت شیمیایی خاک مخزن و نفوذپذیری خاک مخزن از عوامل تأثیرگذار در موفقیت سدهای زیرزمینی هستند [۳]. ونرومپای در ارزیابی پنج سد زیرزمینی در برزیل نتیجه گیری کرد که سدهای زیرزمینی مزایایی از قبیل: سادگی و هزینه اجرایی کم، افزایش ظرفیت چاه‌های موجود، قابلیت تکرار و سهولت بهره‌برداری توسط اهالی محل و خطر آلودگی پایین دارند [۹]. فورزیتری و همکاران [۲] روشی کلی را برای ارزیابی مکان‌های مناسب برای احداث سدهای کوچک ارائه دادند. چزگی و همکاران [۱۴] در مطالعه‌ای که جهت مکان‌یابی سدهای زیرزمینی به روش معیارهای حذفی انجام دادند مکان‌های مناسبی را جهت احداث سد زیرزمینی تعیین نمودند. در مطالعه‌ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در دامنه‌های شمالی کوه‌های کرکس اولویت‌بندی شدند [۱۵]. سلیمانی و همکاران [۱۷] در بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی دشت مشهد به منظور پهنه‌بندی پتانسیل احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از RS و GIS به این نتیجه رسیدند که مخروط افکنه‌های نواحی شمال به سمت شمال‌شرقی ارتفاعات کپه داغ دارای بیشترین استعداد جهت احداث سدهای زیرزمینی می‌باشند [۱۷]. در زمینه استفاده از لایه‌های اطلاعاتی در فضای سیستم اطلاعات جغرافیایی محققین متعددی کار کرده‌اند. از جمله آن‌ها می‌توان به [۴] Gustafson، [۵] Karanth، [۶] Kodituwakka، [۸] Saraf and Choudhury اشاره کرد.

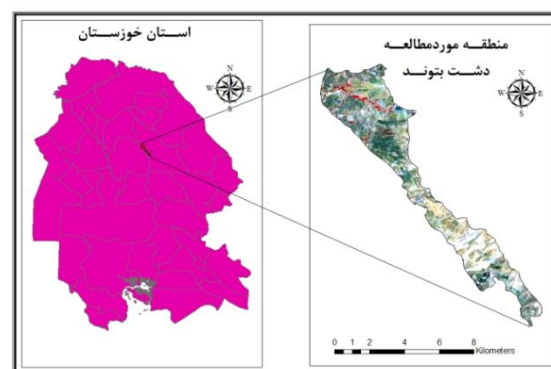
در این تحقیق سعی بر آن است تا با بررسی برخی پارامترهای مهم و اثرگذار در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مناطق مناسب برای احداث این سدها شناسایی شوند.

۲- منطقه مورد مطالعه

دشت بتوند در ۷۵ کیلومتری شمال‌شرق اهواز و ۲۰ کیلومتری غرب مسجدسلیمان در حوزه کارون میانی در مختصات جغرافیایی $31^{\circ} 53'$ تا $32^{\circ} 01'$ طول شرقی و

منابع آب کافی یکی از ارکان اصلی توسعه و پیشرفت هر منطقه است و همواره توسط ارگان‌های مسئول برای بهبود وضعیت و مدیریت بهینه آن تلاش می‌گردد [۷]. با توجه به خشکسالی‌های اخیر و پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی ضروری است تا با احداث سازه‌هایی رواناب حاصل از بارش‌ها را در محل‌های مناسب ذخیره نمود و یا آبخوان را تغذیه نمود [۲۱]. معمولاً در هر کشور و منطقه‌ای سعی می‌شود آب‌های سطحی که در فصول بارندگی، به‌ویژه در زمستان و بهار هدر می‌رود را با احداث سدهای بزرگ و کوچک مخزنی، ذخیره کرده و در فصول مورد نیاز از آن‌ها استفاده کنند [۲۰]. یکی از راه‌های ذخیره کردن این آب‌ها نفوذ دادن آب‌های سطحی و ذخیره آب‌های زیرزمینی در حال جریان، به‌وسیله ایجاد سدهای زیرزمینی می‌باشد. احداث سدهای زیرزمینی و استفاده از آب‌های سطحی هدررونده به منظور تغذیه مصنوعی از جمله راهکارهای مناسب جهت تأمین و توسعه منابع آبی است [۱۳]. سد زیرزمینی عبارت است از هر ساختاری که جهت نگهداری آب در مسیر جریان آب زیرزمینی با مصالح غیر قابل نفوذ ساخته می‌شود. دیواره سد که به آن لایه غیرقابل نفوذ نیز می‌گویند با سطح آب زیرزمینی (یا سطحی) در تماس بوده و باعث ایجاد یا بالا آمدن سطح آب زیرزمینی یا آب سطحی در استخر سطحی می‌گردد. مهم‌ترین مشکل در توسعه و ایجاد یک سد زیرزمینی پیچیدگی تعیین مناطق مناسب برای احداث سد می‌باشد [۷]. این مشکلات از آنجایی ناشی می‌شود که معیارها و عوامل زیادی همانند معیارهای فیزیکی و هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی در مکان‌یابی مناسب سدهای زیرزمینی دخیل هستند که بررسی و تعیین این عوامل در عرصه با استفاده از روش‌های سنتی نیازمند صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشد. امروزه تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان تکنولوژی برتر در امر تصمیم‌گیری در مسائل مختلف و نظارت و مدیریت منابع طبیعی در اختیار کاربران مختلف قرار دارد و می‌توان از آن‌ها در زمینه کشف و شناسایی مناطق دارای پتانسیل سود جست.

۰۱' ۴۹° تا ۱۳' ۴۹° عرض شمالی قرار گرفته است. دسترسی به این منطقه از طریق جاده اصلی اهواز-مسجدسلیمان امکان پذیر می باشد (شکل ۱). روستاهای بتوند و گلیخون از مهم ترین مراکز جمعیتی منطقه می باشند.



شکل ۱- نقشه محدوده مورد مطالعه

ارتفاع دشت لهری که دشت بتوند مساحتی از آن را شامل می شود از ۱۹۵ متر در روستای پاگچی تا ۹۰ متر در محل تلاقی رودخانه های شور بتوند و شور بهلول در شمال غربی دشت متغیر است. مساحت سفره آبدار بتوند ۲۹,۸۸ کیلومترمربع می باشد و سازندهای بختیاری، گچساران، لهری، آغاچاری و میشان در اطراف دشت دارای رخنمون نسبتاً زیاد می باشند. از عوارض ساختاری مهم زمین شناسی در منطقه مطالعاتی بتوند می توان به گسل تراستی لهری اشاره نمود که از شمال غرب به جنوب شرق کشیده شده و باعث رانش سازند لهری گردیده است. دشت بتوند در بین سازند گچساران در شرق و سازند لهری در غرب به وجود آمده است. سازند کنگلومرای بختیاری نیز در شمال و شمال غرب دشت دارای رخنمون است. در منطقه مورد مطالعه سازندهای گروه فارس (گچساران، میشان، آغاچاری) و بخش لهری به همراه سازند بختیاری و رسوبات آبرفتی رخنمون دارند. سازندهای زمین شناسی منطقه از دیدگاه منابع آب وضعیت های متفاوتی را دارا می باشند. این تفاوت عمدتاً از اختلاف لیتولوژیکی سازندها حاصل شده است. هرچند که عوامل ساختاری نیز در بعضی موارد بر منابع آب سازندی مؤثر می باشند.

در این مطالعه به منظور تعیین مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی معیارهایی همچون شیب، محیط غیراشباع، هدایت هیدرولیکی، شوری آب زیرزمینی، عمق سطح ایستابی، چگالی زهکشی سطحی، ضخامت آبرفت، چاه ها و گسل مورد استفاده قرار گرفت. پس اولین گام تشکیل یک بانک اطلاعاتی از لایه های فوق بود. اطلاعات مورد نیاز با استفاده از منابع موجود و بازدیدهای صحرایی بدست آمده است که عبارت است از :

عمق سطح ایستابی: تعیین کننده عمقی است که آب باید از سطح زمین تا رسیدن به سطح ایستابی طی کند. بدیهی است با افزایش این عمق، زمان بیشتری برای رسیدن آب به سطح ایستابی طول خواهد کشید و احتمال فرار آب از پشت سد وجود خواهد داشت [۱۳]. پس هرچه عمق سطح ایستابی کمتر باشد برای احداث سد زیرزمینی مناسب تر خواهد بود.

شیب: یکی از عوامل مؤثر در انتخاب مکان مناسب برای سد زیرزمینی است. هر چه شیب منطقه کمتر باشد، رواناب فرصت بیشتری برای جاری شدن در سطح زمین خواهد داشت و در نتیجه احتمال نفوذ آب به درون زمین بیشتر می شود و به این ترتیب میزان ذخیره آب در پشت سد نیز بیشتر خواهد شد. از طرفی هر چه شیب کمتر باشد مخزن ذخیره آب ایجاد شده در پشت سد نیز حجم بیشتری خواهد داشت.

محیط غیراشباع: با توجه به تأثیر این محیط بر تغذیه سفره آبدار، هدف جنس غالب مواد تشکیل دهنده در این محیط است. این لایه چگونگی روند سیر جریان آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می کند. جهت تهیه این لایه از لاگ چاه های مشاهده ای و بهره برداری موجود در منطقه استفاده شد. پس از تعیین ضریب نفوذپذیری نوع خاک های به دست آمده از لاگ چاه ها، با استفاده از روش کریجینگ لایه رستری مربوطه به دست آمد.

هدایت هیدرولیکی: بیان کننده قابلیت هدایت آب در محیط آبخوان است؛ به عبارتی می توان گفت که نشان دهنده ی توانایی مواد تشکیل دهنده آبخوان در عبوردهی آب است. اصولی ترین روش تعیین هدایت هیدرولیکی آزمایش پمپاژ است، به کمک این آزمایش طبق فرمول

زیر ضریب قابلیت انتقال آبخوان محاسبه [۱۹] و لایه ساخته شده مربوط به آن در محیط GIS بر لایه ضخامت آبخوان تقسیم شد.

$$K = \frac{T}{b}$$

شوری آب زیرزمینی: شوری آب زیرزمینی بیان‌کننده کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان می‌باشد. این پارامتر براساس هدایت الکتریکی آب زیرزمینی بیان می‌شود. در آبخوان‌هایی که شوری آب بالاست اصولاً احداث سد ارزش چندانی ندارد چرا که آب تغذیه‌ای با آب شور زیرزمینی ترکیب شده و بلااستفاده می‌شود [۱۳].

چگالی زهکشی سطحی: این پارامتر بیان‌کننده تعدد شبکه آبراهه‌های سطحی جمع‌آوری‌کننده رواناب سطحی می‌باشد.

چاه‌ها: چاه‌ها یکی از منابع آب در منطقه می‌باشند و آسیب به این منابع آبی با ارزش به هر دلیلی با چالش‌های محلی شدیدی همراه خواهد بود. هدف اصلی از احداث سد زیرزمینی کمک به بهبود وضعیت منابع آبی موجود در منطقه و استفاده بهینه از جریان‌های زیرسطحی موجود در منطقه است با این فرض که ایجاد یک منبع آبی جدید نباید باعث تخریب منابع آبی قدیمی شود. لذا برای جلوگیری از در معرض تخریب قرارگرفتن چاه‌های منطقه یا کاهش شدید دبی آن‌ها، بافر ۱۵۰ متری در اطراف آن‌ها در نظر گرفته شد.

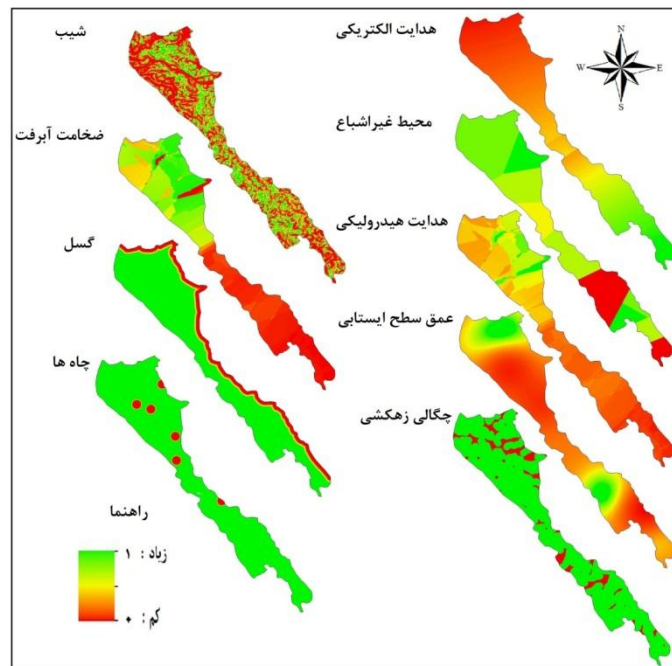
گسل: سد زیرزمینی نباید در منطقه‌ای احداث شود که گسل وجود دارد به این دلیل که گسل‌ها معبر مناسبی جهت زهکشی آب و خروج آن به مناطق خارج از دسترس می‌باشند و امکان وجود پتانسیل لرزه‌ای نیز در مواردی که گسل‌ها بزرگ و فعال هستند، وجود دارند. بدین منظور فاصله ۱۵۰ متری از اطراف گسل نامناسب در نظر گرفته شد.

ضخامت آبرفت: برابر با عمق سنگ کف می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی لایه‌های آبرفتی با عمق متوسط به همراه

حرکت آب‌های زیرزمینی در جهت شیب هیدرولیکی به عنوان بهترین شرایط مناسب در پتانسیل‌یابی سد زیرزمینی محسوب می‌شوند. جهت تهیه این لایه از اطلاعات حاصل از مطالعات ژئوفیزیک انجام شده در منطقه استفاده شد. باید توجه داشت که ضخامت کمتر از ۱۰ متر به دلیل کم شدن حجم مخزن و ضخامت آبرفت بیشتر از ۴۰ متر به دلیل زیاده‌شدن هزینه اجرایی سد نامناسب هستند.

۳-۱- استانداردسازی نقشه‌های پایه:

بعد از تعیین فاکتورهای مؤثر در مکان‌یابی سد زیرزمینی، بایستی لایه‌های اطلاعاتی مربوطه را آماده‌سازی نمود. پس از تهیه بانک اطلاعاتی لایه‌ها باید برای پردازش آماده شوند یا به عبارتی به منظور قابل مقایسه شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری (به ازای شاخص‌های گوناگون) باید بی‌مقیاس یا همان استانداردسازی شوند، که بدین طریق عناصر شاخص‌های تبدیل شده، بدون بعد اندازه‌گیری می‌شوند. بر اساس نوع اطلاعاتی که برای ایجاد نقشه‌ها موجودند، نقشه‌های معیار را می‌توان در حالت‌های قطعی، احتمالاتی و فازی طبقه‌بندی کرد که در تمامی این روش‌ها هدف این است که مقادیر مربوط به معیارها در بازه [۰،۱] قرار بگیرند. با توجه به اینکه در این مقاله از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی فازی و فازی تاپسیس استفاده شده است، از روش استانداردسازی فازی برای آماده‌سازی لایه‌ها استفاده شد. عملیات فازی‌سازی ورودی‌ها را گرفته و توسط توابع عضویت مربوطه، یک درجه مناسب بین صفر و یک به آن‌ها نسبت می‌دهد. متغیرهای ورودی هر یک باید در محدوده رقمی تعریف شده خود باشند و خروجی‌ها، درجه عضویت فازی از مجموعه‌های تعیین‌کننده زبانی (بین صفر و یک) هستند. در اینجا برای استانداردسازی از توابع فازی کوچک، فازی بزرگ، فازی خطی و فازی ذوزنقه‌ای استفاده شد. در زیر نقشه استانداردسازی شده هر یک از معیارها آورده شده است (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه‌های استانداردسازی شده با استفاده از توابع فازی

۳-۲- وزن دهی به نقشه معیارها:

اهمیت نسبی عناصر را با استفاده از اعداد فازی بیان کنند
(جدول ۱).

هر نقشه معیار تأثیر خاص خود را در انتخاب مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی دارد و میزان اهمیت نقشه‌های معیار در رسیدن به نتیجه (خروجی) یکسان نمی‌باشد. از این رو لازم است نقشه‌های معیار امتیازدهی و یا به عبارت دیگر وزن دهی شوند. وزن هر معیار نشان دهنده میزان اهمیت و ارزش آن نسبت به معیارهای دیگر در عملیات مکان‌یابی است. غالباً وزن‌دهی‌های صورت گرفته بر پایه دانش کارشناسی و بر اساس نظر متخصصین با در نظر گرفتن فاکتورهای مختلف مانند محدوده مطالعاتی، پارامترهای مکان‌یابی، تأثیر هر یک از پارامترها و غیره صورت می‌پذیرد. بدین منظور ابتدا نظرات مختلف متخصصین جمع‌آوری شده و پس از بررسی و آنالیز، نرمال‌سازی می‌شوند.

در اینجا از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای وزن دهی به معیارها استفاده شد. روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به دلیل استفاده از یک بازه به جای یک عدد ثابت در قضاوت‌ها، توسعه بیشتری نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی یافته است. برطبق این روش، پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی از کارشناسان مربوطه درخواست شد تا عناصر هر سطح را نسبت به هم مقایسه کنند و

جدول ۱- ماتریس مقایسه زوجی معیارها

معیارها	ضخامت آبرفت	عمق سطح ایستابی	هدایت هیدرولیکی	محیط غیراشباع	شیب	چگالی زهکشی	گسل	چاه	شوری آب زیرزمینی
ضخامت آبرفت	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱, ۳/۲, ۲)	(۱, ۳/۲, ۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۵/۲, ۳, ۷/۲)	(۵/۲, ۳, ۷/۲)
عمق سطح ایستابی	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱, ۳/۲, ۲)	(۱, ۳/۲, ۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۲, ۵/۲, ۳)
هدایت هیدرولیکی	(۰/۵, ۰/۶۶, ۱)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱, ۳/۲, ۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)
محیط غیراشباع	(۰/۵, ۰/۶۶, ۱)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱, ۳/۲, ۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)
شیب	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۵, ۰/۶۶, ۱)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)
چگالی زهکشی	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۵, ۰/۶۶, ۱)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)
گسل	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۵, ۰/۶۶, ۱)	(۰/۵, ۰/۶۶, ۱)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)
چاه	(۰/۲۹, ۰/۳۳, ۰/۴)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)
شوری آب زیرزمینی	(۰/۲۹, ۰/۳۳, ۰/۴)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۱, ۱, ۱)

۳-۲-۱- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی:

در سال ۱۹۸۳ دو محقق هلندی به نام‌های لارهورن و پدریک روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد نمودند که بر اساس روش حداقل مجزورات لگاریتمی بنا نهاده شده بود. پیچیدگی مراحل این روش باعث شده این روش چندان مورد استفاده قرار نگیرد. در سال ۱۹۹۶ روش دیگری تحت عنوان روش تحلیل توسعه ای توسط چانگ [۱] ارائه گردید که مراحل این روش در زیر شرح داده شده‌اند [۱۸].

۱- رسم نمودار سلسله مراتبی

۲- تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

۳- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با به کارگیری اعداد فازی

برای انجام مقایسه‌ها نیاز به تعریف اعداد فازی و مقیاس های فازی می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲- اعداد و مقیاس‌های فازی

مقیاس فازی مثلثی	اهمیت زبانی	مقیاس فازی معکوس
(۱, ۱, ۱)	اهمیت دقیقاً مساوی	(۱, ۱, ۱)
(۱/۲, ۱, ۳/۲)	اهمیت تقریباً مساوی	(۲, ۱, ۰/۶۶)
(۱, ۳/۲, ۲)	کمی مهم‌تر	(۱, ۰/۶۶, ۰/۵)
(۳/۲, ۲, ۵/۲)	مهم‌تر	(۰/۵, ۰/۶۶, ۰/۴)
(۲, ۵/۲, ۳)	خیلی مهم‌تر	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۳۳)
(۵/۲, ۳, ۷/۲)	خیلی خیلی مهم‌تر	(۰/۴, ۰/۳۳, ۰/۲۹)

ماتریس مقایسه زوجی (\tilde{A}) حاوی اعداد فازی تعریف شده می‌باشد و به صورت زیر خواهد بود.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

اگر کمیته تصمیم‌گیرندگان دارای چندین تصمیم‌گیرنده باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به کار می‌رود، یک عدد فازی

مثلثی است که مؤلفه اول آن را حداقل نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم آن میانگین نظر سنجی‌ها و مؤلفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌ها می‌باشد [۱۸].

۴- محاسبه S_i برای هر یک از سطرها ماتریس مقایسه زوجی

S_i یک عدد فازی مثلثی است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} \quad (۱)$$

که در این رابطه i بیانگر شماره سطر و j بیان کننده شماره ستون می‌باشد. M_{gi}^j در این رابطه اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (۳)$$

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (۴)$$

در روابط بالا l_i و m_i و u_i به ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \begin{matrix} 1i=1nui, 1i=1nmi, 1i=1nli=j=1mlji=1nui, \\ j=1mmji=1nmi, j=1muji=1nli \end{matrix} \quad (۵)$$

۵- محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر

به طور کلی درجه بزرگی S_i نسبت به S_j از معادله زیر بدست می‌آید (شکل ۳).

$$V(S_i \geq S_j) = hgt(S_i \cap S_j) = \mu_{S_i}(d) = \quad (۶)$$

$$\begin{cases} 1 & \text{if } m_i \geq m_j \\ 0 & \text{if } l_j \geq u_i \\ \frac{l_j - u_i}{(m_i - u_i) - (m_j - u_j)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$W = \frac{S_i}{\sum S_i} \quad (10)$$

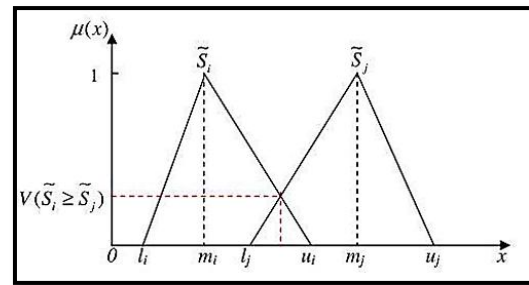
پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی و تکمیل آن توسط کارشناسان مربوطه، وزن هر معیار با توجه به اعداد فازی اختصاص داده شده به آن و با استفاده از برنامه نوشته شده در نرم افزار متلب براساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی بدست آمد (جدول ۳).

جدول ۳- وزن معیارها

معیارها	اوزان
ضخامت آبرفت	۰/۱۸۶۱
عمق تا سطح ایستابی	۰/۱۵۵
هدایت هیدرولیکی	۰/۱۱۷۲
محیط غیراشباع	۰/۱۱۷۲
شیب	۰/۱۱۰۲
چگالی زهکشی سطحی	۰/۱۱۰۲
گسل	۰/۰۷۳۲
چاه	۰/۰۶۳۶
شوری آب زیرزمینی	۰/۰۶۷۴

با به دست آوردن اوزان مربوط به معیارها، وزن هر معیار در لایه مربوط به آن ضرب شد و لایه های نهایی برای تلفیق به دست آمدند. سپس نوبت به تلفیق آن ها به منظور مکان یابی رسید. برای این کار از عملگر جمع فازی استفاده شد. عملگر جمع فازی، مکمل عملگر ضرب فازی می باشد. این عملگر زمانی استفاده می شود که نقشه های معیار اثر افزایشی بر روی هم داشته باشند. در این عملگر، مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی بزرگ شده و به سمت یک میل می کند.

بدین ترتیب مکان های مناسب برای سد زیرزمینی بدست آمدند (شکل ۴).



شکل ۳- درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به هم [۱۰]

۶- محاسبه وزن معیارها و گزینه ها در ماتریس های مقایسه زوجی

برای محاسبه وزن نرمال نشده معیار باید میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی با سایر اعداد فازی مثلثی محاسبه شود و در نهایت حداقل میزان بزرگی، نشان دهنده وزن نرمال نشده معیار است. بدین منظور از رابطه زیر استفاده می شود.

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (7)$$

$$k = 1, 2, \dots, n, \quad k \neq i$$

۷- محاسبه بردار وزن نهایی

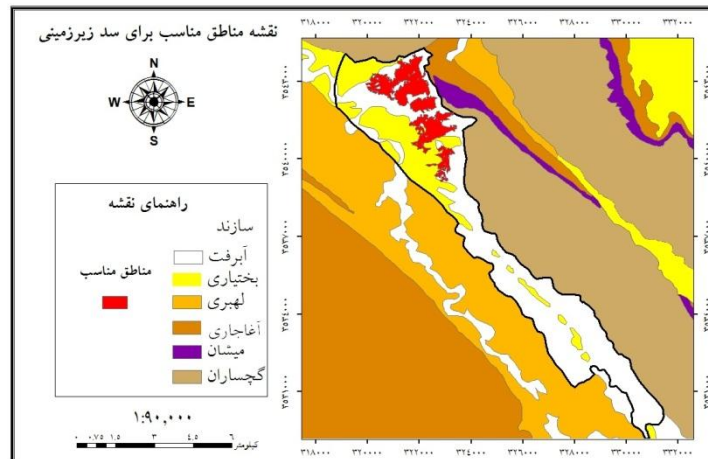
بردار وزن نهایی از نرمال کردن بردار وزن معیارها به دست می آید.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^t \quad (8)$$

در این مطالعه از روش Fuzzy Hierarchy Integral Analytic استفاده شد که تفاوت آن با روش بالا در به دست آوردن S_i می باشد.

$$S_i = \frac{1}{2}[(\frac{1}{2}S_{iu}) + (S_{im}) + (\frac{1}{2}S_{il})] \quad (9)$$

وزن نرمال هم از رابطه زیر به دست می آید:



شکل ۴- مناطق مناسب برای سد زیرزمینی

۳-۳- اولویت‌بندی گزینه‌ها:

تکنیک تاپسیس یا اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده‌آل، که نخستین بار به وسیله ونگ و یون در سال ۱۹۸۱ معرفی شد، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند تحلیل سلسله مراتبی است. از این تکنیک می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند. به عبارت دیگر می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده نمود. بر اساس این روش، بهترین گزینه یا راه‌حل، نزدیک‌ترین راه‌حل به راه‌حل ایده‌آل و دورترین از راه‌حل غیر ایده‌آل است. راه‌حل ایده‌آل، راه‌حلی است که بیشترین سود و کمترین هزینه را داشته باشد، در حالی که راه‌حل غیر ایده‌آل، راه‌حلی است که

بالاترین هزینه و کمترین سود را داشته باشد. به طور خلاصه، راه‌حل ایده‌آل از مجموع مقادیر حداکثر هر یک از معیارها به دست می‌آید، در حالی که راه‌حل غیر ایده‌آل از مجموع پایین‌ترین مقادیر هر یک از معیارها حاصل می‌گردد. برای استفاده از این روش نیاز به یک ماتریس تصمیم‌گیری است که سطرهای آن گزینه‌ها و ستون‌های آن معیارها باشد. با یک رویکرد سیستمی می‌توان تکنیک تصمیم‌گیری تاپسیس را به فضای فازی توسعه داد.

بدین ترتیب پس از به دست آوردن مناطق مناسب سد زیرزمینی، به منظور اولویت‌بندی گزینه‌ها، با توجه به منطقه مورد مطالعه، چندین معیار دیگر برای اولویت‌بندی در نظر گرفته شد. سپس ماتریس مقایسه زوجی برای این معیارها با توجه به جدول ۲ تشکیل و تکمیل گردید و با استفاده از نرم‌افزار متلب وزن هر معیار بدست آمد (جدول ۴). آنگاه برای بدست آوردن اولویت‌بندی، وزن بدست آمده برای معیارهای جدید در ماتریس تشکیل شده برای گزینه‌ها با استفاده از جدول ۵، ضرب شد (جدول ۶).

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی معیارهای فازی تاپسیس

معیارها	نزدیکی به جاده	آب مورد نیازروستا	مساحت	کاربری اراضی	مجموع مواد محلول موجود در آب	اسیدیته آب	سازند	وزن
نزدیکی به جاده	(۱, ۱, ۱)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	۰/۱۱۶۹
آب مورد نیازروستا	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۱, ۱, ۱)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۲, ۵/۲, ۳)	۰/۲۰۱۵
مساحت	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۱, ۱, ۱)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۵/۲, ۳, ۷/۲)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)	۰/۱۶۸۲
کاربری اراضی	(۲, ۵/۲, ۳)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۱, ۱, ۱)	(۵/۲, ۳, ۷/۲)	(۵/۲, ۳, ۷/۲)	(۲, ۵/۲, ۳)	۰/۲۲۲۴
مجموع مواد محلول موجود در آب	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۲۹, ۰/۳۳, ۰/۴)	(۰/۲۹, ۰/۳۳, ۰/۴)	(۱, ۱, ۱)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	۰/۰۴۹۱
اسیدیته آب	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۶۶, ۱, ۲)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۲۹, ۰/۳۳, ۰/۴)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۱, ۱, ۱)	(۲, ۵/۲, ۳)	۰/۱۲۶۹
سازند	(۲, ۵/۲, ۳)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۶۶)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۰/۳۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۱, ۱, ۱)	۰/۱۱۵۱

جدول ۵- اعداد فازی مثلثی

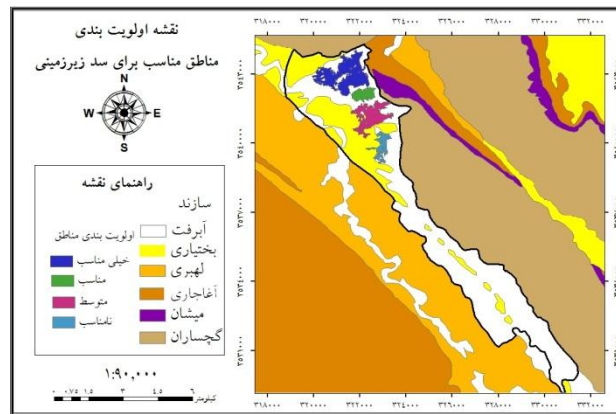
ارزش زبانی	عدد فازی مثلثی
خیلی بد	(۰, ۰, ۰/۲)
بد	(۰, ۰/۲, ۰/۴)
نسبتاً بد	(۰/۲, ۰/۴, ۰/۶)
نسبتاً خوب	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸)
خوب	(۰/۶, ۰/۸, ۱)
خیلی خوب	(۰/۸, ۱, ۱)

جدول ۶- اولویت‌بندی گزینه‌ها

گزینه‌ها	نزدیکی به جاده	آب مورد نیازروستا	مساحت	کاربری اراضی	مجموع مواد محلول موجود در آب	اسیدیته آب	سازند	ضریب نزدیکی	اولویت
اول	(۰/۸, ۱, ۱)	(۰/۸, ۱, ۱)	(۰/۸, ۱, ۱)	(۰/۶, ۰/۸, ۱)	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸)	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸)	(۰/۸, ۱, ۱)	۰/۳۷۶۶	۱
دوم	(۰/۸, ۱, ۱)	(۰/۸, ۱, ۱)	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸)	(۰/۶, ۰/۸, ۱)	(۰, ۰, ۰/۲)	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸)	(۰/۸, ۱, ۱)	۰/۳۷۲۵	۲
سوم	(۰/۶, ۰/۸, ۱)	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸)	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸)	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸)	(۰/۲, ۰/۴, ۰/۶)	(۰/۶, ۰/۸, ۱)	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸)	۰/۳۴۳۷	۴
چهارم	(۰/۸, ۱, ۱)	(۰/۸, ۱, ۱)	(۰/۶, ۰/۸, ۱)	(۰/۲, ۰/۴, ۰/۶)	(۰, ۰, ۰/۲)	(۰/۶, ۰/۸, ۱)	(۰/۲, ۰/۴, ۰/۶)	۰/۳۵۲۸	۳

درجه خیلی مناسب، مناسب، متوسط و نامناسب تشخیص داده شدند (شکل ۵).

با توجه به اولویت بدست آمده برای گزینه‌ها، نقشه نهایی بدست آمد. به صورتیکه در این دشت در مجموع، مناطق به لحاظ استعداد آن‌ها برای ایجاد سد زیرزمینی در چهار



شکل ۵- نقشه اولویت‌بندی مناطق مناسب سد زیرزمینی

۴- نتیجه‌گیری

به منظور تعیین مکان‌های مناسب جهت ساخت سدهای زیرزمینی، فاکتورها و عوامل بسیاری وجود دارند که باید مد نظر قرار گیرند، از جمله این عوامل می‌توان به شیب مناسب، تشکیلات زمین‌شناسی نفوذپذیر و قابلیت هدایت هیدرولیکی خوب، منابع تغذیه‌کننده مناسب، دوری از گسل، ضخامت آبرفت مناسب و غیره اشاره کرد.

از مهم‌ترین دستاوردهای این تحقیق می‌توان به تعیین عوامل مهم و مؤثر در مکان‌یابی سد زیرزمینی، به کاربردن روش فازی به منظور وزن‌دهی و اولویت‌بندی مناطق مناسب و تعیین قابلیت GIS در شناسایی مناطق مناسب اشاره کرد.

با توجه به نقشه اولویت‌بندی شده می‌توان دریافت که مناطق مناسب احداث سد در قسمت شمالی دشت واقع شده‌اند و مناطق جنوبی دشت به دلایل گوناگونی از جمله ضخامت بالای آبرفت و یا مرغوبیت کم خاک برای نفوذ آب، برای احداث سد انتخاب نشده‌اند.

باید توجه داشت که مناطق مستعد در محدوده شمالی دشت با وجود پارامترهای مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی، با کیفیت نامناسب آب‌های زیرزمینی جهت

استفاده شرب مواجه هستند که در صورت احداث چنین سازه‌هایی در آینده، در مقوله بهره‌برداری باید مورد توجه قرار گیرد. این کیفیت نامناسب به دلیل ورود آب‌های آلوده به فاضلاب از شهرستان مسجدسلیمان و نیز ورود رودهای شوری مانند رودخانه شور بهلول به منطقه می‌باشد.

۵- پیشنهادات

به طور کلی سدهای زیرزمینی با توجه به هزینه پایین، روش ساخت آسان، ذخیره آب بهداشتی و مزایای بسیاری که نسبت به سدهای سطحی دارند و به خصوص با توجه به آب و هوای خشک و نیمه خشک منطقه می‌توانند روشی مقرون به صرفه و ساده برای استفاده از آب‌های زیرزمینی باشند. امید است در کنار صرف هزینه‌های زیاد در بخش سدسازی در کشور ما، ساخت این گونه سدها نیز بیش از پیش مد نظر قرار گیرد.

لازم به ذکر است که این تحقیق محدوده‌های مناسب را به صورت اولویت‌های مطالعات کامل‌تر پیشنهاد می‌نماید و انتخاب مناطق احداث سدها نیازمند مطالعات صحرایی می‌باشد.

- [1] Chang, D.Y. (1996). "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP". Eur J Oper Res 95, 649–655.
- [2] Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F. and Castelli, F. (2008). "A methodology for pre- selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Malia". physics and chemistry of the Earth 33 (2008) 74-85.
- [3] Foster, S. and Tuinhof, A. (2004). "Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence Brazilian and Kenyan Experience". World Bank. Groundwater Management Advisory Team. No. 5.
- [4] Gustafson, P. (1993). "Satellite Data and GIS as a Tool in Groundwater Exploration in a Semi-Arid Area". Ph.D. Thesis. Publ. A74. Chalmers University of Technology.
- [5] Karanth, K. R. (2001). "Groundwater Assessment, Development and Management". Mc Graw-Hill.
- [6] Kodituwakka, K.A.W. (1996). "Modeling Potential Groundwater Zones in Hard Rock Aquifers in Srilanka Using Remote Sensing and GIS Techniques". Hydro GIS, Pp. 210-215.
- [7] Nilsson, A. (1988). "Groundwater Dams for Small-scale Water Supply". Intermediate Technology Publications Ltd. London. pp.91.
- [8] Saraf, A.K. and Choudhury, P.R. (1998). "Integrated Remote Sensing and GIS for Groundwater Exploration and Identification of Artificial Recharge Sites". Int. J. of Remote Sensing. Vol.19. No.10. Pp. 1825-1841.
- [9] Vanrompay, L. (2003). "Report on The Technical Evaluation & Impact Assessment of Subsurface Dams (SSDs)". TLDP Technical Report. Pp.14.
- [10] Wang, Y.J. (2008). "Applying FMCDM to evaluate financial performance of domestic airlines in Taiwan". Expert Systems with Applications. 34.1837–1845.
- [11] Wang, J.J. and Yang, D.L. (2007). "Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing". Computers & Operation Research. 34. 3691–3700.
- [۱۲] اقدر، ح.، (۱۳۹۱). "مسیریابی خطوط لوله انتقال نفت با استفاده از GIS و منطق فازی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران.
- [۱۳] اورنگ، م.، (۱۳۹۰). "مدل‌سازی و مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت گلگیر با تاکید بر امکان‌سنجی و تأثیر سد زیرزمینی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید چمران.
- [۱۴] پیرمرادی، ر.، نعی، م.، اسدیان، ف.، (۱۳۸۹). "تعیین مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی: دشت ملایر در استان همدان". فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۸، تابستان ۱۳۸۹.
- [۱۵] چزگی، ج.، مرادی، ح.، (۱۳۸۸). "مکان‌یابی سدهای زیرزمینی به روش معیارهای حذفی با استفاده از GIS". پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران.
- [۱۶] خیرخواه زرکش، م.م.، (۱۳۸۷). "استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی مطالعه موردی: دامنه‌های شمالی کوه‌های کرکس- نطنز". مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۹.
- [۱۷] داودی راد، م.ر.، بهرنگی، ع.، میانجی، ی.، (۱۳۸۳). "سدهای زیرزمینی ابزاری مفید در مدیریت منابع آب زیرزمینی". مجموعه مقالات اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، تهران، ۲۶- ۲۷ آبان، ۲۱ ص.
- [۱۸] سلیمانی، س.، نیکودل، م.، ارومیه‌ای، ع.، بهرامی، ح.، (۱۳۸۷). "مکان‌یابی گزینه‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی: دشت مشهد)". سومین کنفرانس منابع آب ایران.
- [۱۹] عطائی، محمد.، (۱۳۸۹). "تصمیم‌گیری چندمعیاره". انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. سمنان.
- [۲۰] علیزاده، امین.، (۱۳۷۷). آستان قدس رضوی. مشهد.
- [۲۱] کردوانی، پرویز.، (۱۳۸۵). ژئوهیدرولوژی، دانشگاه تهران. تهران.
- [۲۲] محرابی‌نژاد، ایمان.، (۱۳۸۸). "پهنه‌بندی مکان‌های مناسب جهت احداث سدهای زیرزمینی در آبخوان دشت گلگیر، جنوب‌شرق مسجده سلیمان". پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر.
- [۲۳] مطالعات ژئوالکتریک سازند سخت محدوده مطالعاتی تاکدیس آسماری، و آبرفت دشت‌های لهری و اسکندرآباد سی‌میلی (۱۳۸۵). مدیریت مطالعات پایه منابع آب. سازمان آب و برق خوزستان.

