Archive of SID

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering

Vol. 9, No. 30, Fall 2015

سال نهم- شماره ۳۰- پاییز ۱۳۹۴

ن مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از تئوری منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز درونگر درگز)

علی طالبی[1]، احسان زاهدی[2]

تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:

چکیده

سدهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که جریان طبیعی آب‌های یرزمینی را مسدود نموده و سبب ایجاد ذخایر آبی در زیرزمین می‌شوند. بنابراین در مناطق خشک که محدودیت منابع آب وجود دارد، می‌توان با احداث این سازه‌ها منابع آب را مدیریت نمود. هدف از انجام این تحقیق تعیین محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی به روش منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی است. پارامترهای موثر که جهت مکان‌یابی سد زیرزمینی استفاده شده شامل شیب، زمین‌شناسی، نفوذپذیری، شماره منحنی، کاربری اراضی، EC، فاصله از جاده، فاصله از روستا، نیاز آبی مناطق مسکونی و ضخامت آبرفت است. لایه‌های مربوط به هر پارامتر توسط تئوری منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی وزن دهی شد و با عملگر حاصلضرب، حاصلضرب جبری عملیات تلفیق شاخص‌ها انجام گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد ۲٤/٤ درصد از کل مساحت حوزه جزو مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی محسوب می‌شود. همچنین ٤۱/٤ درصد مساحت حوزه نیز جزو مناطق نسبتا مساعد به شمار می‌رود. همچنین با توجه به اینکه سد زیرزمینی روی بستر آبراهه‌ها و شیب کمتر از ۵ درصد احداث می‌شود این دو لایه بعنوان فیلتر در نظر گرفته شد که در نهایت ۱۷ منطقه مساعد بعنوان نقاط بهینه جهت احداث سد زیرزمینی تعیین گردید که ۱۱ نقطه در منطقه مناسب و ٦ نقطه در منطقه نسبتا مساعد احداث سد زیرزمینی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: سد زیرزمینی، مکان‌یابی، منطق فازی، تحلیل سلسله مراتبی، مناطق مستعد

مقدمه

آب یک منبع ضروری برای ادامه‌ی زندگی بشر است. با توجه به پتانسیل تغییرپذیری آب و هوا و روند مصرفی فعلی نگرانی از ایجاد بحران آب در سراسر جهان در آینده پیش‌رو وجود دارد (۳). در مناطق خشک همانند سطح عظیمی از کشور ما، انسان همواره با کمبود آب مواجه بوده و هست. در این مناطق مکان افزایش اب قابل استفاده بسیار محدود است. از این رو برای یافتن راه حل کمبود آن، باید با مدیریتی صحیح، بیشتر به حفاظت و بهره‌برداری صحیح از آن توجه داشت. جمع‌آوری آب از جمله اقداماتی است که بویژه در بهره‌برداری صحیح از آب‌های موجود در مناطق خشک می‌تواند موثر واقع شود [۱۱].

یکی از راه‌های مقابله با روند افزایش جمعیت و به تبع آن کمبود آبی که در آینده وجود خواهد آمد و همچنین تغییرات اقلیمی، ذخیره آب از طریق روش‌های جدید مانند جمع‌آوری آب باران و روش‌های تغذیه مصنوعی است [۱٤، ۳]. این روش‌ها علاوه بر ایجاد مخزن آب سطحی با تغذیه آبهای زیرزمینی باعث افزایش سطح آبهای زیرزمینی می‌شوند. تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌تواند به دو روش طبیعی (نفوذ آب‌های سطحی) و یا مصنوعی (فعالیت‌های عمرانی) باشد [٦]. مدیریت آبهای زیرزمینی با استفاده از روش‌های ذخیره‌سازی مصنوعی آب می‌تواند هم به وسیله‌ی سد شن و ماسه‌ای یا به‌طور مستقیم با استفاده از سفره‌های موجود به عنوان سد زیرزمینی طبیعی انجام شود. چنین سدهایی یک روش موثر و مقرون به صرفه جهت تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی در چند دهه اخیر برده است [۱۷]. سدهای زیرزمینی نسبت به سدهای ذخیره‌ای شنی موفقیت بیشتری داشته‌اند چون بسیاری از سدهای شنی به دلیل تغییرات در دوره‌های رودخانه، کج شدن سد و دیگر پدیده‌های فیزیکی شکست خورده‌اند [۱۵]. سدهای زیرزمینی به دلیل کارایی بالا، هزینه پایین ساخت، کاهش خطر آلودگی آب، کاهش تلفات تبخیر و امکان استفاده از زمین بعد از اجرای سد به سایر اقدامات ترجیح داده می‌شود [۱۰].

ذخیره‌سازی زیرسطحی برای تامین آب یا جلوگیری از نفوذ آب شور به سفره‌های آب زیرزمینی پتانسیل زیادی از اثرات زیست محیطی و اجتماعی این نوع سدها را نشان می‌دهد [۲۲]. سدهای زیرزمینی بر سطح آب زیرزمینی در مناطق بالادست و پایین دست سد و همچنین کیفیت آب آن مناطق تاثیر می‌گذارد [۲۳].

این سازه‌ها در مناطقی مورد استفاده قرار می‌گیرند که جریان

۱- دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد (مسئول مکاتبات)
talebisf@yazd.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه یزد eb_zahedi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

آب‌های زیرزمینی به طور قابل ملاحظه‌ای در طول مدت سال تغییر می‌کند. قاعده کلی در این سدها بر این اساس است که به‌جای ذخیره آب در سطح، در زیرزمین آب ذخیره می‌شود [۱۹].

یکی از مدل‌های مفید جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی که در مبحث سد زیرزمینی می‌توان به آن اشاره کرد، منطق فازی است. این مجموعه توسط یک تابع عضویت مشخص می‌شود. عضویت یک به یک مجموعه یعنی تعلق کامل و عضویت صفر یعنی عدم تعلق به مجموعه . هر چه درجه عضویت به یک نزدیک‌تر باشد نشانه تعلق بیشتر به مجموعه مورد نظر است و برعکس. با استفاده از توابع فازی می‌توان نقشه‌های مختلف را به تعدادی کلاس تفکیک نمود. بر این مبنا به هر کلاس از مجموعه، بر اساس میزان تأثیرگذاری، یک درجه عضویت بین صفر تا یک داده می‌شود.

تاکنون تحقیقات زیادی در مورد مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی انجام گردیده است ولی در زمینه استفاده از توابع فازی برای مکان‌یابی سد زیرزمینی تحقیقی صورت نگرفته است. این مرحله بدلیل اینکه سود و زیان پروژه را به همراه دارد باید به طور دقیق اجرا شود. فوستر و همکاران [۵] در بررسی سدهای زیرزمینی احداث شده در برزیل نشان دادند که عوامل حجم مخزن ، عمق سنگ بستر نسبت به سطح مخزن، نفوذپذیری خاک مخزن و کیفیت شیمیایی خاک مخزن نقش موثری در موفقیت سدهای زیرزمینی دارند. عمران علی و همکاران [۸] در مکانیابی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی برای شبیه‌سازی جریان زیرزمینی از مدل‌سازی بیلان آبی استفاده کردند و بر اساس رقومی کردن اطلاعات زمین‌شناسی و مطالعه ی اطلاعات چینه شناسی لایه‌ها به تجزیه و تحلیل مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی بر اساس شاخص رطوبت توپوگرافی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این روش می‌تواند اولین مرحله برای برنامه‌ریزی و ساخت سدهای زیرزمینی و ایجاد روش پایه در مطالعات مفصلتر باشد. ایشیدا و همکاران [٦]، وجود سدهای زیرزمینی در طیف گسترده‌ای از کشورهای جهان نظیر ژاپن، کره، چین، هند،اتیوپی، کنیا، برزیل و آمریکا را گزارش کرده است. همچنین عنوان کرده است در ژاپن سدهای زیرزمینی با ظرفیت ذخیره‌سازی بیش از ده میلیون مترمکعب ساخته شده است. چزگی و همکاران [۲]، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به مکانیابی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی پرداختند. ابتدا معیارهای لازم و تاثیرگذار در انتخاب مکان برای احداث سد زیرزمینی را شناسایی نمودند سپس با استفاده از روش مقایسه‌های زوجی، معیارهای موجود در هر جزء را اولویت‌بندی کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند معیار آب در مقایسه با سایر معیارها بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است.

عشقی‌زاده و نورا [٤]، در تحقیقی به تعیین محل مناسب احداث سد زیرزمینی بر روی قنات دهن چنار واقع در شهرستان گناباد پرداختند. برای این منظور ابتدا بازه‌هایی از قنات که پتانسیل اولیه جهت احداث سد زیرزمینی را دارا بودند انتخاب کردند. در نهایت ۲ نقطه مناسب را جهت احداث سد زیرزمینی بر روی قنات با استفاده از شاخص ظرفیت ابرفی شناسایی و تعیین کردند. مهدوی و همکاران [۱۳]، در تحقیقی به مکان یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد پرداختند. آنها لایه‌های اطلاعاتی مربوط به شیب، نفوذپذیری سطحی، ضخامت آبرفت کیفیت شیمیایی آب، کاربری اراضی و شبکه آبراهه‌ای با استفاده از منطق فازی در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 کلاسه‌بندی و وزن‌دهی کردند و با عملگر حاصلضرب جبری عملیات تلفیق شاخص‌ها را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ٤/٧٩ درصد از کل حوضه مناسب و ۱۷/۹٤ درصد نامناسب است. پور قاسمی و همکاران [١٦]، در تحقیقی به ارزیابی عوامل ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی در تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی و روش AHP پرداختند. آنها مهمترین لایه‌های موثر در خطر زمین اغزش را با استفاده از نرم‌افزار ILWIS اماده کردند و با استفاده از نرم‌افزار Matlab عملیات فازی کردن لایه‌ها را انجام دادند. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را تهیه نمودند.

اولین و مهمترین مرحله در احداث سد زیرزمینی شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث سد می‌باشد. بدین ترتیب و با توجه به شرایط مساعد در کشور ما و کمبود منابع آب (خصوصا در مناطق خشک و نیمه خشک) این تحقیق سعی بر آن است تا وزن عوامل موثر بر مکانیابی مناطق مستعد سد زیرزمینی با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی تعیین و مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی در حوزه آبخیز درونگر مشخص گردد.

روش تحقیق

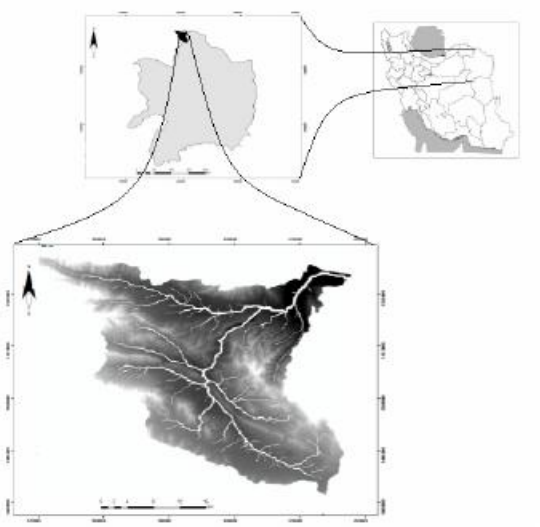
منطقه مورد مطالعه:

محدوده مورد مطالعه درونگر در شمال شرق کشور و شمال استان خراسان واقع گردیده و بخش شمالی حوزه با کشور ترکمنستان هم مرز می‌باشد. این حوزه بین مختصات جغرافیایی ″ ٤٠ ′ ١١ ° ٥٨ تا ″ ٣٨ ′ ٣٩ ° ٥٨ طول شرقی و ″ ٥٥ ′ ٣٧ ° ٣٧ تا ″ ١٣ ′ ٤١ ° ٣٧ عرض شمالی واقع شده و مساحت آن ۹۸۲/۳۹ کیلومتر مربع معادل ۹۸۲۳۹ هکتار می باشد.

از نظر تقسیم‌بندی کلی حوزه‌های آبریز ایران، محدوده مورد مطالعه بخشی از حوزه آبریز کشف رود و هریرود (کویر قره قوم) محسوب می‌شود. حوزه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و تقریباً در شمال شهرستان قوچان قرار داشته و شهرستان درگز در شمال شرق حوزه واقع گردیده است. مرتفع‌ترین بلندی در مرز جنوبی حوزه بر روی سلسله جبال کپه داغ و رشته کوه الله اکبر با ۲۸٦۷ متر از سطح دریا وپست‌ترین در نقطه خروجی حوزه در محدود سد درونگر به میزان ۹۰۷ متر از سطح دریا می‌باشد. رود درونگر که یکی از رودخانه های اصلی حوزه مورد نظر به حساب می آید، از ارتفاعات آق کمر از مردله ، ترکانلو در جنوب باجگیران

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه درونگر درگز

Figure 1. Geographical location of the Daroongar watershed

سر چشمه گرفته ودر جهت مشرق جریان می یابد و پس از اتصال شاخه های فرعی از شمال شهر درگز به شمال شرق متمایل وبه داخل خاک ترکمنستان جریان می یابد . رژیم آبی این رودخانه برفی بارانی برده و دارای جریان پایه نسبتا زیادی می باشد.

معیارهای مناسب جهت احداث سد زیرزمینی

معیار شیب: شیب بعنوان یکی از عوامل مهم در تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی به شمار می رود. برای تهیه نقشه شیب از خطوط تراز ارتفاع نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری به عنوان داده‌های اولیه ارتفاعی جهت ساخت مدل رقومی ارتفاع مورد استفاده قرار گرفته است. باشد. از روی نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب منطقه حاصل گردید.

معیار زمین‌شناسی: در این تحقیق زمین‌شناسی یک معیار خیلی مهم برای تعیین لیتولوژی کناره‌های مخزن می‌باشد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی زمین‌شناسی از نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی ایران استفاده گردید. جهت اجرای سد زیرزمینی مناطق آبرفتی از بیشترین اهمیت برخوردار هستند. سدهای زیرزمینی روی بستر غیرقابل نفوذ یا با نفوذپذیری خیلی کم ساخته می‌شوند تا از تلفات ناشی از نفوذ عمقی از زیر سد جلوگیری شود. پادگانه‌های آبرفتی دارای نفوذپذیری بالایی هستند. برای مشخص کردن موقعیت پادگانه‌های آبرفتی از نقشه زمین‌شناسی استفاده گردید.

معیار شماره منحنی (CN): متوسط شماره منحنی شاخصی است که عکس‌العمل حوزه را نسبت به بارش برای تولید رواناب بیان می‌کند و نشان‌دهنده بخشی از آب باران است که تبدیل به رواناب می‌شود. هر چه حوزه بالادست یک سد زیرزمینی دارای متوسط شماره منحنی کمتری باشد، امکان نفوذ بارندگی و افزایش جریان‌های زیرقشری وجود خواهد داشت. برای تهیه نقشه CN، از نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک استفاده شد.

معیار کاربری اراضی: جهت تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Google Erath و همچنین بازدیدهای میدانی محدوده‌ی کاربری حوزه درونگر مشخص شد. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای کمکی مانند Global mapper اطلاعات به محیط نرم‌افزار Arc GIS برده شد و نقشه رقومی کاربری منطقه بدست آمد. با استفاده از آن انواع کاربری‌های موجود شامل مناطق مسکونی، باغات و مزارع کشاورزی، مراتع، زمین‌های بایر (شامل پادگانه‌های مرتفع آبرفتی و کفه‌های رسی موجود در مناطق پست) و نهشته‌های آبرفتی موجود در بستر رودخانه‌های منطقه مشخص گردید.

جاده نیز یکی از عوامل محدودکننده احداث سد زیرزمینی به‌شمار می‌رود. لذا برای مناطقی که در نزدیکی جاده قرار داشتند حریم ۱۰۰ متری در نظر گرفته شد. همچنین برای تهیه لایه نیاز آبی مناطق مسکونی به آب جمعیت روستاهای حوزه درونگر با استفاده از اطلاعات مربوط به سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ محاسبه گردید و با توجه به پراکنش روستاها در سطح حوزه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS نقشه مورد نظر تهیه گردید. برای تهیه نقشه فاصله از روستا نیز با استفاده از نقشه‌های رقومی موقعیت روستاها مشخص گردید. سپس در برنامه Arc Gis برای آنها حریم‌های با فواصل مورد نظر تعریف شد.

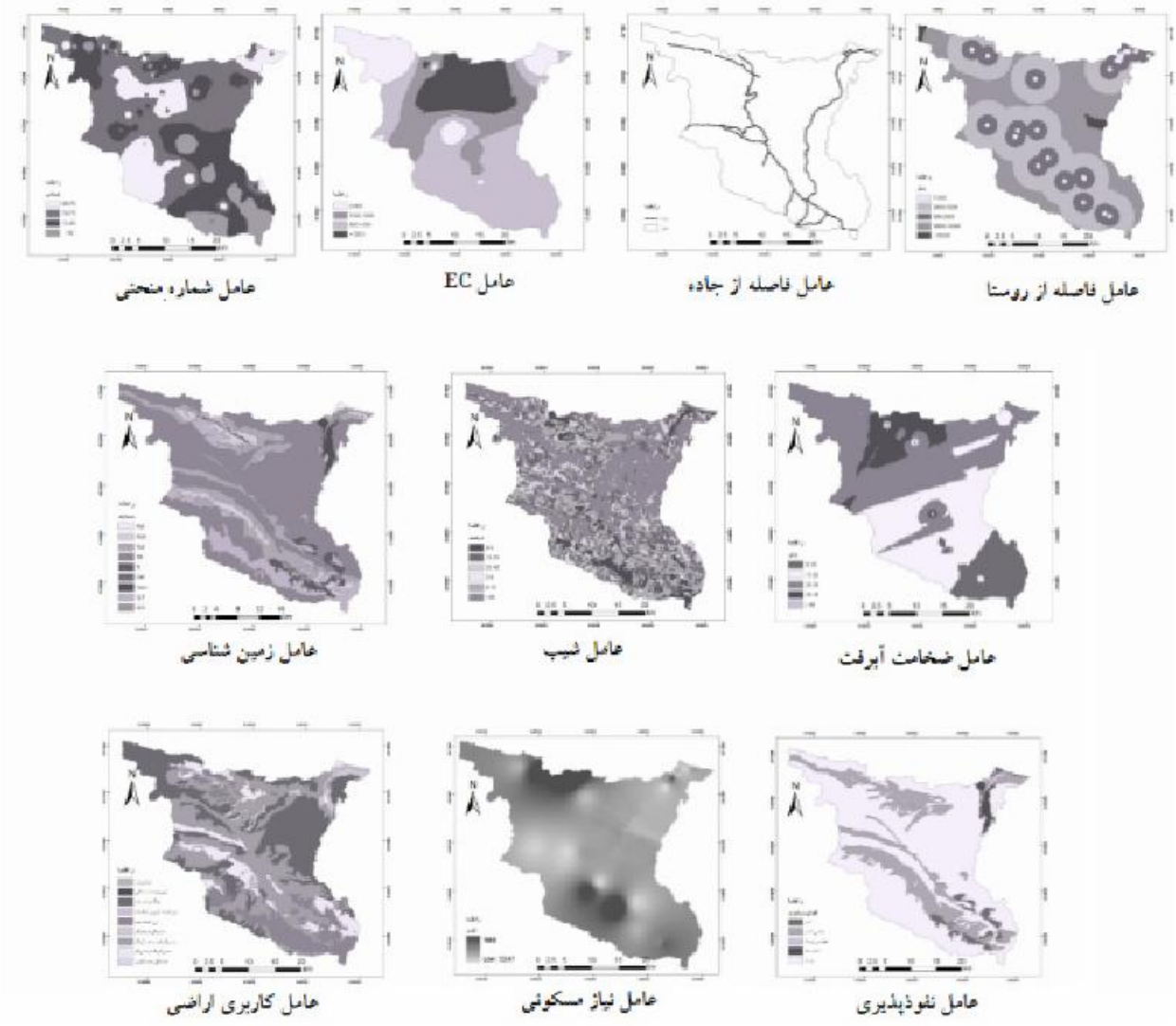
در بحث کیفیت آب عوامل مختلفی مانند کلرورها، سولفات‌ها، سختی آب، کربنات و بی‌کربنات، باقی‌مانده خشک و هدایت الکتریکی مدنظر هستند. در بین عوامل فوق هدایت الکتریکی (EC) به طور کلی نقش اساسی داشته و در تحلیل‌های کیفی آب بیشتر استفاده می‌شود. برای تهیه نقشه EC حوزه درونگر نیز از اطلاعات چاه‌های پیزومتری موجود در سطح حوزه استفاده گردید.

تئوری مجموعه های فازی

تئوری فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی‌زاده در مقاله‌ای با عنوان

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ نقشه‌های پایه حوزه آبخیز درونگر مورد مورد استفاده در تحقیق

Figure 2: Map of the Doroongar watershed used in the research

«مجموعه‌های فازی» در مجله اطلاعات و کنترل ارائه گردید. تئوری فازی، شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کنند. لطفی‌زاده عنوان نمود که برای مشخص شدن اعضاء یک مجموعه می‌باید تابع عضویت تعریف شود، یعنی میزان عضویت می‌تواند دقیقاً صفر و یک نباشد بلکه مقادیری ما بین این دو است. صفر به این معنی است که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک، یعنی به طور کامل عضو آن مجموعه می‌باشد [۱۷]. یک مجموعه فازی $\tilde{A}$ در فضای جهانی M به وسیله یک تابع $\mu\tilde{A}(x)$ که مقادیری در بازه [۰، ۱] اختیار می کند، مشخص می‌شود. اگر X یک مجموعه مرجع باشد آنگاه مجموعه فازی $\tilde{A}$ در X یک مجموعه از زوج های مرتب می‌باشد:

رابطه ۱

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\}$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)=1$ تابع عضویت یا درجه عضویت x به $\tilde{A}$ که تابعی از X به [۰، ۱] است. نزدیکی مقدار به عدد یک نشان دهنده تعلق بیشتر x به مجموعه $\tilde{A}$ می باشد در حالتی که x کاملا در $\tilde{A}$ باشد داریم:

رابطه ۲:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = ۱$$

تابع عضویت مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند و در واقع تابعی که میزان درجه عضویت اعضای مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد، تابع عضویت می‌گویند. در گام دوم تابع عضویت در مدل فازی برای فاکتورهای مورد نظر به صورت غیرخطی در نظر گرفته شد، مدل‌های مذکور بر اساس تأثیر پارامتر مورد بررسی بر احداث سد زیرزمینی انتخاب شد (روابط ۳ و ٤)، [۱۲].

رابطه ۳:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, x \le a \\ 1 - 2(\frac{x-a}{b-a})^2, a < x \le \frac{a+b}{2} \\ 2(b - \frac{x}{b-a})^2, \frac{a+b}{2} < x < b \\ 0, x \ge b \end{cases}$$

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه ٤:

$$\mu(x)=\begin{cases}0, x\le a\\ 1-2(\frac{x-a}{b-a})^2, a<x\le\frac{a+b}{2}\\ 2(b-\frac{x}{b-a})^2, \frac{a+b}{2}<x<b\\ 1, x\ge b\end{cases}$$

تابع فازی بکار رفته تابع غیرخطی نامتقارن است که در آن حدود a و b ارزش‌های بکار رفته برای هر یک از فاکتورهای مورد مطالعه است. برای تعیین این حدود میتوان حد بحرانی این فاکتوره را به عنوان معیار انتخاب کرد. حد بحرانی پارامترها مقادیری هستند که در ازای مقادیر کمتر یا بیشتر از آن، میزان تأثیر پارامتر قابل توجه نباشد. این مقدار براساس نظر کارشناسی اعمال می‌شود و در جدول ۱ ارایه شده است.

نقشه‌های نفوذپذیری و زمین‌شناسی چون بصورت کمی نیستند نمیتوان به روش فازی وزن‌دهی گردند. لذا این دو لایه با استفاده از منطق برلین (منطق صفر و یک) وزن‌دهی گردید. یعنی در نقشه‌های پایه، هر واحد از نظر سد زیرزمینی مناسب یا نامناسب است و حالت بینابینی از لحاظ مناسب بودن وجود ندارد. در نهایت در لایه زمین شناسی به قسمت‌هایی که دربرگیرنده‌ی پادگانه‌های آبرفتی مرتفع و قدیمی می‌باشند ارزش عددی صفر و به سایر مناطق ارزش عددی ۱ تعلق گرفت. همچنین در لایه نفوذپذیری نیز به مناطقی که از نفوذپذیری متوسط و بالایی برخوردار هستند وزن ۱ و به مناطق نفوذ ناپذیر یا نفوذپذیری کم وزن صفر تعلق گرفت.

وزن‌دهی پارامترها بر اساس روش AHP

با تعیین مجموعه‌ای از معیارها برای ارزیابی گزینه‌های تصمیم گیری، لازم است تا هر معیار به صورت یک لایه در محیط GIS نشان داده شود. نقشه‌های رستری شامل لیتولوژی نمونه‌ای از لایه‌های کیفی و نقشه رستری شیب، CN و ضخامت آبرفت نمونه‌ای از لایه های کمی می‌باشند. پس از انتخاب این لایه‌ها وزن‌دهی به آنها انجام می‌شود. هدف از وزن دهی به معیارها آن است که بتوان اهمیت هر معیار را نسبت به معیارهای دیگر بیان کرد که در این پژوهش از روش سلسله مراتبی برای وزن‌دهی لایه‌ها استفاده شده است. روش مبتنی بر مقایسه دو به دو توسط Saaty [۱۸] در متن یک فرایند سلسله مراتبی تحلیلی ارائه شده است. در این روش برای ایجاد ماتریس مقایسه نسبت، مقایسه‌های دو به دو به عنوان ورودی در نظر گرفته شده و وزن‌های نسبی بعنوان خروجی تولید می‌گردد. در این تحقیق به دلیل اینکه هر یک از پارامترها دارای تاثیر متفاوتی روی انتخاب محل مناسب اجرای سد زیرزمینی هستند و پارامترهای موثر بیش از یک فاکتور بوده، از روش مقایسه زوجی استفاده شد. برای محاسبه وزن هر پارامتر از ماتریس مقایسه زوجی از روش تقریبی (میانگین حسابی) استفاده شد. این روش به این صورت است که ابتدا مقادیر هر یک از ستون‌ها با هم جمع شده و سپس مقادیر هر عنصر از ماتریس را به جمع کل ستون‌های همان عنصر تقسیم کرده و در مرحله آخر متوسط عناصر در هر سطر را به

جدول ۱ مقادیر حدود a و b توابع عضویت فازی

Table 1. Approximative values of 'a' and 'b' in phasic membership functions

حدود تابع عضویت فازی	فاصله از جاده	نیاز مسکونی	شیب	فاصله از روستا	ضخامت ابرفت	CN	EC
approximation of the phasic membership function	distance from road	residential water demand	Slop	distance from the village	the thickness of the alluvium	CN	EC
a	500	100	%5	1000 m	10 m	65	1
b	6000	500	%20	9000 m	40 m	85	2000

جدول ۲ وزن بدست آمده از نرم‌افزار Expert choice برای پارامترها

Table 2. Weight obtained from the Expert choice software for the parameters

معیار	وزن	معیار	وزن	معیار	وزن	معیار	وزن	معیار	وزن
Parameter	Weight	Parameter	Weight	Parameter	Weight	Parameter	Weight	Parameter	Weight
شیب slop	0.268	نفوذپذیری Infiltration	0.101	فاصله از جاده distance from road	0.037	CN	0.148	زمین شناسی geology	0.168
EC	0.06	ضخامت آبرفت thickness of the alluvium	0.125	فاصله از روستا distance from the village	0.037	کاربری اراضی landuse	0.11	نیاز مسکونی residential water demand	0.058

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳ نتیجه حاصل از تلفیق نقشه‌های پایه به روش فازی(بدون محدودیت کاربری)

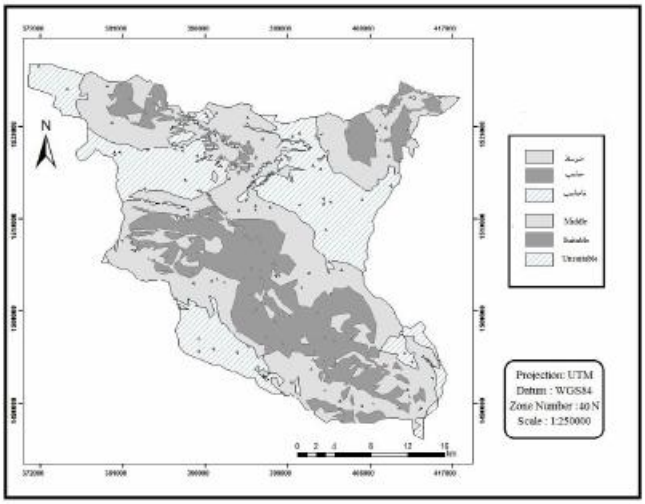
Table 3. results of integrating basic maps with the phazzy method (without restricting the landuse)

درجه تناسب	Degree of fitness	مساحت (هکتار) Area (ha)	مساحت (درصد) Area (%)
مناسب	Suitable	25518.8	25.9
متوسط	Medium	42416.5	43.1
نامناسب	Unsuitable	30307.7	31

جدول٤ نتیجه نهایی حاصل از تلفیق به روش فازی(با اعمال محدودیت کاربری اراضی)

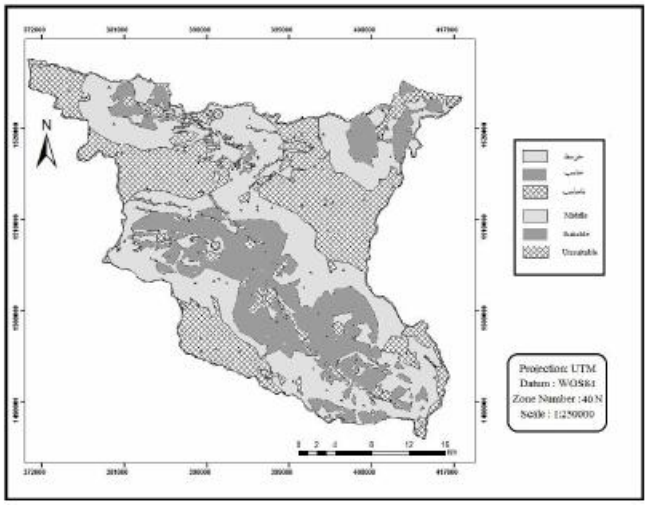
Table 4. final results of integrating basic maps to the phazzy method (with restricting landuse)

درجه تناسب	Degree of fitness	مساحت (هکتار) Area (ha)	مساحت (درصد) Area (%)
مناسب	Suitable	24003.3	24.4
متوسط	Medium	40762.6	41.4
نامناسب	Unsuitable	33473.1	34.2



شکل۳ نقشه مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی بدون محدودیت کاربری اراضی

Figure 3. Map of potential areas with unrestricted landuse for constructing underground dam



شکل ٤ نقشه مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با درنظرگرفتن محدودیت کاربری اراضی

Figure 3. Map of potential areas for cunstructing underground dam with considerations of land use restrictions

دست می‌آید. بعد از تهیه نقشه‌های فازی وزن هر پارامتر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین شد و با ضرب در هر لایه شاخص نهایی مکان‌های داری پتانسیل جهت احداث سد زیرزمینی از حاصل ضرب تمامی لایه‌های بدست آمده تعیین گردید که با استفاده از شاخص فرق نقشه نهایی پهنه‌بندی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی تهیه شد.

بعد از بدست آمدن وزن هر لایه از عوامل موثر در انتخاب نواحی مستعد سد زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، نقشه طبقات هر لایه با استفاده از توابع فازی در محیط نرم‌افزار Arc GIS محاسبه گردید. سپس هر لایه با وزنی که برای آن لایه در محیط نرم‌افزار Expert choice بدست آمد تلفیق گردید و در نهایت نقشه مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی بدست آمد (شکل۳). شایان ذکر است مرحله قبل بدون در نظر گرفتن لایه کاربری اراضی انجام شد، در حالیکه کاربری منطقه یکی از عوامل مهم و محدودکننده در انتخاب محل مناسب احداث سد زیرزمینی بشمار می‌رود. سد زیرزمینی در مناطقی که دارای کاربری مرتع، جنگل تنک و یا زمین‌های زراعی دیم احداث می‌شود، و به هیچ عنوان احداث آن در نواحی با کاربری‌های زراعت آبی و باغی، مناطق دارای

www.SID.ir

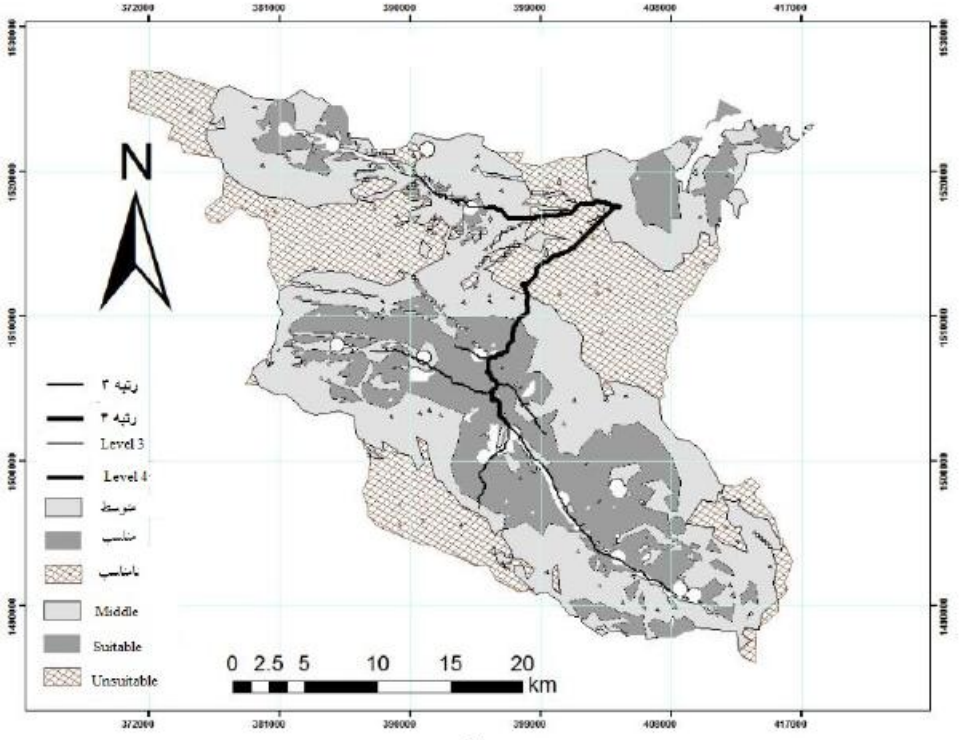
Archive of SID

برونزد سنگی، مناطق شوره زار و مناطق مسکونی و صنعتی احداث نمی‌شود. کاربری اراضی پارامتری کیفی است بنابراین نمی‌توان آن را به صورت اعداد و ارقام طبقه‌بندی کرد و در نهایت بصورت توابع فازی محاسبه گردد. در واقع پارامتر کاربری اراضی بعنوان فیلتر عمل می‌کند، یعنی هر یک از حالات کاربری اراضی جهت اجرای سد زیرزمینی یا مناسب است یا مناسب نیست و صرفا به شکل برلین امتیازدهی می‌شود. در ادامه نقشه حاصل از تلفیق نقشه‌های پایه به روش فازی، که هنوز توسط نقشه کاربری اراضی فیلتر نشده است، با نقشه کاربری اراضی ادغام شد. در نهایت نقشه نهایی تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی حاصل از تلفیق به روش فازی تهیه گردید.

نتایج و بحث

نقشه‌های پایه شامل، شیب، نفوذپذیری سطحی، فاصله از جاده، فاصله از روستا، زمین‌شناسی، نیاز مسکونی، EC و CN بر اساس منطق فازی بین صفر تا یک و نقشه‌های ضخامت آبرفت و زمین‌شناسی بر اساس منطق برلین وزن‌دهی شدند و با یکدیگر تلفیق گردیدند. نقشه جواب دارای مقادیری کمتر از وزن‌های داده شده در هر لایه می‌باشد که به سه کلاس مناسب، متوسط و نامناسب تقسیم‌بندی شد و در شکل۳ قابل مشاهده است . جدول ۳ اعداد و ارقام به دست آمده را نشان ۲۵/۹ درصد از کل اراضی مناسب، ٤۳/۱ درصد متوسط و ۳۱ درصد نامناسب جهت احداث سد زیرزمینی تشخیص داده شد. در مرحله بعد نقشه بدست آمده با نقشه کاربری اراضی که با استفاده از منطق برلین کلاسه‌بندی شده، تلفیق شد. در این حالت مناطقی که دارای مشکل کاربری داشتند حذف شده‌اند (شکل ٤). طبق جدول٤ کل اراضی مناسب ۲٤/٤ درصد و همچنین ٤۱/٤ درصد نیز اراضی متوسط جهت احداث سد زیرزمینی تشخیص داده شد.

پس از بدست آمدن نتایج باید به این نکته توجه داشت که سدهای زیرزمینی برای کارایی بیشتر فقط در بستر آبراهه‌ها و مخصوصا در آبراهه‌های با رتبه ۳ و ٤ ساخته میشوند [۲،۱۹]. لذا برای تعیین بهترین مناطق جهت احداث سد زیرزمینی نقشه آبراهه‌های حوزه با استفاده از نرم افزارArc hydro طبقه بندی و به ۵ رتبه کلاس بندی گردید. بعد از رتبه بندی آبراهه‌ها با انتخاب آبراهه‌های دارای رتبه ۳ و ٤، این لایه نیز بعنوان یک پارامترمحدودکننده دیگر در نظر گرفته شد [۲] (شکل۵). همچنین یکی دیگر از معیارهای اصلی احداث سد زیرزمینی داشتن مخزن با حجم ذخیره بالای آب است. لذا برای تحقق این معیار سد باید در مناطقی از بستر آبراهه‌ها ساخته شود که بستر آبراهه دارای شیب کم باشد. در ادامه با روی هم قرار گرفتن نقشه های پهنه بندی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با در نظر گرفتن کاربری اراضی، نقشه حاوی آبراهه‌های با رتبه ۳ و ٤ و همچنین نقشه مناطق دارای شیب کمتر از ۵ درصد مناطق نهایی مناسب احداث سد زیرزمینی مشخص گردید. بعد از مشخص شدن مناطق نهایی مستعد احداث سد زیرزمینی، با توجه به موقعیت هر یک از مناطق، ۷ پارامتر موجود در جدول ۵ محاسبه گردید.

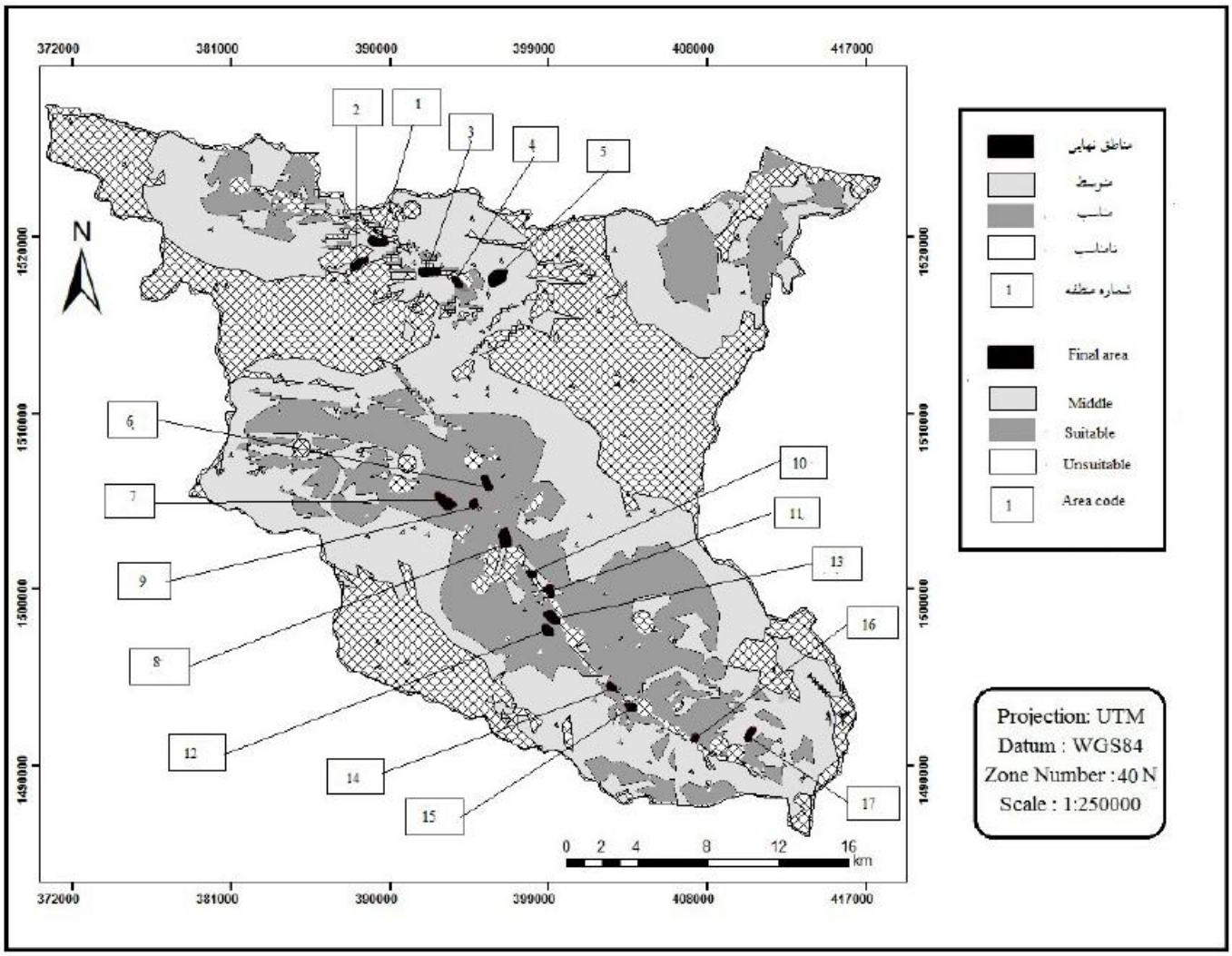


شکل ۵ نقشه آبراهه‌های با رتبه ۳ و ٤

Figure 5. Map of streams with Level 3 and 4

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦ نقشه نهایی ۱۷ منطقه مناسب جهت احداث سد زیرزمینی

Figure 6. Map of the 17 candidates for construction of underground dam

نتیجه‌گیری:

بعد از تلفیق و روی هم قرار گرفتن نقشه نهایی پهنه‌بندی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با لایه‌های محدودکننده مانند کاربری اراضی، نقشه حاوی آبراهه‌های با رتبه ۳ و ٤ و همچنین نقشه مناطق دارای شیب کمتر از ۵ درصد ۱۷ نقطه دارای پتانسل خوب جهت احداث احداث سد زیرزمینی مشخص گردید (شکل ٦). از بین ۱۷ منطقه نهایی، ۱۱ نقطه در مناطق دارای قابلیت مناسب جهت احداث سد زیرزمینی و ٦ نقطه در مناطق با قابلیت متوسط احداث سد زیرزمینی قرار گرفت. طبق نقشه نهایی بیشتر مناطق مناسب در خروجی آبراهه‌ها به سفره‌های زیرزمینی عمیق می‌باشد که با نتیجه طباطبایی و همکاران [۲۱] که مناسب‌ترین نقاط برای احداث سدهای زیرزمینی ذخیره‌ای، خروجی دامنه‌های کوهستانی منتهی به کویر می‌باشد، مطابقت دارد. زیرا آبی که در پشت سد ذخیره خواهد شد، در شرایط قبل از طرح، از دسترس خارج شده و به هدر می‌رود. همچنین با نتایج چزگی و همکاران [۲]، به منظور جلوگیری از اثرات سوء بر سفره آب پایین دست، اجرای این طرح فقط در مناطقی توصیه می‌شود که آب‌های زیرزمینی در پایین دست شور شده و یا به اعماق رفته و از دسترس خارج می‌شوند همسو می‌باشد. از دیگر مناطق توصیه شده، خروجی رودخانه‌ها از دامنه‌های کوهستانی به سفره‌های عمیق می‌باشد. در بسیاری از مناطق مرکزی ایران، دبی جریانات زیرسطحی رودخانه‌ای نقش مهمی را در بیلان سفره‌های پایین دست ندارد . به همین دلیل، در صورت احراز سایر شرایط، می‌توانند نقاط مناسبی برای احداث سد زیرزمینی ذخیره‌ای باشند. در این حالت، احداث سدزیرزمینی باعث کاهش هزینه‌های بهره‌برداری می‌گردد.

همچنانکه در شکل ٦ نشان داده شده بیشترین مناطق مناسب جهت احداث سدزیرزمینی در جنوب منطقه مورد مطالعه می‌باشد. ۷۰ درصد از محورهای مناسب در این مناطق قرار دارند که نشان از پتانسیل بالای مناطق جنوبی منطقه جهت احداث این نوع سدها می‌باشند. دلیل این امر بالا بودن کمیت و کیفیت آب در این محدوده است که با نتایج سلیمانی [۲۰] و چزگی و همکاران [۲] همخوانی دارد. هر چه آبراهه دارای جریان زیرسطحی بیشتری باشد دارای

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۵ مشخصات ۱۷ منطقه نهایی احداث سد زیرزمینی

Table 5. Characteristics of the final 17 regions for underground dam construction

شماره محور Number of axis	کلاس تناسب	Degree of fitness	EC	CN	شیب slop	عمق ابرفت the thickness of the alluvium	فاصله از جاده distance from the road	فاصله از روستا distance from the village	نیاز مسکونی (نفر) residential water demand
1	متوسط	Medium	1058	76	3.2	40	300	5100	0
2	متوسط	Medium	1100	772	5	33	1800	4100	0
3	متوسط	Medium	1500	80	4	31	100	1581	170
4	مناسب	Suitable	15500	75	4	18	100	420	286
5	متوسط	Medium	1670	73	3.5	26	1800	1600	0
6	مناسب	Suitable	640	79	1.5	14	100	1800	0
7	مناسب	Suitable	840	78	5	18	200	2600	0
8	مناسب	Suitable	760	75	4	18	200	2900	0
9	مناسب	Suitable	1027	74	4	22	110	860	100
10	متوسط	Medium	990	73	1.5	21	115	1400	847
11	متوسط	Medium	1032	73.5	4	14	200	2800	0
12	مناسب	Suitable	900	72	5	13	1200	1530	0
13	مناسب	Suitable	980	70	4.9	9	520	1420	1011
14	مناسب	Suitable	830	79	4	8	200	600	110
15	مناسب	Suitable	860	79	4.9	11	100	2220	0
16	مناسب	Suitable	840	80	2.3	10	122	1360	0
17	مناسب	Suitable	820	81	5	8	1200	1200	350

اهمیت نسبی بیشتری، به دیگر آبراهه‌ها دارد. همچنین بالا بردن پراکنش روستاها، راه دسترسی و جمعیت بالا در این محدود اشاره کرد که از عوامل مهم دیگر در مکان‌یابی می‌باشد.

منابع

1-BouwerH.2002.Artificialrechargeofgroundwater: hydrogeology and engineering. Hydrogeol J 10:121–142

2- Chezgi, J. Kheyrkhah Zarkesh, M. Poorghasemi, H. 2010. Locating underground dam using GIS and AHP (Case Study: Tehran province). Journal of Iran-Watershed Management Science and Engineering. Vol. 4 , No. 13, pp: 65-68.

3- Danilenko A, Dickson E, Jacobsen M .2010. Climate change and urban water utilities: challenges and opportunities. Water Working Notes, Note. 24: 54235

4- Eshghizadeh, M and Noora, N. 2009. Determine the appropriate location of underground dams on canals. (Case study: Kalat watershed, Gonabad) Journal of Water and Soil Conservation. Vol. 17 , No.3

5- Foster, S, & Tuinhof, A. 2004. Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence Brazilian and Kenyan Experience World Bank Groundwater Management Advisory Team, No. 5,

6- Helmreich, B. and Horn, H. 2009. Opportunities in rainwater harvesting. Desalination 248(1 - 3): 118-124.

7- Hu, A.X., and Scott Mackay, D. 2001. Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling. Journal of Hydrology, 284: 57-77.

8- Imran AJ, Bo O, Ulla M. 2013. Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. Environ Earth Sci, DOI 10.1007/s12665-013-2295-1

9- Ishida S, Tsuchihara T, Yoshimoto S, Imaizumi M .2011. Sustainable use of groundwater with underground dams. JARQ 45(1): 51–61

10- Jha MK, Kamii Y, Chikamori K . 2009. Cost-

www.SID.ir

Archive of SID

effective approaches for sustainable groundwater management in alluvial aquifer systems. Water Resour Manag 23(2):219–233

11- Kardavani, P. 2003. Resources and water issues in Iran, the first volume, surface and ground water and issues regarding their utilization. Tehran University Publication, 414p. (In Persian)

12- Khasheei, A. Ghahraman, b. Kuchakzadeh, M. .2011 Evaluating the water harvesting potential from the aquifer using the chronological phase analysis. (Case Study: Plain Neyshaboor). Jornal of Iranian Water Research. Vol. 5 , No. 9, pp: 171-180.

13- Mahdavi, A. Emamzadeyi, M. Mahdavi najafabadi, R. Tabatabayi, S H. 2010. Finding the proper locations for artificial recharge of the underground aquifers using the phase logic in Shahre- kord Plain basin. Journal of Sciense and Technology Agriculture and Natural Resources. Water and Soil Sciense, Vol. 15 , No. 56

14- Ngigi SN .2003. What is the limit of up-scaling rainwater harvesting in a river basin? Phys Chem Earth 28:943–956

15- Petersen EN.2010. Join the wave with Erik Nissen-Petersen. Are sand dams the solution for water harvesting? TheWaterChannel No 1-July

16- Poorghasemi, H. Moradi, H. Fatemi Oghada, M. Mahdavifar, M. Mohammadi, M. 2011. Evaluating the Geomorphological and geological factors in preparing the Landslide Hazard map using the phase logic and the chronological analysis.Journal of Water and Soil Conservation. Vol. 17, No. 4,

17- Raju NJ, Reddy TVK, Munirathnam P .2006. Subsurface dams to harvest rainwater-A case study of the swarnamukhi river basin, Southern India. Hydrogeol J 14(4):526–531

18- Saaty, T. 1980. The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill.

19- Salami, H .2006. Determining the suitable locations for subsurface dams in volcanic areas using remote sensing. (Case study: northern mountains Karkas). MSc Thesis Hydrology (Hydrogeology). 143p. (In Persian)

20- Soleymani, S. 2006. Surveying the geological characteristics of Mashhad Desert with the purpose of zoning the potential of building the underground dams using GIS and RS (Case Study: Mashhad plain). MSc Thesis in Geological Engineering, Tarbiat Modarres University. (In Persian)

21- Tabatabaei Yazdi and J. Nasiri, M. 2002. 1th National Conference of strategies to cope with drought. pp: 546-553.

22- Yilmaz, M. 2003. Control of ground water by underground dams, M.C. Thesis, Dept. of Civil. METU, Ankara. 96p.

www.SID.ir