پهنه‌بندی دشت کبودرآهنگ به منظور احداث سد زیرزمینی به روش ترکیب نقشه‌های فازی

مرتضی حیدری‌مظفر[1]
مرتضی شهاوند[2]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۹/۰۹

****

چکیده

استفاده از آب زیرزمینی یکی از راه‌کارهای مقابله با کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. کمبود منابع مالی، زمانی و تکنولوژیکی به‌علاوه شرایط فیزیکی سبب می‌شود که استفاده از آب در نواحی خشک در اغلب کشورهای در حال توسعه با محدودیت‌هایی مواجه باشد. طی چند سال گذشته استفاده از سدهای زیرزمینی به‌عنوان راه‌حلی برای غلبه بر مشکل کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، به روش ترکیب نقشه‌های فازی در سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ، واقع در شمال استان همدان شناسایی می‌شوند. برای این منظور، پارامترهای مؤثر در احداث سد زیرزمینی همچون شیب، موقعیت چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها، مسیر رودخانه‌ها، محل قرارگیری گسل‌ها، موقعیت روستاها و شهرها، وضعیت راه‌های ارتباطی و همچنین ضخامت آبرفت برای منطقه موردمطالعه جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از ابزارهای تحلیل مکانی، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هرکدام از پارامترها به‌صورت لایه‌ی رستری و با استفاده از عملگر فاصله اقلیدسی و درون‌یابی براساس روش مثلث‌بندی دلونی آماده‌سازی شده و به کمک ترکیب نقشه‌های فازی، استانداردسازی بر روی معیارهای مختلف انجام گرفت. با جمع‌بندی تحقیقات و استانداردها، نقشه‌های معیار به کمک عملگرهای فازی با هم ترکیب شد؛ در روش عملگر اشتراک فازی منطقه‌ای به وسعت ۳۳٤۲ هکتار و در روش عملگر ضربی فازی منطقه‌ای به وسعت ۲۳۹۳ هکتار، حدود یک درصد منطقه مطالعاتی و در روش عملگر گامای فازی منطقه‌ای به وسعت ۳۵۵۷٤ هکتار، ۱۰/۳۲ درصد منطقه مطالعاتی، دارای پتانسیل بسیار مناسب برای احداث سد زیرزمینی مشخص شدند. نتایج نشان داد که در صورت وجود داده‌های مناسب مکانی و نقشه‌های با دقت، روش ترکیب نقشه‌های فازی می‌تواند نتایج مناسبی برای پیشنهاد مکان‌های مناسب احداث سد زیرمینی را ارائه نماید.

واژه‌های کلیدی: دشت کبودرآهنگ، سد زیرزمینی، مکان‌یابی، GIS، ترکیب نقشه‌های فازی

****

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا (نویسنده مسئول) m.heidarimozaffr@basu.ac.ir، heidarimozaffar@gmail.com
۲- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، مؤسسه آموزش‌عالی عمران و توسعه همدان morteza.shahavand@gmail.com

۱- مقدمه

عدم توزیع یکنواخت بارندگی از نظر زمانی و مکانی در سطح کره زمین و اوضاع جوی و زمین ساختی مناطق خشک و نیمه‌خشک، ساکنان این مناطق را به بهره‌برداری بیشتر از آب‌های زیرزمینی واداشته و پایه‌های بسیاری از اجتماعات بشری بر آن استوار شده است *(تلمر و بست، ۲۰۰٤)*. قسمت عمده‌ای از مناطق ایران از جمله مناطقی مانند دشت کبودرآهنگ با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی خود دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. حدود ۷۵ درصد از سطح کشور دارای بارندگی سالانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر است. مواردی همچون کمبود نزولات جوی (متوسط سالانه ۲۷۳ میلی‌متر یعنی حدود یک‌سوم متوسط جهانی)، عدم پراکنش متعادل آن از نظر زمانی و مکانی و همچنین فقدان رودخانه‌های دائمی که بتواند نیاز آبی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأمین نماید، منجر به استفاده بیش از پیش، از منابع آب زیرزمینی شده است. بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به‌عنوان مطمئن‌ترین منبع تأمین آب در این مناطق، در سطح وسیع و گسترده صورت می‌گیرد *(پیرمرادی و همکاران، ۲۰۱۰)*.

به‌طورکلی برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی پیامدهایی از قبیل کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی در اثر پدیده‌های پیامد هجوم آب‌شور، نشست زمین در اثر پایین افتادن سطح آب زیرزمینی، کاهش سریع منابع آب زیرزمینی و خشک شدن قنات‌ها، چشمه‌ها، چاه‌های کم‌عمق و نیمه‌عمیق و همچنین افزایش هزینه‌های استحصال و غیراقتصادی‌شدن هزینه پمپاژ را به‌همراه خواهد داشت *(سعادتی، ۲۰۰۲)*. بنابراین مدیریت صحیح این منابع برای جلوگیری از بحران آب امری ضروری است. از جمله راه‌کارهای مدیریت منابع آبی جلوگیری از هدررفت آب‌های سطحی، حفاظت از سفره‌های آب زیرزمینی و صرفه‌جویی در مصرف است *(شاهی‌دشت و عباس‌نژاد، ۲۰۱۲)*. روش‌های ذخیره آب به‌وسیله مهار آب‌های زیرسطحی در مناطق خشک دارای هزاران سال قدمت است. در چند دهه اخیر این روش‌ها در بسیاری از نقاط جهان مورد توجه محققین قرارگرفته است. یکی از راه‌های ذخیره‌کردن این آب‌ها نفوذ 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 ازجمله راه‌کارهای مناسب جهت تأمین و توسعه منابع آبی است *(اورنگ، ۲۰۱۳)*.

به دلایل مختلفی نیاز به طراحی سدهای زیرزمینی وجود دارد. به‌طورکلی می‌توان در چهار بخش این دلایل را عنوان کرد:

۱- تأمین آب مصرفی؛

۲- مدیریت منابع آب (مانند مسدود کردن چشمه یا قنات و هدایت آب آن‌ها به چشمه اصلی یا مادر چاه قنات‌ها)؛

۳- جلوگیری از پیشروی آب‌شور به آب زیرزمینی مانند سواحل و دشت‌های نمک؛

٤- مقابله با مسائل زیست‌محیطی مانند پخش آلودگی یا تشعشعات هسته‌ای و اثرات سوء آن‌ها بر آب‌های زیرزمینی. *(مغربی و برومند، ۱۳۸۳)*.

سد زیرزمینی به‌صورت مانعی است که در زیر سطح زمین برای مهار جریان‌های آب زیرسطحی در آبرفت طبیعی ایجاد می‌گردد. این موانع می‌توانند به‌صورت موانع فیزیکی و یا هیدرولیکی باشند. معمولاً موانع هیدرولیکی در مجاورت سفره‌های آب شور در کنار دریا، با هدف سدکردن آب شور دریا و حفاظت از سفره‌های آب شیرین در مجاورت آب شور ایجاد می‌شوند. وجود شرایط زمین‌شناسی و توپوگرافی مناسب برای مخزن ذخیره آب و نیز برای محل احداث سد زیرزمینی، مشابه آنچه برای سدهای روی سطح زمین درنظر گرفته می‌شود، حائز اهمیت است. شرایط مناسب برای این‌کار، معمولاً در محل مخروط‌افکنه‌های واقع در دامنه‌های کوهستانی، دهانه خروجی دره‌ها و مسیل‌ها فراهم می‌باشد و نیز سنگ بستر در این گونه موارد بایستی دارای نفوذپذیری خیلی کم و یا غیرقابل نفوذ برای تجمع و ذخیره آب باشد. روش اصلی

احداث سد زیرسطحی ساخت سد در شیار حفاری‌شده در عرض دره یا بستر رودخانه است *(هانسون و نیلسون، ۱۹۸۶)*. مطابق تعریف، سدهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که در زیر زمین ساخته می‌شوند و با مسدود کردن جریان طبیعی آب‌های زیرزمینی، سبب ایجاد ذخایر آبی در زیر زمین می‌شوند *(اوندر و یلماز، ۲۰۰۵)*. سدهای زیرزمینی به‌صورت پرده آب‌بند یا دیواره نفوذناپذیری در آبراهه‌های فصلی، از سطح زمین تا سنگ کف (لایه غیرقابل نفوذ هیدرولیکی) احداث شده و جریان آب زیرسطحی کم‌عمق را در مخزن آبرفتی پشت دیواره ذخیره می‌کنند *(نیلسون، ۱۹۸۸)*.

عامل اصلی و تعیین‌کننده در احداث سدهای زیرزمینی مکان‌یابی این نوع سدها می‌باشد. عوامل زیادی از جمله معیارهای فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی در مکان‌یابی مناسب آن‌ها مؤثر می‌باشند. بررسی و تعیین این عوامل با استفاده از روش‌های سنتی بسیار پرهزینه است و نیاز به صرف وقت بسیار دارد و همچنین نیازمند به‌کارگیری نیروی انسانی بسیار زیاد است *(خیرخواه زرکش و همکاران، ۲۰۰۸)*.

قطعیت مطلقی در معیارهای مختلف انتخابی موقعیت مناسب برای احداث سدها نیز وجود ندارد. بنابراین به‌کارگیری روش فازی می‌تواند نتایج مناسبی در این زمینه ارائه نماید. سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان تکنولوژی برتر در امر تصمیم‌گیری در مسائل مختلف و نظارت و مدیریت منابع طبیعی در اختیار کاربران مختلف قرار دارد و می‌توان از این سیستم در زمینه کشف و شناسایی مناطق دارای پتانسیل به‌منظور اجرای طرح عمرانی بهره‌مند شد *(رنگزن و همکاران، ۲۰۱۳)*. در این مطالعه، با به‌کارگیری ترکیب نقشه‌های فازی و ابزارهای تحلیل مکانی GIS، مکان‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در دشت بتوند، استان خوزستان را شناسایی کردند. معیارهایی همچون شیب، سطح خاک غیراشباع، هدایت هیدرولیکی خاک، شوری آب زیرزمینی، عمق سطح ایستابی، چگالی زهکشی سطحی، ضخامت آبرفت، داده‌های چاه‌ها و گسل مورداستفاده قرار گرفت. پس از تهیه لایه‌های مربوطه و اعمال توابع فازی بر آن‌ها، نقشه‌های معیار استانداردسازی شده به‌دست آمد. سپس با استفاده از نظر کارشناسان و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی وزن مربوط به هر نقشه معیار به‌دست آمده و در آن ضرب شد. آن‌گاه با استفاده از عملگر جمع فازی نقشه معیارها را با هم تلفیق کردند. برای اولویت‌بندی مناطق به‌دست آمده از روش تاپسیس استفاده شد.

استفاده از سیستم اطلاعات مکانی جهت ارائه خدمات مکان‌یابی جایگاه ویژه‌ای داشته و با استفاده از این سیستم می‌توان به نتایج دقیق‌تر و با سرعت بالاتری دست یافت *(رضایی، ۲۰۰۵)*. به‌کارگیری منطق فازی در سیستم اطلاعات مکانی برای حل مسائل مختلف مورد توجه قرار گرفته است *(کیانز، ۲۰۰۲)*. به‌عنوان نمونه، استفاده از منطق فازی در محیط GIS به منظور مکان‌یابی نیروگاه‌های گازی انجام شده است *(بهشتی‌فر و همکاران، ۲۰۱۱)*.

فوستر و توئینهف (۲۰۰٤)، در ارزیابی سدهای زیرزمینی احداث شده در برزیل نشان دادند که عواملی همچون حجم مخزن، عمق سنگ بستر نسبت به سطح زمین، نفوذپذیری خاک مخزن و کیفیت شیمیایی خاک مخزن نقش مؤثری در موفقیت سدهای زیرزمینی دارند. در تحقیق دیگری، فورزیئری و همکاران (۲۰۰۸)، در منطقه کایدال کشور مالی، به بررسی و تعیین مکان‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. در این مطالعه پس از بررسی‌های پارامترهای مهم و اثرگذار در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، در مرحله اول ۱۷ منطقه از ٦٦ محدوده‌ی معرفی‌شده را انتخاب کردند که براساس تخمین اهمیت آب‌بند و جنبه‌های کاربردی در نهایت ۳ منطقه انتخاب شد و به‌عنوان بهترین موقعیت برای ساخت سد زیرزمینی پیشنهاد شد.

جمالی و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعه‌ای، مکان‌یابی سایت‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در یک منطقه از سوئد را با استفاده از ترکیبی از تحلیل مناسب در سیستم

اطلاعات مکانی و محاسبات تعادل آب را بررسی کردند. در این تحقیق تجزیه و تحلیل مناسب برای سدهای زیرزمینی برمبنای ارزش شاخص رطوبت توپوگرافی[1] و داده‌های زمین‌شناسی محاسبه شد. در نهایت شش ناحیه‌ی مناسب برای احداث سد زیرزمینی، براساس تجزیه و تحلیل مناسب و برآورد تعادل آب‌های زیرزمینی پیشنهاد شد.

اصغری سراسکانرود و همکاران (۲۰۱۶) نیز، با تلفیق سیستم اطلاعات مکانی و سامانه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[2] مکان‌یابی مناطق مستعد برای احداث سدهای زیرزمینی در حوضه آبخیز الشتر واقع در استان لرستان را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در نهایت با تلفیق نقشه‌های پهنه‌بندی شده براساس وزن اکتسابی از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای، نقشه نهایی در پنج کلاس از بسیار مناسب تا نامناسب تهیه شد. نتایج پژوهش آنان نشان داد که ۱۵ درصد از مساحت محدوده دارای وضعیت بسیار مناسب برای احداث سد زیرزمینی است.

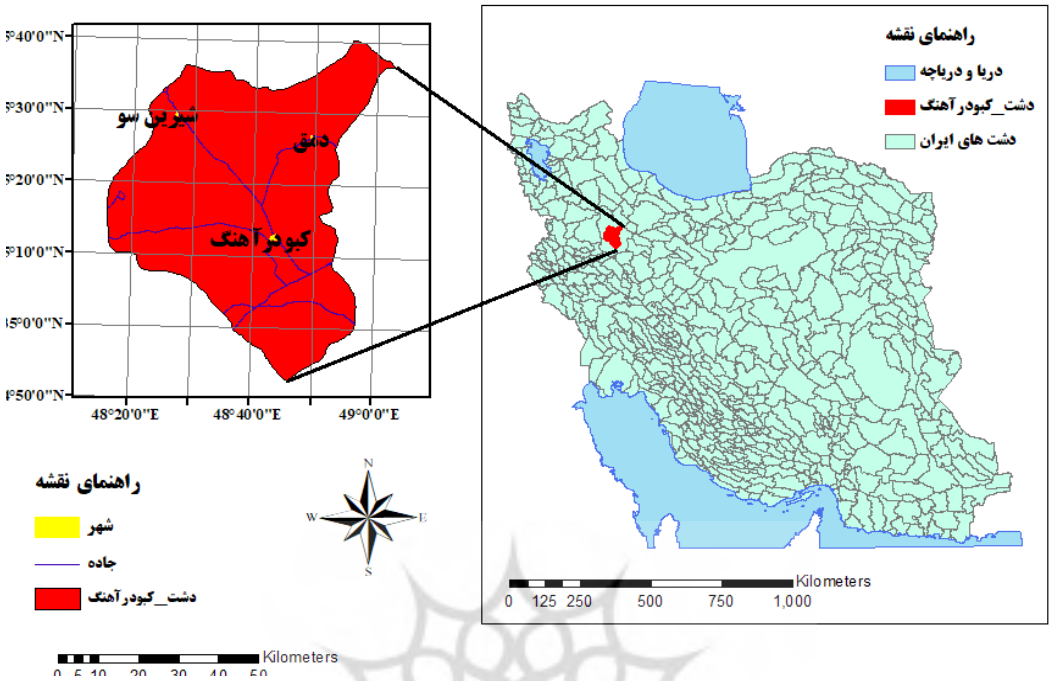
در مطالعه دیگری، در دشت ایوانکی استان سمنان یافتن مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و مدل منطق بولین مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از اطلاعات مکانی همچون شیب، گسل، قنات، چشمه، کاربری اراضی و نقشه زمین‌شناسی و وزن‌دهی نقشه‌ها، به روش منطق بولین مناطق نامناسب را حذف کردند *(پیرمرادی و همکاران، ۲۰۱۰)*. با بررسی این مطالعه استفاده از روش منطق فازی در مقایسه با منطق بولین کارایی خود را نشان می‌دهد.

بحرالعلوم و همکاران (۲۰۱۷)، به مکان‌یابی سدهای زیرزمینی با استفاده از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در حاشیه کویر لوت، کرمان پرداختند. آنان نشان دادند که با ساخت سد زیرزمینی در منطقه سامون‌جهر می‌توان بیش از ۱۲ برابر ظرفیت سایر گزینه‌ها آب ذخیره کرد و آن منطقه بالاترین اولویت را برای ذخیره آب دارد. عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای، به مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی در منطقه اردستان واقع در شمال‌شرق اصفهان پرداختند. در نهایت مخروط‌افکنه‌های واقع در قسمت‌های غربی، شمالی و مرکزی بر روی نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ اردستان را برای احداث سدهای زیرزمینی پیشنهاد دادند.

با توجه به خصوصیت ترکیب نقشه‌های فازی، هر سیستم منطقی قابل‌تبدیل به منطق فازی[3] است. ترکیب نقشه‌هابه‌عنوان فرآیند انتشار محدودیت‌های این مسئله درنظر گرفته می‌شود. در ترکیب نقشه‌های فازی، تمام مسائل دارای راه‌حلی هستند که درجه‌ای از مطلوبیت را نشان می‌دهند. به‌طور کلی اگر میزان پیچیدگی و عدم قطعیت یک مسئله کم باشد، می‌توان با استفاده از معادلات ریاضی با دقت بالا، راه‌حلی برای مسئله یافت و آن را مدل‌سازی کرد. اما اگر پیچیدگی موضوع کمی افزایش یابد همچون مسئله پهنه‌بندی مکانی، در صورتی‌که داده‌ها هم به اندازه کافی موجود باشد، می‌توان مسئله را با استفاده از روش‌هایی همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌سازی کرد. اما اگر پیچیدگی مسئله زیاد بوده و داده‌های کافی هم موجود نباشد و یا داده‌های موجود مبهم و غیرصریح باشند، منطق فازی بهترین روش برای حل مسئله و مدل‌سازی این نوع از مسائل خواهد بود.

گستردگی استفاده از روش فازی در سیستم اطلاعات مکانی نشان می‌دهد، در حل مسائل غیرقطعی با معیارهای مختلف می‌توان به نتایج مطلوبی رسید. بنابراین، در مقاله حاضر با توجه به امکان تحلیل‌های مکانی مختلف در قالب ابزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از سیستم ترکیب نقشه‌های فازی[4]، پهنه‌بندی دشت کبودرآهنگ از نقطه‌نظر استعداد احداث سدزیرمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. با این مقدمه، هدف یافتن مناسب‌ترین مکان در دشت کبودرآهنگ برای احداث سد زیرزمینی با استفاده از حل مسئله به روش فازی است.

1- Topographic Wetness Index - TWI
2- Multi Criteria Decision Making - MCDM
3- Fuzzy Logic
4- Fuzzy Inference Systems



نگاره ۱: موقعیت دشت کبودرآهنگ به‌عنوان محدوده مطالعاتی

۲- مواد و روش‌ها

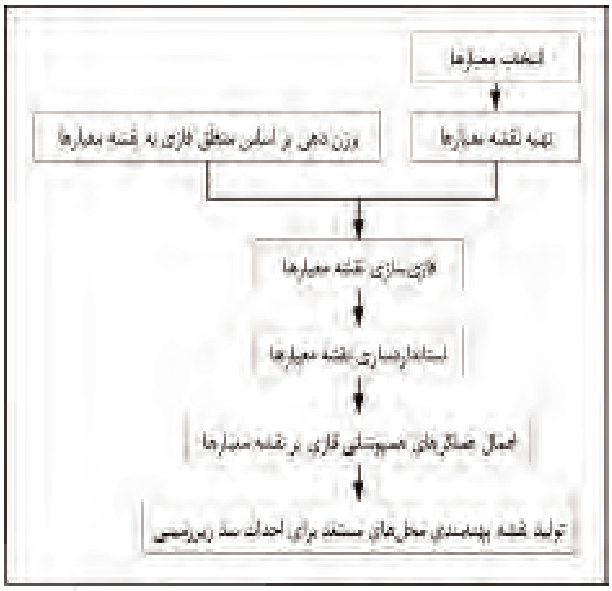
۲- ۱- منطقه مطالعاتی

دشت کبودرآهنگ، یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه رودخانه قره‌چای است که با وسعت ۳٤٤۸ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط حدود ۱۷۸۹ متر از سطح دریا بزرگ‌ترین دشت استان همدان نیز محسوب می‌شود. این دشت بین طول‌های جغرافیایی ″۵۱ ′۱٤ °٤۸ درجه تا ″۱۱ ′۵ °٤۹ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″٦ ′۵۰ °۳٤ تا ″۳۱ ′۱٤ °۳٦ شمالی قرار دارد (نگاره ۱). وسعت آبخوان اصلی دشت، ۱۱۸٦ کیلومتر مربع بوده و این منطقه به مرکزیت شهر کبودرآهنگ به فاصله ۵۲ کیلومتری از شمال استان همدان قرار دارد *(امینی اسدآبادی، ۲۰۰۲)*.

۲- ۲- روش تحقیق

این تحقیق برمبنای مطالعات کتابخانه‌ای و ترکیب داده‌ها و تولید و تحلیل اطلاعات مکانی صورت گرفت. با توجه به مطالعات پیشین در زمینه مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، در دشت کبودرآهنگ داده‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، کشاورزی و منابع طبیعی جمع‌آوری و آماده‌سازی شد. معیارهای موجود مؤثر بر انتخاب محل احداث سد زیرزمینی در قالب داده‌های مختلف برداری و رستری در بانک اطلاعات مکانی ادغام شدند. در ادامه به تشریح بخش‌های مختلف روش پیشنهادی و کارهای صورت‌گرفته پرداخته می‌شود.

اساس پهنه‌بندی دشت کبودرآهنگ برای احداث سد زیرزمینی نیز، استفاده از ترکیب نقشه‌های فازی برای ارزش‌گذاری منطقه بوده است. در یک مجموعه‌ی فازی به هر عضو درجه‌ی عضویتی بین ۰ تا ۱ با استفاده از یک تابع عضویت فازی خاص، اختصاص می‌یابد. صفر بیان‌کننده‌ی عدم عضویت کامل در مجموعه‌ی فازی است و یک عضویت کامل را نشان می‌دهد. اعداد بین صفر تا یک مجموعه‌ی پیوسته‌ای از عضویت در مجموعه‌ی فازی را بیان می‌کند. درجه‌ی عضویت‌پذیری اشتراک، اجتماع، متمم، ضرب، جمع و گاما توان‌های اساسی منطق فازی‌اند *(اسمعلی‌عوری و همکاران، ۲۰۱٦)*. مراحل کلی روش پیشنهادی در نگاره ۲ نشان داده شده است.



نگاره ۲: مراحل کلی روش پیشنهادی برای انتخاب مناسب‌ترین مکان به‌منظور احداث سد زیرزمینی

۳- معیارهای مؤثر در یافتن بهترین پهنه‌ها

در مکان‌یابی برای احداث سد زیرزمینی معیارهای متعددی مانند داده‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، شیب، موقعیت چاه‌ها و همچنین ضخامت آبرفت مورد مطالعه و استفاده قرار می‌گیرند. به‌طور کلی در مکان‌یابی، هر قدر عوامل بیشتری در مدل وارد شوند، نتیجه دقیق‌تری حاصل خواهد شد اما با توجه به عدم دسترسی کامل به برخی از اطلاعات مؤثر در مکان‌یابی، سعی شده است که تا حد ممکن از عوامل مؤثرتر و ضروری‌تر در این مقاله استفاده شود.

پس از بررسی و مطالعه تحقیقات پیشین، معیارهای تعیین مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی که مورداستفاده قرار گرفته است، شناسایی شد. با توجه به محدودیت‌ها و امکانات موجود معیارهایی همچون شیب، فاصله از چاه‌ها، فاصله از چشمه‌ها، فاصله از قنات‌ها، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل‌ها، فاصله از روستاها، فاصله از جاده‌ها و همچنین مقدار ضخامت آبرفت مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، بانک اطلاعاتی گردآوری شد. اطلاعاتی که با استفاده از منابع موجود سازمان‌ها، ارگان‌های ذی‌ربط و بازدیدهای صحرایی به‌دست آمد و تعیین محل‌های مستعد احداث سد زیرزمینی به‌کمک فازی‌سازی هرکدام از این معیارها صورت گرفت. در ادامه به تشریح هرکدام از معیارهای مورداستفاده برای این منظور پرداخته می‌شود.

۳-۱- استانداردسازی معیارهای منتخب

لایه‌های مؤثر قابل دسترس شامل شیب، موقعیت چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها، مسیر رودخانه‌ها، محل قرارگیری گسل‌ها، موقعیت روستاها و شهرها، وضعیت راه‌های ارتباطی و همچنین ضخامت آبرفت در مکان‌یابی سد زیرزمینی برای محدوده دشت کبودرآهنگ مورد استفاده قرار گرفته و آماده‌سازی داده‌ها انجام شد.

ارزش‌های موجود در لایه‌های مختلف نقشه معیار باید به واحدهای قابل مقایسه با هم تبدیل شده و یا به عبارت دیگر به منظور قابل مقایسه‌شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری، لایه‌های مورد نظر باید بی‌مقیاس یا استانداردسازی شوند. در این مقاله، از روش ترکیب نقشه‌های فازی و استانداردسازی فازی استفاده شد. برای استانداردسازی از توابع فازی کوچک[1]، فازی خطی[2] و فازی ذوزنقه‌ای[3] استفاده شد. برای استانداردسازی معیارها هم با توجه به جمع‌بندی مطالعات پیشین در این زمینه مطابق جدول ۱ عمل شد. تمامی اطلاعات مربوط به هرکدام از معیارها در محیط نرم‌افزار ArcMap و در قالب یک پایگاه اطلاعات مکانی منسجم گردآوری و آماده‌سازی شد. در این‌راستا داده‌های قابل اطمینان در خصوص هر کدام از معیارها از سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه مدنظر قرار گرفت. تمامی لایه‌های مکانی در قالب سیستم مختصات جهانی UTM و مربوط به zone 39N بوده‌اند.

شیب: از جمله مهم‌ترین معیارهای مؤثر در انتخاب محل

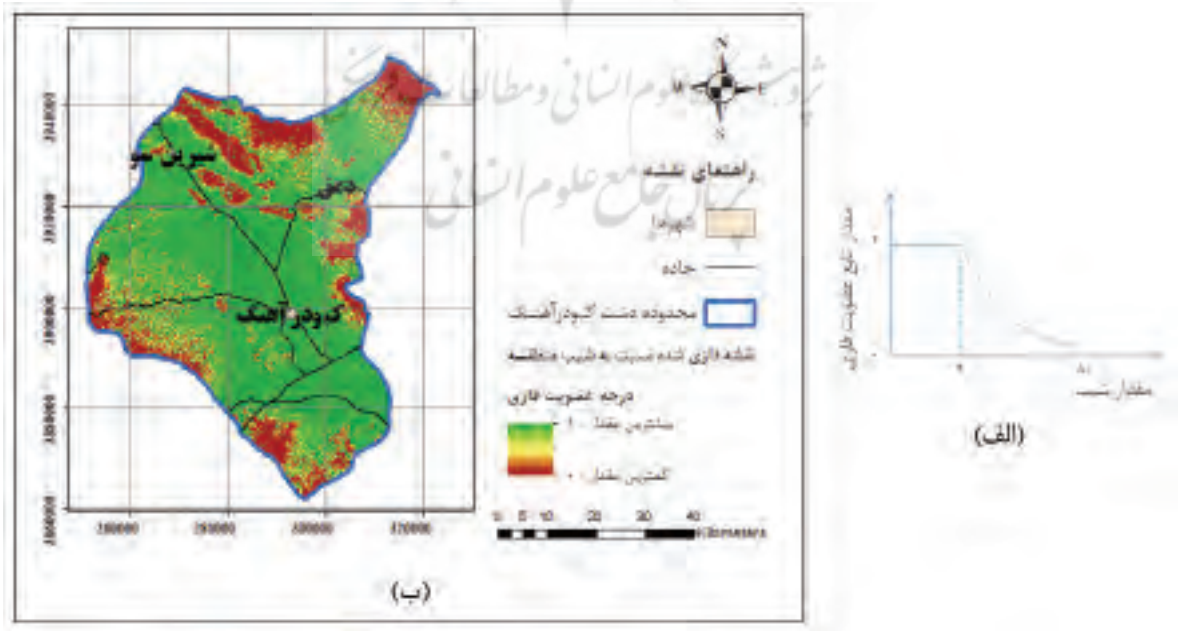
1- Small
2- Linear
3- Trapezoidal

جدول ۱: معیارهای منتخب براساس مطالعات پیشین و نظرات کارشناسان

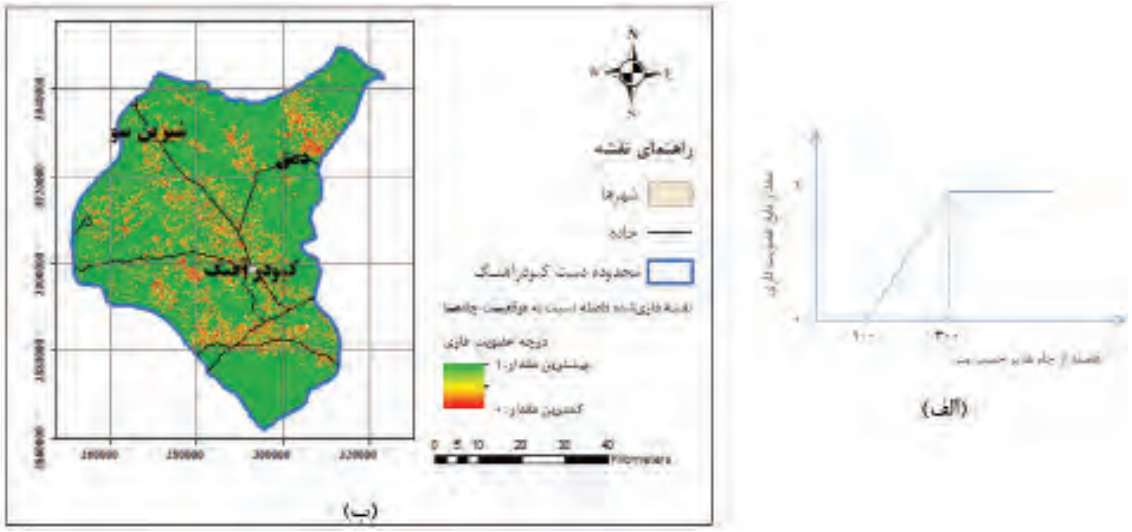
ردیف	معیار	شاخص هم‌پوشانی	منبع
۱	شیب زمین	مناطق با شیب ۰ تا ۲درصد بسیار مناسب و هرچه شیب افزایش یابد نامناسب است.	(اسمعلی‌عوری و همکاران، ۲۰۱٦)
۲	فاصله تا چاه	تا فاصله ۱۰۰ متری بسیار نامناسب و هر چه فاصله بیشتر شود مناسب‌تر است.	(جمعه‌منظری و براتی، ۲۰۱٦)
۳	فاصله تا چشمه	تا فاصله ۱۰۰ متری بسیار نامناسب و هر چه فاصله بیشتر شود مناسب‌تر است.	(پیرمرادیان و همکاران، ۲۰۱٤)
٤	فاصله تا قنات	تا فاصله ۱۰۰ متری بسیار نامناسب و هر چه فاصله بیشتر شود مناسب‌تر است.	(اسکندری و همکاران، ۲۰۱۳)
٥	فاصله از رودخانه	تا فاصله ۱۵۰۰ متری مناسب و هر چه فاصله بیشتر شود نامناسب‌تر است.	(نیلسون، ۱۹۸۸)
٦	فاصله از گسل	تا فاصله ۵۰۰ متری بسیار نامناسب و هر چه فاصله بیشتر شود مناسب‌تر است.	(بحرالعلوم و همکاران، ۲۰۱۷)
۷	فاصله تا روستاها	تا فاصله ۱۰۰۰ متری بسیار نامناسب و هر چه فاصله بیشتر شود مناسب‌تر است.	(محمدنژاد، ۲۰۱۳)
۸	دسترسی به راه‌های ارتباطی	تا فاصله ۱۰۰۰ متری بسیار نامناسب و بیش از ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر به نسبت فاصله از دوری از جاده مناسب و بیشتر از ۵۰۰۰ متر مناسب‌تر است.	(محمدنژاد، ۲۰۱۳)
۹	ضخامت آبرفت	ضخامت کمتر از ۱۰ متر و بیشتر ۵۰ متر نامناسب و ضخامت ۱۰ متر تا ۵۰ متر مناسب‌تر است.	(رنگزن و همکاران، ۲۰۱۳)

احداث سد زیرزمینی، شیب منطقه است. شیب منطقه تا حدودی از شیب کف بستر تبعیت می‌کند. در مناطق دارای شیب بسیار بالا سرعت حرکت آب‌های سطحی بر روی خاک، باعث فرسایش خاک منطقه و مانع از نفوذ آب به زمین و تغذیه سد زیرزمینی می‌شود. بنابراین در این مناطق، حجم مخزنی که برای سد زیرزمینی ایجاد خواهد شد، کمتر است. براساس بررسی‌ها و مطالعات انجام شده شیب کمتر از ۲ درصد مناسب و مناطق با شیب بیشتر از آن نامساعدتر هستند. نقشه شیب با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ منطقه و مدل رقومی ارتفاعی با رزولوشن ۱۰ متری از دشت کبودرآهنگ تهیه شده است در نگاره ۳، (الف) تابع عضویت فازی مورد استفاده برای معیار شیب و (ب) نتیجه اعمال تابع عضویت فازی بر روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه را نشان می‌دهد.

فاصله از چاه‌ها : چاه‌ها از مهم‌ترین منابع تأمین آب در منطقه می‌باشند و از طرفی برداشت بی‌رویه از منابع آبی



نگاره ۳: (الف) تابع عضویت فازی و (ب) نقشه شیب فازی‌شده

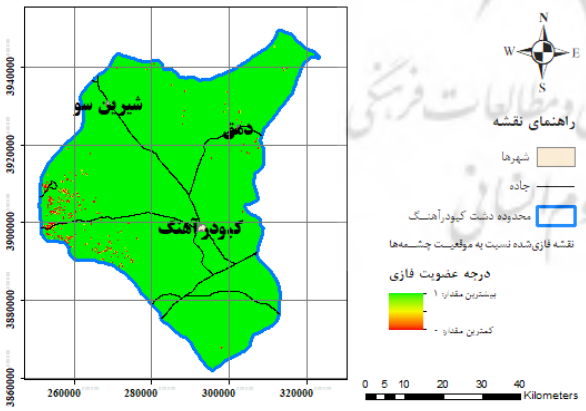


نگاره ٤: (الف) تابع عضویت فازی و (ب) نقشه فازی‌شده فاصله نسبت به موقعیت چاه‌ها

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 *(جمعه‌منظری و براتی ۲۰۱٦)*. به‌منظور حفظ منابع آبی چاه‌ها، مناطقی که در شعاع ۱۰۰ متری چاه‌ها قرارگرفته‌اند حذف و مناطقی که بیشتر از ۱۰۰ متر از چاه‌ها فاصله دارند با توجه به نگاره ٤، (الف) فازی‌سازی شدند. نتیجه اعمال تابع عضویت فازی درنظر گرفته‌شده، نگاره ٤، (ب) نقشه‌ی فازی به‌دست آمده را نشان می‌دهد.

فاصله از چشمه‌ها و قنات‌ها: چشمه‌ها یکی دیگر از منابع تأمین آب منطقه هستند و با توجه به این‌که ممکن است، احداث سد زیرزمینی بر روی آبدهی چشمه‌های منطقه تأثیر منفی داشته باشد *(پیرمرادیان و همکاران، ۲۰۱٤)*، مناطقی که در فاصله ۱۰۰ متری از چشمه‌ها قرارگرفته‌اند حذف شده و مناطقی که بیشتر از ۱۰۰ متر از چشمه‌ها فاصله دارند، همانند تابع عضویت فازی مربوط به چاه‌ها (نگاره ٤، (الف)) فازی‌سازی شدند.

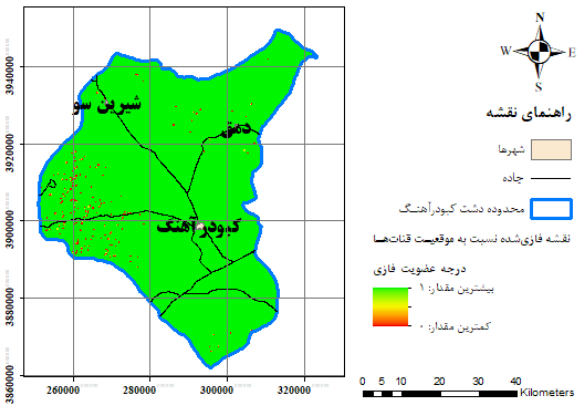
نتیجه اعمال تابع عضویت فازی بر روی لایه‌ی چشمه‌ها در نگاره ۵ نشان داده شده است. قنات یا کاریز از شگفت‌انگیزترین دستاوردهای تاریخ بشر است که برای آب‌رسانی به مناطق کم آب و تأمین آب شرب انسان، دام و زراعت و با کار گروهی و مدیریت و برنامه‌ریزی به وجود آمده است. قنات‌ها از مهم‌ترین منابع تأمین آب در مناطق کویری و کوهپایه‌ای می‌باشند که برای ساکنین آن منطقه دارای اهمیت زیادی هستند و تخریب این منابع آب با ارزش به هر دلیلی، با مشکلاتی همراه خواهد بود *(عشقی‌زاده و نورا، ۲۰۱۰)*.



نگاره ۵: نقشه فازی‌شده فاصله نسبت به موقعیت چشمه‌ها

با این فرض که ایجاد یک منبع آبی جدید نباید باعث تخریب منابع آبی قدیمی شود. لذا برای جلوگیری از در معرض تخریب قرار گرفتن قنات‌های منطقه یا کاهش دبی آن‌ها، تابع عضویت فازی چشمه‌ها و قنات‌ها درنظر

گرفته شد و نتیجه اعمال تابع عضویت فازی بر روی لایه‌ی قنات‌ها در نگاره ٦ نشان داده شده است.



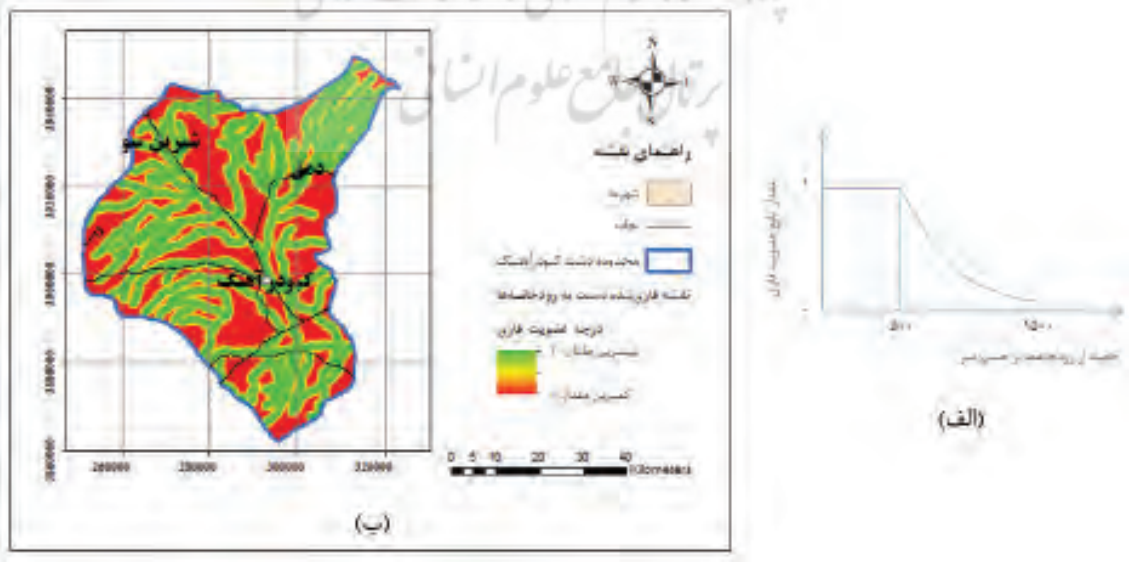
نگاره ٦: نقشه فازی‌شده فاصله نسبت به موقعیت قنات‌ها

فاصله از رودخانه: رودخانه‌ها شریان‌های حیاتی هر منطقه محسوب می‌شوند. به همین دلیل حفاظت و بهره‌برداری آگاهانه از آن‌ها اهمیت فراوانی دارد. تغییر ویژگی‌های بیولوژیکی و عملکردی رودخانه در طول مسیر گسترده خود از مبدأ تا مقصد شرایط منحصربه‌فرد و پیچیده‌ای به‌وجود آورده است که تنها از طریق تبیین فاکتورهای اقلیمی، توپوگرافی و زمین‌شناسی در بافتی گسترده‌تر از مسیر بستر آن‌ها قابل توضیح هستند *(جمعه‌منظری و براتی، ۲۰۱٦)*.

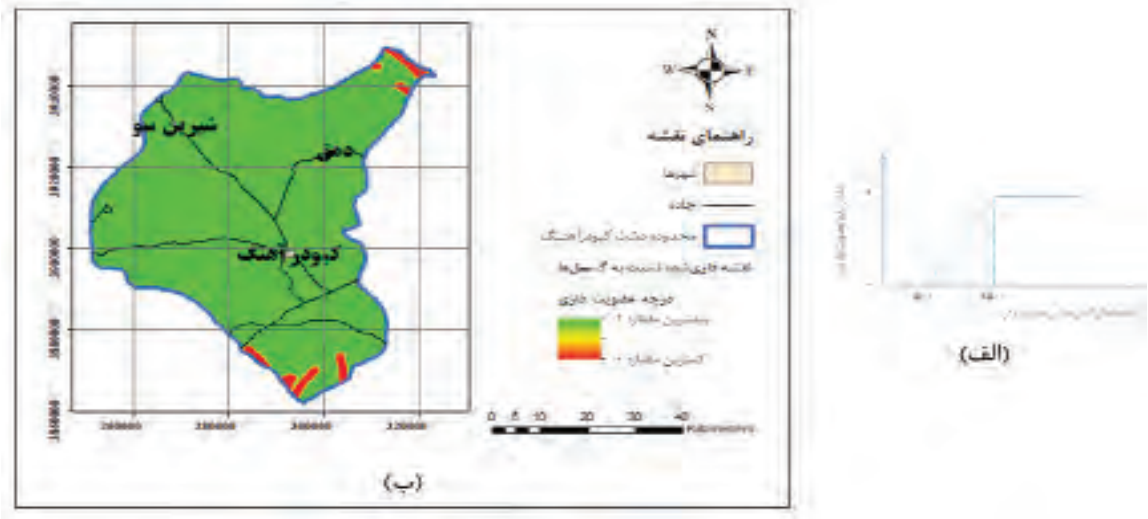
تابع عضویت فازی مربوط به فاصله از رودخانه‌ها مطابق نگاره ۷، (الف) درنظر گرفته شد و نتیجه اعمال آن نیز در نگاره ۷، (ب) مشخص شده است.

فاصله از گسل: یکی از عوامل اصلی نشت و فرار آب از مخازن سدهای زیرزمینی، وجود شکستگی‌ها و گسل در محدوده سد می‌باشد. با توجه به این‌که احداث سدهای زیرزمینی روی گسل‌ها علاوه بر تحمیل هزینه زیاد، باعث نشت و فرار آب می‌شود، لذا در انتخاب مکان احداث این نوع سدها بایستی گسل‌های موجود در منطقه شناسایی و مشخص شوند *(دانایی و همکاران، ۲۰۱۱)*. تابع عضویت فازی مربوط به فاصله از گسل‌ها مطابق نگاره ۸، (الف) درنظر گرفته شد و نتیجه اعمال آن نیز در نگاره ۸، (ب) ارائه شده است.

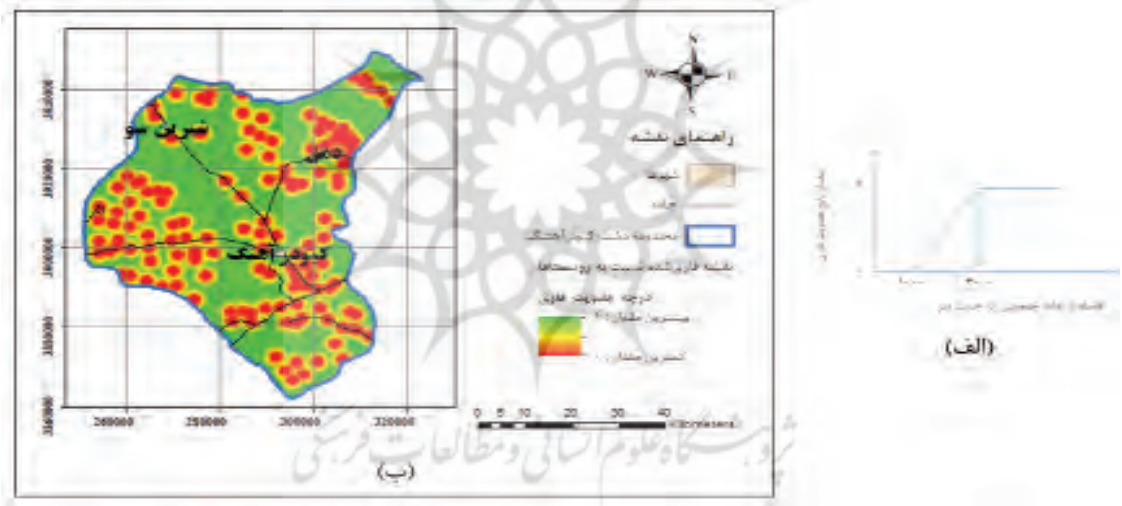
فاصله از روستاها: برای جلوگیری از آلودگی مخزن سد به دلیل فعالیت‌های انسان‌ها، نشت فاضلاب‌ها و شیرابه‌های زباله‌های انسانی و همچنین جلوگیری از آسیب‌های فیزیکی احتمالی به مخزن لازم است که حداقل فاصله‌ای از نقاط جمعیتی برای محل احداث سد زیرزمینی درنظر گرفته شود *(درفشان و همکاران ۲۰۱۷)*. مناطقی که تا حریم ۱۰۰۰ متری نقاط جمعیتی قرار دارند، به‌عنوان مناطق نامناسب و خارج آن محدوده به‌عنوان مناطق مناسب اما فازی‌شده توسط تابع عضویت نگاره ۹، (الف) درنظر گرفته شد. نتیجه اعمال تابع عضویت فازی بر لایه فاصله از نقاط جمعیتی در نگاره ۹،



نگاره ۷: (الف) تابع عضویت فازی و (ب) نقشه فازی‌شده نسبت فاصله از رودخانه‌ها



نگاره ۸: (الف) تابع عضویت فازی و (ب) نقشه فازی‌شده نسبت به فاصله از گسل‌ها



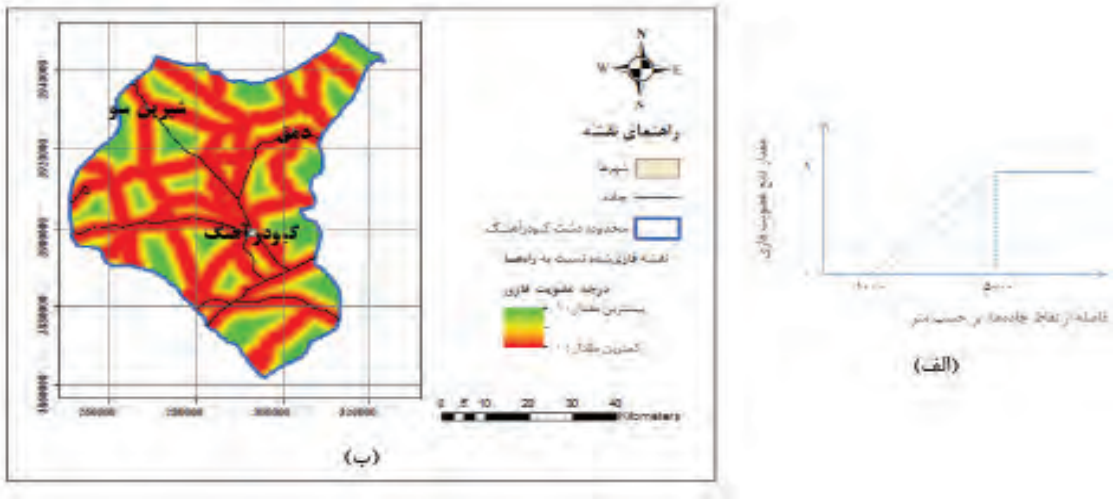
نگاره ۹: (الف) تابع عضویت فازی و (ب) نقشه فازی‌شده نسبت به فاصله از نقاط جمعیتی

(ب) نشان داده شده است.

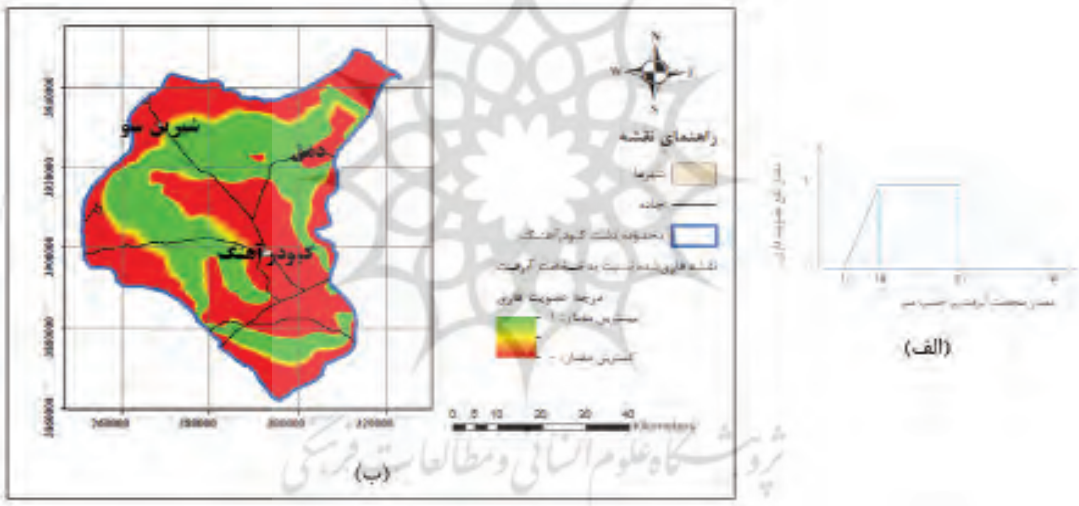
فاصله از راه‌ها: به منظور حفاظت از مخازن سد و همچنین حالت آب‌گرفتگی که ممکن است در روی مخزن سد زیرزمینی در پی بارندگی‌های شدید و سیلاب‌ها ایجاد شود، همچنین خطر آلودگی که ممکن است جاده‌ها برای این‌گونه مخازن ایجاد کنند مانند ریختن مواد شیمیایی و نفتی و روغن خودروها و انتقال این مواد به داخل مخزن سد، بهتر است که حداقل فاصله‌ای بین محل احداث این سازه‌ها و جاده‌های موجود در محدوده مورد مطالعه درنظر گرفته شود *(درفشان و همکاران ۲۰۱۷)*. مطابق نگاره ۱۰، (الف) مناطق با فاصله‌ی کمتر از ۱۰۰۰ متر نامناسب و بیشتر از ۱۰۰۰ متر تا ۵۰۰۰ متر به نسبت فاصله دوری از جاده مناسب و بیشتر از ۵۰۰۰ متر خیلی مناسب درنظر گرفته شدند. نتیجه فازی‌شده محدوده نیز در نگاره ۱۰، (ب) نشان داده شده است.

ضخامت آبرفت: ضخامت آبرفت برابر با عمق سنگ کف می‌باشد. معمولاً آبرفت‌ها مناطقی غنی از آب زیرزمینی هستند و از لحاظ زمین‌شناسی برای احداث سد زیرزمینی بسته به ضخامت آبرفت بسیار مناسب هستند *(پیرمرادیان و همکاران ۲۰۱۴)*.

با توجه به این‌که ضخامت آبرفت کمتر از ۱۰ متر به دلیل کم‌شدن حجم مخزن و ضخامت آبرفت بیشتر از ۵۰



نگاره ۱۰: (الف) تابع عضویت فازی و (ب) نقشه فازی‌شده نسبت به فاصله از راه‌ها



نگاره ۱۱: (الف) تابع عضویت فازی و (ب) نقشه فازی‌شده نسبت به ضخامت آبرفت

متر به دلیل زیادشدن هزینه اجرایی سد نامناسب هستند، بنابراین تابع عضویت فازی مطابق نگاره ۱۱، (الف) برای این پارامتر درنظر گرفته شد. نتیجه محاسبه تابع عضویت فازی برای محدوده موردمطالعه نیز در نگاره ۱۱، (ب) نشان داده شده است. برای محاسبه تمامی توابع فازی مربوط به هرکدام از معیارها، از ابزار Raster Calculator موجود در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده و همچنین پیاده‌سازی آن‌ها با زبان برنامه‌نویسی Python انجام گرفت. مطابق تعریف تابع عضویت فازی مربوط به هر معیار و محاسبات رستری صورت گرفت.

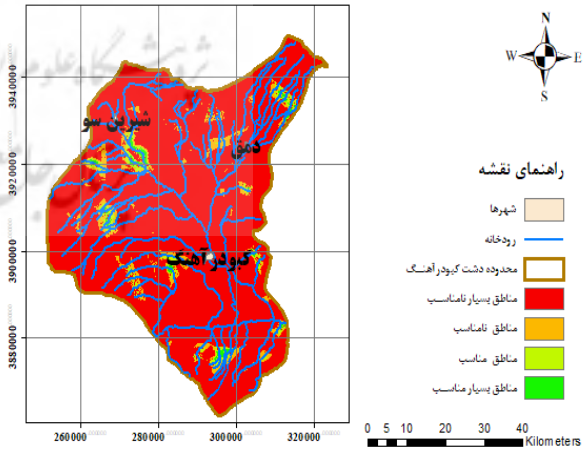
٤- تعیین مکان مستعد احداث سد زیرزمینی

در مرحله نهایی برای مشخص‌نمودن محل‌های مستعد برای احداث سد زیرزمینی با لحاظ کردن تمامی معیارها از هم‌پوشانی (برهم‌نهی) فازی[1] استفاده شد. به‌منظور تعیین محل‌های مستعد نهایی برای احداث سد زیرزمینی، روش‌های بسیاری وجود دارد که با هم‌پوشانی معیارها با تکنیک‌های مختلف خروجی خاصی ایجاد می‌کنند. روش‌های عمومی هم‌پوشانی شامل روش‌های وزن‌دهی ساده (عملگر جمعی و وزنی بولین)، روش‌های مدل شده (منطق فازی و شبکه

1- Fuzzy Overlay

عصبی) و روش‌های وزنی منطقی (AHP و ANP) است که در این تحقیق از روش عملگرهای منطق فازی استفاده شده است. عملگرهای مختلف هم‌پوشانی فازی از جمله اشتراک فازی[1] ، عملگر ضرب فازی[2]، عملگر گامای فازی[3] در این تحقیق استفاده شدند. عملگر اشتراک فازی، مشابه اشتراک در مجموعه‌های کلاسیک می‌باشد. این عملگر حداقل درجه عضویت اعضاء یک مجموعه را استخراج می‌کند و زمانی استفاده می‌شود که دو یا چند معیار مختلف، با هم می‌توانند به حل یک مسئله کمک کنند. یعنی در بین کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش و وزن هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند. به همین دلیل این اپراتور حساسیت بالایی در تعیین محل‌های مستعد را دارد.

این عملگر، در یک موقعیت مشخص، حداقل درجه عضویت واحدهای پیکسلی را استخراج نموده و در نقشه نهایی منظور می‌کند. نقشه‌ی نهایی و نتیجه اعمال این عملگر در نگاره ۱۲ نشان داده شده است. در جدول ۲، وسعت پهنه‌های مختلف از نقطه‌نظر استعداد احداث سد زیرزمینی به روش اعمال عملگر اشتراک فازی بر روی معیارها ارائه شده است.



نگاره ۱۲: نقشه پتانسیل محدوده جهت احداث سد زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ به روش عملگر اشتراک فازی

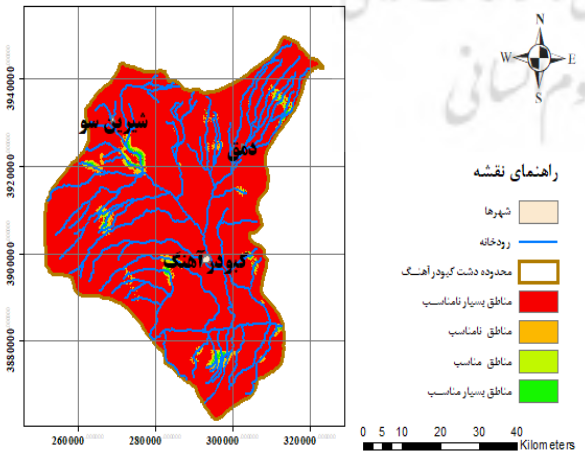
1- Fuzzy And
2- Fuzzy Product
3- Fuzzy Gamma

جدول ۲: مساحت مناطق جهت احداث سد زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ به روش عملگر اشتراک فازی

ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد
۱	بسیار نامناسب	۳۱٦٤۰۵	۹۱/۷٦
۲	نامناسب	۱۷۳٤۱	۵/۰۳
۳	مناسب	۷۷۱۸	۲/۲٤
٤	بسیار مناسب	۳۳٤۲	۰/۹۷

عملگر ضرب فازی در یک موقعیت مشخص موجود در فاکتورهای مختلف، درجه عضویت واحدهای پیکسلی را درهم ضرب نموده و در نقشه نهایی منظور می‌نماید. به‌دلیل ماهیت درجه عضویت فازی اعضا (اعداد بین ۰ و ۱)، این اپراتور باعث می‌شود که اعداد در نقشه خروجی کوچک‌تر شده و به سمت ۰ میل کنند.

به‌همین دلیل این اپراتور دقت و حساسیت زیادی در تعیین مکان‌های مستعد برای احداث سد زیرزمینی خواهد داشت. این عملگر زمانی استفاده می‌شود که نقشه معیارها اثر کاهشی بر روی هم داشته باشند. نقشه‌ی نهایی و نتیجه اعمال این عملگر در نگاره ۱۳ نشان داده شده است. در جدول ۳، وسعت پهنه‌های مختلف از نقطه‌نظر استعداد احداث سد زیرزمینی به روش اعمال عملگر ضربی فازی بر روی معیارها ارائه شده است.



نگاره ۱۳: نقشه پتانسیل مناطق جهت احداث سد زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ به روش عملگر ضربی فازی

جدول ۳: مساحت مناطق جهت احداث سد زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ به روش عملگر ضربی فازی

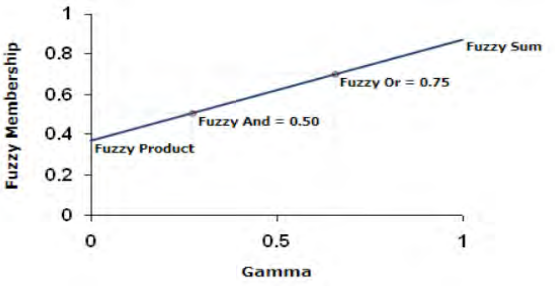
ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد
۱	بسیار نامناسب	۳۲۹۰۹٤	۱۵/٤۵
۲	نامناسب	۸۸۷٤	۲/۵۷
۳	مناسب	٤٤٤۳	۱/۲۹
٤	بسیار مناسب	۲۳۹۳	۰/٦۹

به‌منظور تعدیل حساسیت خیلی زیاد اپراتورهای اشتراک فازی و ضرب فازی، اپراتور دیگری به نام عملگر گامای فازی معرفی شده است. عملگر گامای فازی، حالت کلی ضرب جبری عملگر ضربی و جمعی فازی می‌باشد که هر دو به توان گاما رسانده شده‌اند و زمانی به‌کار می‌روند که تأثیرات کاهشی و افزایشی در تعامل معیارها وجود داشته باشد. رابطه کلی مربوط به عملگر گامای فازی در رابطه (۱) نشان داده شده است.

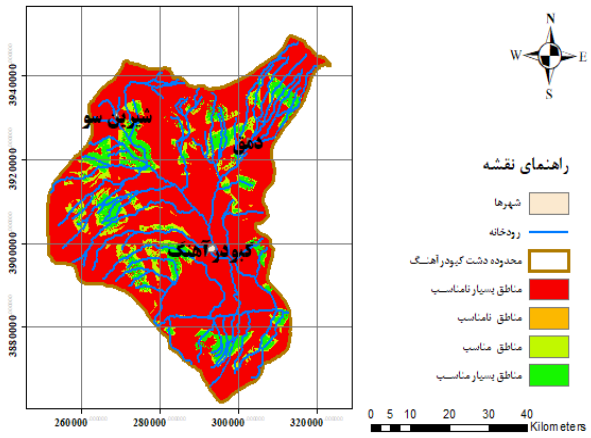
$$\mu(x) = (FuzzySum)^{\gamma} \times (FuzzyProduct)^{1-\gamma} \quad , \quad \gamma\epsilon[0,1]$$

رابطه (۱)

با تغییر مقدار گاما در تابع کلی رابطه (۱)، می‌توان به نحوی حالات مختلف هم‌پوشانی فازی را تولید کرد. نگاره ۱٤، رابطه عملگر گامای فازی با سایر عملگرهای فازی را با تغییر مقدار گاما نشان می‌دهد. در این پژوهش، مقدار گاما برابر ۰/۷ درنظر گرفته شده و با اعمال این مقدار، نقشه پهنه‌بندی محدوده دشت کبودرآهنگ برای احداث سد زیرزمینی تولید شد. نقشه‌ی نهایی و نتیجه اعمال این عملگر در نگاره ۱۵ نشان داده شده است.



نگاره ۱٤: رابطه عملگر گامای فازی با سایر انواع عملگرهای فازی



نگاره ۱۵: نقشه پتانسیل مناطق جهت احداث سد زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ به روش عملگر گامای فازی

در جدول ٤، وسعت پهنه‌های مختلف از نقطه‌نظر استعداد احداث سد زیرزمینی به روش اعمال عملگر گامای فازی بر روی معیارها ارائه شده است.

جدول ٤: مساحت مناطق جهت احداث سد زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ به روش عملگر گامای فازی

ردیف	کلاس	مساحت (هکتار)	درصد
۱	بسیار نامناسب	۲۷۸۹۲۹	۸۰/۸۹
۲	نامناسب	۲۹۸۷	۰/۱۷
۳	مناسب	۲۷۳۱٤	۷/۹۲
٤	بسیار مناسب	۳۵۵۷٤	۱۰/۳۲

در این مقاله معیارهای مؤثر و ممکن، برای مناطق مستعد پهنه‌بندی شده برای احداث سد زیر زمینی به‌عنوان مخزن ذخیره آب، مشابه آن‌چه برای سدهای روی سطح زمین درنظر گرفته می‌شود، استفاده شد. با توجه به این‌که محدوده مورد مطالعه دشت بوده و کاربری بسیاری از مناطق آن کشاورزی است. با لحاظ نمودن شرایط کاربری و نزدیکی به محل مصرف، مناطق مستعد بایستی با دقت بیشتری ارزیابی شوند. نزدیکی به بستر رودخانه‌های فصلی یکی از عواملی است که عملکرد روش منطقی را در این تحقیق نشان داده است. نتایج حاصل از عمگرهای مختلف هم‌پوشانی فازی

نشان می‌دهد، همه مکان‌های مستعد برای احداث سد زیرزمینی در نزدیکی و مجاورت بستر رودخانه‌های فصلی هستند. البته با درنظر گرفتن شرایط زمین‌شناسی و سایر پارامترهای مؤثری که در این مقاله مدنظر قرار نگرفته است، می‌توان محدودیت‌های بیشتری بر پهنه‌بندی انجام‌شده، اعمال کرد. نتایج نشان می‌دهد، عملگر ضرب فازی حالت سخت‌گیرانه‌تری به نسبت سایر عملگرهای هم‌پوشانی فازی دارد. لذا مساحت مناطق مستعد برای احداث سد زیرزمینی در این حالت نسبت به سایر نتایج حاصل کمتر شده است. بهینه‌سازی یافتن پارامتر گاما در روش هم‌پوشانی گامای فازی نیز می‌تواند در پهنه‌بندی بهینه مورد تحقیق قرار گیرد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به روش ترکیب نقشه‌های فازی و استفاده تحلیل‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ، به روش‌های مختلف استفاده از عملگرهای منطق فازی تعیین شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد، با به‌کارگیری ابزارهای سیستم اطلاعات مکانی امکان پهنه‌بندی یک دشت به منظور احداث سد زیرزمینی وجود دارد.

پارامترهای مؤثر بسیاری در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی استفاده شدند. در این مقاله در قالب پایگاه داده‌های مکانی مواردی که مدنظر قرار گرفتند؛ عبارت بودند از: شیب، فاصله از چاه‌ها، فاصله از چشمه‌ها، فاصله از قنات‌ها، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از گسل‌ها، فاصله از نقاط جمعیتی، فاصله از جاده‌ها و ضخامت آبرفت. این معیارها همگی مکانی هستند و انتخاب محل مناسب برای احداث سد زیرزمینی با توجه به آن‌ها دارای عدم قطعیت فراوانی است. لذا با استفاده از توابع فازی می‌توان با لحاظ جمیع شرایط محدوده مناسب‌تری را به‌منظور احداث سد زیرزمینی انتخاب کرد. تابع عضویت فازی برای هرکدام از پارامترهای مؤثر ممکن با توجه به مطالعات پیشین آماده‌سازی و اعمال شد. برای انجام محاسبات، با استفاده از عملگر فاصله اقلیدسی و یا درون‌یابی براساس روش مثلث‌بندی دلونی لایه‌های برداری به رستری تبدیل شدند. سپس استانداردسازی معیارهای مختلف انجام شده و درجه عضویت بین ۰ تا ۱ برای آن‌ها معرفی شد. در خصوص انتخاب توابع استاندارد برای فازی‌سازی معیارهای پهنه‌بندی با توجه به شرایط و مطالعات انجام گرفته توسط نویسندگان عمل شده است. این مورد نیازمند صرف زمان و مطالعه بیشتر برای بروزرسانی و واقعی کردن آن‌ها دارد. در مرحله آخر برای هم‌پوشانی لایه‌ها از عملگر اشتراک فازی و عملگر ضرب فازی و عملگر گامای فازی استفاده شد.

حساسیت و دقت هر کدام از عملگرهای فازی متفاوت بوده و بنابراین نقشه نهایی پتانسیل سنجی مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ در چهار کلاس بسیار نامناسب، نامناسب، مناسب، بسیار مناسب به‌دست آمد. که در روش عملگر اشتراک فازی منطقه‌ای به وسعت ۳۳۴۲ هکتار دارای پتانسیل بسیار مناسب جهت احداث سد زیرزمینی می‌باشد که حدود یک درصد منطقه مطالعاتی را شامل می‌شود و در روش عملگر ضربی فازی منطقه‌ای به وسعت ۲۳۹۳ هکتار دارای پتانسیل بسیار مناسب برای احداث سد زیرزمینی می‌باشد که حدود یک درصد منطقه مطالعاتی را شامل می‌شود. در روش عملگر گامای فازی منطقه‌ای به وسعت ۳۵۵۷٤ هکتار دارای پتانسیل بسیار مناسب برای احداث سد زیرزمینی می‌باشد که ۱۰/۳۲ درصد منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. امکان تولید نقشه‌های پهنه‌بندی به‌روش ترکیب نقشه‌های فازی در سیستم اطلاعات مکانی می‌تواند در تعیین هرچه بهتر موقعیت‌های مناسب احداث سد زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد. عملگرهای فازی با توجه به شرایطی که فراهم می‌کنند در مقایسه با روش‌های سنتی قابل اعتمادترند.

٦- پیشنهادات

۱- دراین مقاله، مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی در محیط نرم‌افزاری شناسایی گردید. امکان تولید یک مدل

تصمیم‌گیر برمبنای پارامترهای ورودی وجود دارد، پیشنهاد می‌گردد در روش‌های اجرایی ابتدا با ورود اطلاعات کلی منطقه بررسی اولیه مناطق مستعد انجام گرفته و سپس مطالعات صحرایی نیز برای تکمیل به مدل ساخته‌شده اضافه شود.

۲- نقشه شیب، یکی از مهم‌ترین معیارها در تعیین مکان‌های مستعد احداث سد زیرزمینی است. همان‌طور که مطرح شد در این مقاله از نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ برای تولید نقشه شیب استفاده شد. پیشنهاد می‌شود از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس بزرگ‌تر برای بالا بردن دقت تعیین و پایین‌آمدن خطاهای احتمالی استفاده شود.

۳- یکی از مواردی که می‌توان پیشنهاد کرد، آن است که از الگوریتم‌های هوشمند به‌منظور تعیین حدود آستانه استانداردسازی معیارها نیز استفاده شود.

٤- همچنین با توجه به این‌که ارگان‌های مختلفی در موضوع تهیه داده‌های موردنیاز فعالیت می‌کنند، پیشنهاد می‌گردد با انجام کارهای کارشناسی بیشتر، هم‌فکری و هماهنگی با سایر تخصص‌های مرتبط صورت گیرد تا مکانیزم مناسبی برای ارزیابی پتانسیل سایر دشت‌ها نیز فراهم شود.

۵- محدودیت در دسترسی به اطلاعات مؤثر باعث شد که در این مقاله برخی از پارامترها کنار گذاشته شود. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از سایر پارامترها و عوامل مؤثر بر انتخاب محل‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی از جمله نوع خاک، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نیز استفاده شود.

سپاس‌گزاری

از مدیران و کارشناسان محترم اداره کل نقشه‌برداری غرب کشور، شرکت آب منطقه‌ای همدان و سازمان منابع طبیعی استان همدان که با در دسترس قراردادن داده‌های موردنیاز امکان انجام این پژوهش را میسر نمودند، قدردانی و تشکر می‌شود.

منابع و مآخذ

1- Amini Asad Abadi G. 2002. Investigation and analysis of chemical quality of groundwater resources in Kabudarahang plain. Master of Science degree in geology, College of science, Bu Ali Sina University. (In Persian)

2- Arabameri A, Sohrabi M, Rezaei K, Shirani K. 2018. Locating the underground dam using the GIS technique and Hierarchical Analysis Method (AHP). Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering. 12(41): 51 – 61. (In Persian)

3- Asghari Sorkanrood S, Belavasi M, Zinnali B, Saebi Vayegan S. 2016. Identifying of suitable location for underground dam construction in Alashtar basin by ANP. Journal of watershed management. 7(13): 150 – 163.

4- Bahr al-Aalum M, Malayania M, Aminizadeh Bozanjani M. 2017. Location of underground dams using GIS and AHP integration (case study: Lut desert, Kerman). 8(2): 116 – 128.

5- Beheshtifar S, Mesgari MS, Valadan Zoej MJ, Karimi M. 2011. Using Fuzzy Logic in GIS Environment for Site Selection of Gas Power Plant. Journal of Civil Engineering and Surveying. 44(4): 583-595. (In Persian).

6- Dananei R, Hasanzadeh M, Mohtashamnia M, Danaian M. 2011. Locating of underground dams with using RS/ GIS (case study: Manshad of Yazd province). The First National Conference on Economic Resolutions in the Field of Agriculture, 1:146 –151. (In Persian).

7- Darfshan F, Heidarnejad M, Bradbury A, Daneshian H. 2017. Finding suitable locations for underground dam construction using AHP Multi Criteria Decision Making (case study: Andika district in Khuzestan Province). Two quarterly journal of water engineering, 2(1): 9 – 20.

8- Eshghizadeh M, Noura N. 2010. Determining the suitable site for underground dam construction on qanat case of study, Dahanchenar qanat of Kalat watershed in Gonabad. Water and Soil Conservation, 17(1): 45 – 63. (In Persian)

9- Eskandari M, Solimanpour M, Moghim H, Khalili A. 2013. Underground dams are an effective way to manage water resources and tackle dehydration. 5th Water

Resources Management Conference.

10- Esmaili Uori A, Golshan M, Khorrami K. 2016. Prioritizing appropriate axes for underground dam Construction in the Dost Begul watershed. Natural Geography Research, 48(4):645 – 659.

11- Forzieri G, Gardenti M, Caparrini F, 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(1): 74 – 85.

12- 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.

13- Hanson G, Nilsson A. 1986. Ground□water dams for rural-water supplies in developing countries. Ground Water, 24: 497 – 506.

14- Jamali I, Olofsson B, Mortberg U. 2013. Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. Environmental Earth Sciences. 70(6): 2511 – 2525.

15- Jomeh Manzari R, Barati R. 2016. Locating suitable sites for the construction of a water ground dam. Iranian National Irrigation and Drainage Congress. 7(3). (In Persian)

16- Kainz, W. 2002. Fuzzy logic and GIS. Department of Geography and Regional Research, University of Vienna, Austria.

17- Kheirkhah Zarkesh M, Naseri H, Davodi M, Salami H. 2008. Using Analytical Hierarchy Process for ranking suitable location of groundwater dam's construction, case study: Northern Slopes of Karkas Mountains in Natanz. Pajouhesh and Sazandegi. 79: 93-10. (In Persian)

18- Maghrebi, M, Broumand, P. 1383. Investigation of underground dams with emphasis on completed projects and their potential in Iran, 11th conference of civil students across the country, Hormozgan University, 158-153. (In Persian)

19- Mohammadnejad R. 2013. Location of underground dams using GIS and fuzzy logic (Case study: Sultan Qom basin). Master thesis in the field of desertification. School of desert ology. Semnan University.

20- Nilsson A. 1988. Ground water dam for small-scale water supply. Intermediate technology publication ltd.

21- Orang M. 2013. Modeling and management of groundwater resources in Gelgir plain with emphasis on feasibility and impact of underground dam. Master of Science degree in geology, Shahid Chamran University. (In Persian)

22- Pirmoradi R, Nakhaei M, Asadian F. 2010. Determininf of areas suitable for underground dam construction using GIS and AHP, Case Study: plain Malayer in Hamedan. The Journal of Physical Geography. 8: 51 – 66. (In Persian)

23- Pirmoradian R, Behbahani M, Nazaryfar M, Velayati S. 2014. Initial locating of suitable area for underground dam construction in Eyvanakey plain. The First National Conference on Water Resources and Agricultural Challenges. Islamic Azad University Khorasan.

24- Rangzan K, Monjezi N, Taghizade A, Neyamadpour A. 2013. Identifying suitable sites for underground dams using Geographical Information System (GIS) Fuzzy Multi-Criteria Decision Making (FMCD) in Batvand plain- Khuzestan. Second SMPR international conference, Faculty of earth sciences. Shahid Chamran University. (In Persian)

25- Rezai S. 2005. Location using GIS (Case Study: Bandar Abbas Pier). 6th international conference on beaches, Ports and offshore. Tehran.

26- Saadati M. 2002. Determination of locating indices for creation of underground dam and simulation of mathematical model of flow in underground dam. Master thesis. Faculty of Civil Engineering, Isfahan University of Technology.

27- Shahidasht A, Abbasnejad A. 2012. Providing groundwater management solutions for Kerman province plain. Journal of Applied Geology.7(2): 131 – 146.

28- Telmer K, Best M. 2004. Underground dams: a practical solution for the water needs of small communities in semiarid regions. TERRA. 1(1): 63 – 65.