



## مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از منطق فازی و بولین در مناطق مرکزی استان اردبیل

اباذر اسمعیلی<sup>۱</sup>، محمد گلشن<sup>۲</sup> و کیوان خرمی<sup>۳</sup>

۱- دانشیار، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، اردبیل (نویسنده مسوول: abazar.esmali@gmail.com)

۲- دکتری آبخیزداری، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری، آستارا، گیلان

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۶

صفحه: ۲۲۵ تا ۲۳۷

### چکیده

در مناطق خشک و نیمه خشک تغییرات بارندگی از لحاظ زمان و مقدار از نوسانات بالایی برخوردار می‌باشد که مدیریت منابع آب در این مناطق را حائز اهمیت می‌کند. در این تحقیق با استفاده از منطق بولین و فازی اقدام به پهنه‌بندی مناطق مستعد جهت احداث سد زیرزمینی در مناطق مرکزی استان اردبیل با مساحت ۷۴۶۱ کیلومترمربع و اقلیم نیمه خشک شد. برای این منظور از معیارهای توپوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، ژئومورفولوژی، کمیّت و کیفیت آب، عمق آبرفت و رتبه‌بندی آبراهه استفاده شد. در روش منطق بولین بعد از تهیه معیارها، مناطق مناسب و نامناسب برای هر معیار در دو کلاس صفر و ۱ تعیین و با عملگر AND تلفیق شدند. در روش منطق فازی معیارها در چندین کلاس قرار گرفته و بین صفر تا ۱ برحسب مطالعات انجام شده و شرایط منطقه امتیازبندی شده و با عملگر گاما فازی تلفیق شدند. بین نقشه‌های ورودی و نقشه نهایی به دست آمده با استفاده از هر دو روش تطابقت خوبی وجود دارد و به طور کلی مناطق مرکزی و بخشی از مناطق جنوب غربی و شمالی حوضه را مستعد احداث سدهای زیرزمینی تعیین کردند. نتایج حاصل از منطق فازی نشان داد که در منطقه مورد مطالعه آبراهه‌هایی با رتبه ۳ و مناطق آبرفتی عمیق از استعداد بیشتری برای احداث سد زیرزمینی برخوردار می‌باشند. بنابراین برای احداث سد زیرزمینی در مناطق مرکزی استان اردبیل این نواحی باید در اولویت قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: آبرفت، عوامل هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، منابع آب

### مقدمه

می‌دهند (۳). اصول کلی در مورد سدهای زیرزمینی این است که به جای ذخیره آب در سطح زمین، آب را در داخل رسوبات آبرفتی پشت سد ذخیره می‌کند (۱۰). یک سد زیرزمینی بر روی عمق چند متری از سطح غیرقابل نفوذ قرار گرفته و دسترسی به منابع آب زیرزمینی از طریق چاه‌های جمع‌آوری‌کننده صورت می‌گیرد (۹). سد زیرزمینی در مناطق مختلف جهان و به طور مشخص در کشورهای برزیل، هندوستان، آمریکا، کشورهای عربی نظیر تونس، مراکش، الجزایر، آفریقا و موارد دیگر به کار گرفته شده است. در داخل کشور نیز سدهای زیرزمینی مختلفی احداث شده است که می‌توان به سدهای کوثر دامغان، میمه اصفهان، بهورد سمنان، خرائق یزد و قره خان بیگلر در استان اردبیل اشاره کرد (۱۸). پژوهش‌های مختلفی در رابطه با مکان‌یابی مناطق مستعد برای احداث سد زیرزمینی صورت گرفته است که می‌توان به این موارد اشاره داشت؛ چزگی و همکاران (۶)، در مطالعه‌ای در غرب استان تهران به منظور مکان‌یابی محل‌های مناسب احداث سد زیرزمینی، از تلفیق سامانه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی، در قالب یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی استفاده کردند که نتیجه کار به صورت نقشه تناسب نهایی مناطق اولویت‌دار سد زیرزمینی ارائه شد. خیرخواه زرخش و همکاران (۱۷)، برای تخمین حجم آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های آبخیز سدهای زیرزمینی در استان قزوین، از سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و مدل SCS استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده برتری روش‌های نوین برآورد رواناب و دقت سیستم اطلاعات

راه‌کارهای مقابله با کم‌آبی در دو استراتژی مدیریت صحیح منابع آب و استحصال از منابع آب جدید خلاصه می‌شود. در کشور ما به دلایل جغرافیایی و اقلیمی، بهبود مدیریت بر منابع آبی موجود، نتایج بهتر و سریع‌تری را خواهد داشت. در اغلب نقاط ایران، به علت بارندگی کم و توزیع زمانی نامناسب آن، منابع آب زیرزمینی و مدیریت آن از اولویت خاصی برخوردار است (۷). یکی از راه‌های برطرف کردن کمبودهای فصلی آب، استفاده از آب‌های زیرزمینی می‌باشد ولی استفاده از این روش بدون تغذیه مناسب منابع آب زیرزمینی و بهره‌برداری بیش از حد منجر به افت سطح آب‌های زیرزمینی می‌شود (۳۳). محدود بودن منابع آب سطحی، رشد روز افزون جمعیت و توسعه صنعت سبب شده است که به استفاده بهینه از منابع آب زیرزمینی روی آورده شود. یکی از شیوه‌های ذخیره‌سازی و استفاده از آب‌های زیرزمینی، سد زیرزمینی می‌باشد که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (۳۷). احداث سدهای زیرزمینی و استفاده از رواناب‌های سطحی از جمله راه‌کارهای مناسب جهت تأمین و توسعه منابع آبی می‌باشد (۲۵). سد زیرزمینی امکان ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی را در منافذ لایه‌ها، برای استفاده پایدار از این منابع، فراهم می‌سازد (۱۵). این سدها سازه‌هایی هستند که جریان آب‌های زیرزمینی را مسدود نموده و سبب ایجاد ذخائر آبی در زیرزمین می‌شوند (۳۳). سد زیرزمینی جریان‌های زیرسطحی و سطحی را در فصول پر باران جمع‌آوری کرده و در مواقع کم‌آبی در دسترس ۴۴ قرار

ارتفاع و شبکه آبراهه منطقه مطالعاتی را به دست آورده و نتایج حاصل با استفاده از مدل MODFLOW برای به دست آوردن دبی به کار گرفته شد.

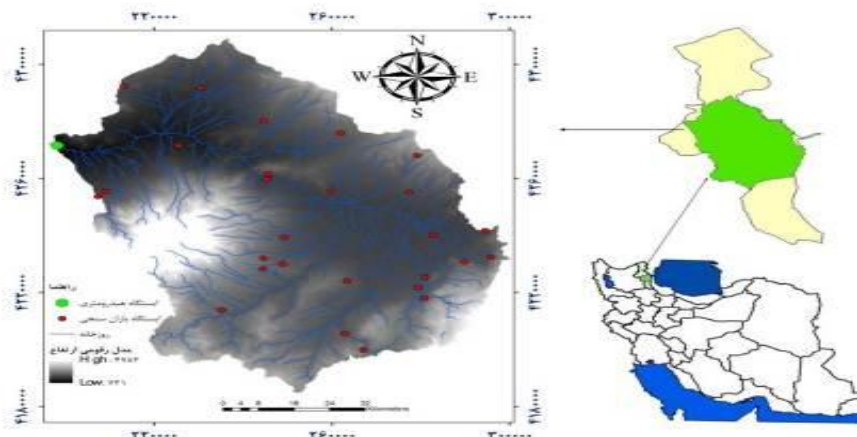
مهم‌ترین مشکل در توسعه و ایجاد سدهای زیرزمینی پیچیدگی تعیین مناطق مناسب احداث سد می‌باشد. این مشکلات از آن‌جا ناشی می‌شود که معیارها و عوامل زیادی در مکان‌یابی مناسب آن‌ها دخیل می‌باشند. بررسی و تعیین این عوامل در عرصه با استفاده از روش‌های سنتی بسیار پرهزینه بوده و نیاز به صرف وقت بسیار دارد. لذا در مطالعه سدهای زیرزمینی مهم است که به راه‌حل‌های ساده و مفید برسیم (۶). در پژوهش حاضر با استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و همچنین به‌کارگیری دو روش منطق فازی و بولین به مکان‌یابی و تهیه نقشه مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی در مناطق مرکزی استان اردبیل پرداخته شده است. منطقه مطالعاتی دارای اقلیم نیمه‌خشک با شرایط اقلیمی مناسب جهت احداث سد زیرزمینی می‌باشد که استفاده از روش‌های مطالعاتی با تعیین مناسب‌ترین منطقه می‌تواند جهت بهبود وضعیت منابع آب منطقه مؤثر واقع شود.

### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه (مناطق مرکزی استان اردبیل)، جزو مجموعه حوضه‌های رودخانه ارس می‌باشد. حوضه آبخیز ارس با مجموعه آبی خود، متعلق به حوضه آبخیز منطقه‌ای شماره ۱ ایران است. محدوده مورد مطالعه بین  $36^{\circ} 47'$  تا  $45^{\circ} 48'$  طول شرقی و  $37^{\circ} 47'$  تا  $52^{\circ} 38'$  عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). بلندترین نقطه ارتفاعی منطقه ۴۸۱۱ متر (قله سیلان) و پست‌ترین نقطه، خروجی دشت رضی با ارتفاع حدود ۹۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد. رودخانه قره‌سو در شمال دشت اردبیل، از شرق به غرب جریان دارد و رودخانه اصلی منطقه بوده و کلیه آب‌های سطحی جاری در منطقه به این رودخانه تخلیه می‌شوند. با توجه به بررسی‌های انجام شده مناطق مرکزی استان اردبیل (حوضه آبخیز دوست بیگلر) دارای خشکی متوسط و ترسالی کمی می‌باشند.

جغرافیایی می‌باشد. همچنین استفاده از روش‌های نوین باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود. هادیان و همکاران (۱۱)، در پژوهشی منطقه خشک و بیابانی مهرآباد، واقع در شمال کاشان را مورد مطالعه قرار دادند که پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی منطقه شامل زمین‌شناسی، مورفولوژی، خصوصیات مهندسی سنگ‌ها، سازندها، گسل‌ها، کیفیت آب و میزان فرسایش منطقه را بررسی کردند و نهایتاً مناطق مناسب سد زیرزمینی در محدوده مطالعاتی را مشخص کردند. خرمی و همکاران (۱۹)، در پژوهشی با استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی به تعیین مناطق مناسب سد زیرزمینی در حوضه آبخیز قره‌سو پرداختند که نتایج نشان‌دهنده مناسب بودن حدود ۳۰ درصد از حوضه مطالعاتی برای احداث سد زیرزمینی بودند.

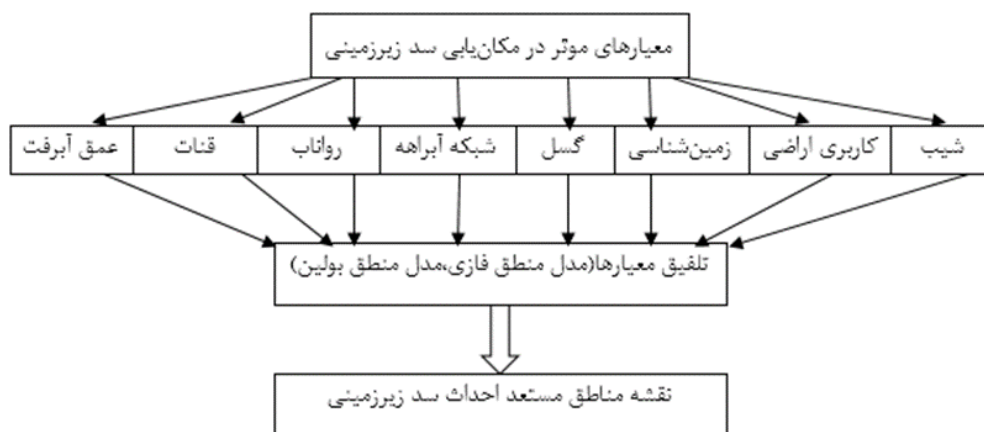
در اتیوپی تحقیقی توسط شنکوت (۳۱)، مینی بر جمع آوری آب باران با استفاده از سدهای زیرزمینی و ذخیره‌ای شنی انجام شد. نتایج این بررسی سدهای زیرزمینی را گزینه‌ای مناسب برای ذخیره آب باران معرفی نموده و نشان داد که این سدها در مقایسه با برکه‌های سطحی جمع‌آوری، از لحاظ کمی و کیفی مناسب‌تر می‌باشند. در مطالعه‌ای در جنوب هند راجو و همکاران (۲۷)، با تجزیه و تحلیل سطح پیژومتریک چهار سد زیرزمینی، به این نتیجه رسیدند که بعد از ساخت این سدها، سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط در ماه‌های قبل از مانسون (بارندگی فصلی)  $1/44$  متر و در ماه‌های بعد از مانسون  $1/88$  متر بالاتر آمده است. در پژوهشی فورزیر و همکاران (۹) نقاط مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی کوچک در مناطق خشک مالی را بررسی نمودند. انتخاب نقاط مناسب، با تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های بزرگ مقیاس انجام شد سپس به‌صورت کیفی نقاط شناسایی شده اولویت‌بندی شدند. نتایج نشان دادند که این روش، یک روش کلی برای تعیین نقاط مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی بوده و تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های بزرگ مقیاس ابزارهای مناسبی برای آنالیز مقدماتی و بررسی ویژگی‌های تکتونیکی می‌باشد. در رابطه با مدل‌سازی سدهای زیرزمینی در الجزایر اورداچی و همکاران (۲۴)، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، مدل رقومی



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی در ایران  
Figure 1. Location of the study area in Iran

پژوهش با استفاده از تکنیک‌های سیستم اطلاعات زمین مکانی، مدل منطق فازی، مدل منطق بولین و در نظر گرفتن معیارهای مؤثر در مکان‌یابی به امکان‌سنجی و تهیه نقشه مناطق مستعد برای احداث سد زیرزمینی در محدوده مطالعاتی پرداخته شده است (شکل ۲).

پهنه‌بندی مناطق مستعد برای مدیریت و دستیابی به هدف برای بسیاری از طرح‌های آبخیزداری ضروری می‌باشد که امروزه با استفاده از روش‌های مختلفی این مطالعات انجام می‌شود. معیارهای مختلفی بر پهنه‌بندی مناطق مستعد تأثیرگذار می‌باشند که انتخاب معیار و روش در هر منطقه به اطلاعات موجود و اهمیت مطالعه وابسته است (۱۶). در این



شکل ۲- معیارهای مؤثر در تعیین مناطق مناسب سد زیرزمینی  
Figure 2. Effective criteria in determining the suitable areas for underground dam

به‌دلیل قرار داشتن در ارتفاعات و شیب‌های بالاتر و همچنین عدم توجیه اقتصادی و مناطق مسکونی به‌علت نفوذناپذیر بودن به‌عنوان کاربری‌های نامناسب و بقیه کاربری‌ها به‌عنوان مناطق مناسب در نظر گرفته شدند.

#### زمین‌شناسی و گسل

برای بررسی زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی و شرایط مناسب احداث سد زیرزمینی، از نقشه رقوم زمین‌شناسی، نقشه کاغذی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور و گزارشات موجود استفاده شد. از مهم‌ترین مشخصات یک سد زیرزمینی وجود یک بستر آبرفتی با ضخامت مناسب به‌عنوان یک مخزن زیرزمینی برای ذخیره آب است، علاوه بر این وجود یک لایه سنگی نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری کم به‌عنوان سنگ پی نیز لازم است (۵). از عوامل اصلی ایجاد نشت و فرار آب از مخازن سدهای زیرزمینی، وجود شکستگی‌ها و گسل‌ها در محل احداث سد است. برای مشخص کردن گسل‌های منطقه و تهیه نقشه آن، لایه گسل محدوده مطالعاتی با نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کنترل و با ایجاد بافر ۵۰۰ متری (۱۸) محدوده مناطق نامناسب (کد ۰) تعیین شد.

#### شبکه آبراهه و رواناب

روشی که غالباً برای تعیین جهت جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد به روش الگوریتم D8 شهرت دارد (۱۳). شبکه آبراهه‌ها، طی مراحل از لایه تجمع جریان استخراج شده که این اشتقاق براساس تعداد سلول‌های تجمع یافته برای ساخت یک آبراهه تعیین می‌شود (۲۹). معمولاً در روش رتبه‌بندی استرالر، احداث سد زیرزمینی در آبراهه‌های رتبه ۳ و ۴ و بالاتر پیشنهاد می‌شود (۳۲، ۳۶). همچنین برای بررسی مقدار

#### شیب

از آن‌جا که شیب سطح ایستابی و در نتیجه میزان جریان تابع شیب توپوگرافی است، باید برای احداث سد زیرزمینی حداقل شیب توپوگرافی موجود باشد (۳۳). شنکوت (۳۰) در گزارش علمی خود در ارتباط با پروژه‌های سد زیرزمینی، شیب‌های زیر پنج درصد را به دلیل سرعت کم آب در این مناطق و فرصت کافی برای نفوذ آب و تشکیل مخازن مناسب زیرسطحی، برای احداث سد زیرزمینی مناسب می‌داند که در بسیاری از مطالعات انجام شده در داخل کشور نیز از این آستانه شیب برای مکان‌یابی سد زیرزمینی استفاده شده است (۳۷). نقشه شیب تهیه شده، برای منطق بولین در دو کلاس ۰ تا ۵ و بیش از ۵ درصد و برای منطق فازی در ۴ کلاس ۰-۲، ۲-۵، ۵-۸ و بیش از ۸ درصد قرار گرفت. در طبقه‌بندی مجدد شیب برای منطق بولین، طبقه اول به‌عنوان شیب‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در نظر گرفته شد.

#### کاربری اراضی

این نوع سدها منجر به تغییر کاربری اراضی و اکوسیستم موجود نمی‌شوند، ولی در مناطقی که دارای کاربری مسکونی باشند برای احداث سد زیرزمینی نمی‌توانند محل مناسبی باشند (۵). احتمال آلودگی آب ذخیره شده در پشت سد زیرزمینی در اثر فاضلاب‌های خانگی بسیار بالا می‌رود، علاوه بر این، احتمال وجود خسارت به ساختمان‌ها و سازه‌ها نیز وجود دارد، لذا احداث این سدها در محل‌های مسکونی مناسب نیست. وجود پوشش گیاهی با تراکم خوب در محل احداث می‌تواند منطقه را از لحاظ احداث سد زیرزمینی در اولویت قرار دهد. در این مطالعه اراضی بایر و با برونزد سنگی به‌دلیل عدم وجود پوشش گیاهی از لحاظ نفوذ، جنگل‌های انبوه و نیمه‌انبوه

سلولی تبدیل شدند. برای تولید نقشه نهایی در این مدل عملگرهای مختلف AND، OR و NOT وجود دارد، این عملگرهای منطقی اجازه می‌دهند دو یا چند عبارت رابطه‌ای به یک عبارت که حاصل آن بولین است تبدیل شود. در این تحقیق با توجه به هدف از عملگر AND استفاده شد.

#### مدل منطق فازی

در یک مجموعه فازی، به هر عضو، درجه عضویتی بین صفر تا ۱ اختصاص می‌یابد. صفر بیان‌کننده عدم عضویت کامل به مجموعه فازی و یک عضویت کامل را نشان می‌دهد و اعداد بین صفر تا یک، مجموعه پیوسته‌ای از عضویت به مجموعه فازی را بیان می‌کند (۲۲،۳۶). برخی از محققین از این روش تحت عنوان Fuzzy AHP نام برده‌اند (۱۴،۲۸). درجه عضویت‌پذیری، اشتراک و اجتماع، متمم، ضرب، جمع و گاما توان‌های اساسی منطق فازی می‌باشند (۲). در هر مجموعه فازی مانند A، وابستگی یک عضو (X)، از مجموعه مرجع به آن، از طریق تابع عضویت آن به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود، که X عضوی از مجموعه مرجع و  $\mu_A(x)$  درجه وابستگی به مجموعه فازی A می‌باشد (۱).

$$A = \{\mu_A(x)\}$$

رابطه (۳)

با توجه به نتایج مطالعات انجام شده در رابطه با کارایی عملگرهای مختلف در پهنه‌بندی (۲۱)، در این پژوهش از عملگر گاما فازی ۰/۹ برای پهنه‌بندی مکان‌های مستعد احداث سد زیرزمینی استفاده شد. عملگر فازی گاما به صورت رابطه زیر (۴) تعریف می‌شود:

رابطه (۴)

$$\mu = (\mu \text{ fuzzy sum})^Y \times (\mu \text{ fuzzy product})^{1-Y}$$

مقدار Y در بازه بین صفر تا یک قرار دارد که انتخاب آگاهانه مقدار Y سبب پدید آمدن ارزش‌هایی در خروجی می‌شود که بیانگر سازگاری قابل انعطاف بین گرایش‌های کاهشی ضرب و افزایشی جمع می‌باشد (۱۲).

#### نتایج و بحث

در این مبحث با توجه به داده‌ها و روش‌های مورد استفاده، نقشه‌های تهیه شده برای هر معیار (شکل ۳) بررسی و سپس با استفاده از روش‌های مکان‌یابی به تعیین مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی پرداخته می‌شود.

رواناب تولیدی منطقه، داده‌های هواشناسی از ۲۱ ایستگاه باران‌سنجی و ۴ ایستگاه سینوپتیک برای دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ تهیه شدند و با استفاده از روش کوکریجینگ نقشه رستری بارندگی در سطح منطقه تهیه شد، نقشه شماره منحنی (CN) حوزه آبخیز نیز با استفاده از وضعیت و نوع کاربری تهیه شد. سپس با استفاده از روش سازمان حفاظت آب و خاک (SCS)، روابط (۱) و (۲) ارتفاع استفاده شد.

$$R = \frac{(P - 0.25)^2}{(P + 0.85)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این روابط R مقدار رواناب، P مقدار بارندگی و S مقدار تلفات برحسب میلی‌متر می‌باشد (۲۰).

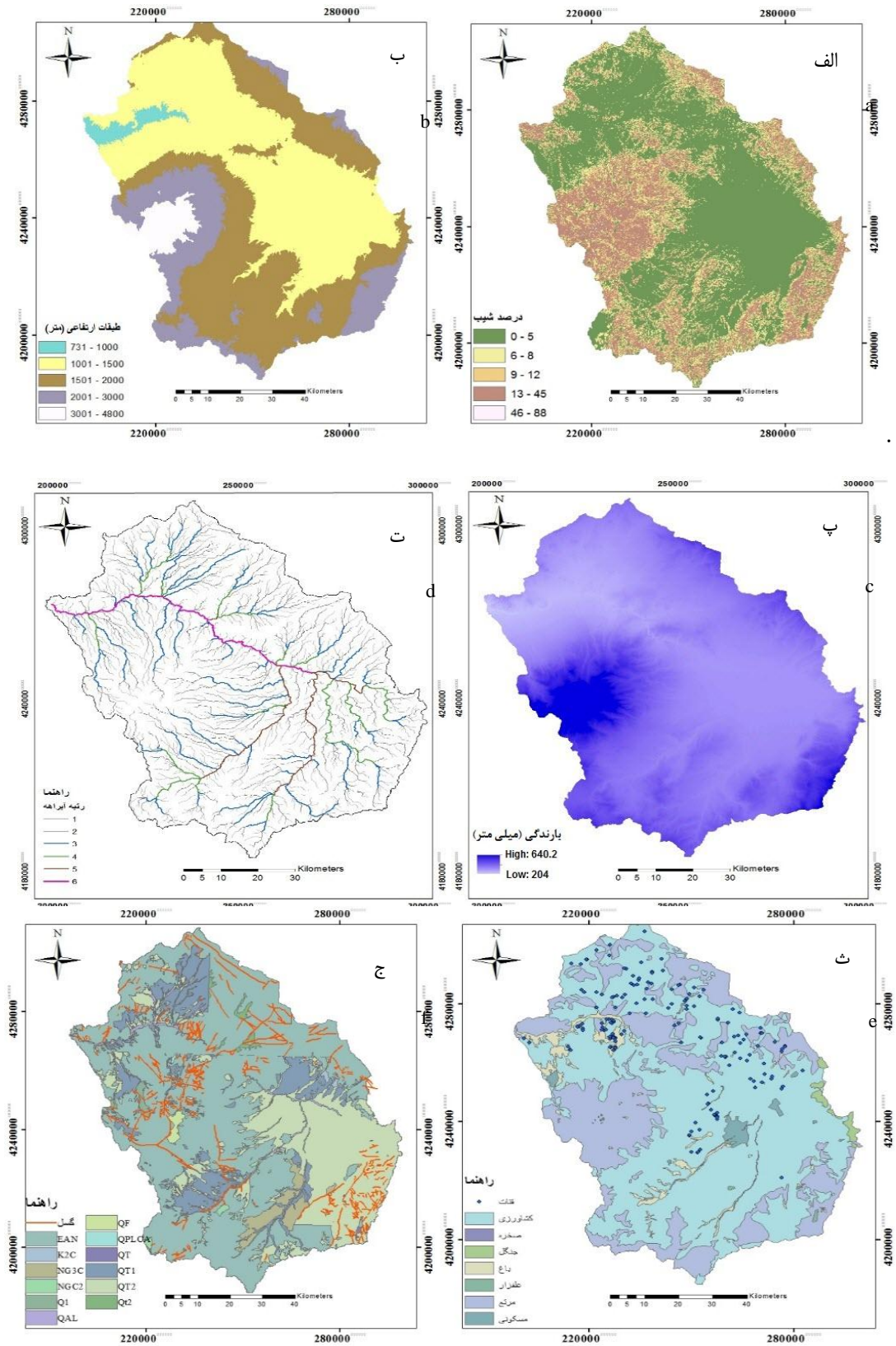
#### قنوات، چاه‌ها، آبرفت

در این بخش وضعیت قنوات، چاه‌ها، آبخوان و کیفیت آب‌های زیرزمینی مورد مطالعه قرار گرفت. در منطق بولین لایه بافر ۱۰۰ متری (۱۸) از قنوات تهیه شده و مناطق خارج از حریم به‌عنوان محدوده‌های مناسب سد زیرزمینی در نظر گرفته شدند. بررسی وضعیت چاه‌ها نشان می‌دهد که حدود ۳۱۰۰ حلقه چاه در منطقه وجود دارد که اکثر آن‌ها در محدوده پادگانه‌های آبرفتی دوره کوتاه‌تر حفر شده‌اند. آنالیز کیفیت آب چاه‌های منطقه با استفاده از روش ویلکوکس و پارامترهای SAR، Na، EC انجام شد. داده‌ها و نقشه‌های مربوط به وضعیت سنگ‌کف و یا سنگ بستر که یکی از پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب محل سدهای زیرزمینی می‌باشد از طرح مطالعاتی انجام شده در این منطقه تهیه شد و به ۶ کلاس طبقه‌بندی شد (۸). در دشت اردبیل سنگ‌کف در اکثر نقاط از نوع سازندهای غیرقابل نفوذ رسی یا ماری می‌باشد، این رسوبات تقریباً در تمام منطقه گسترش دارند (۲۶).

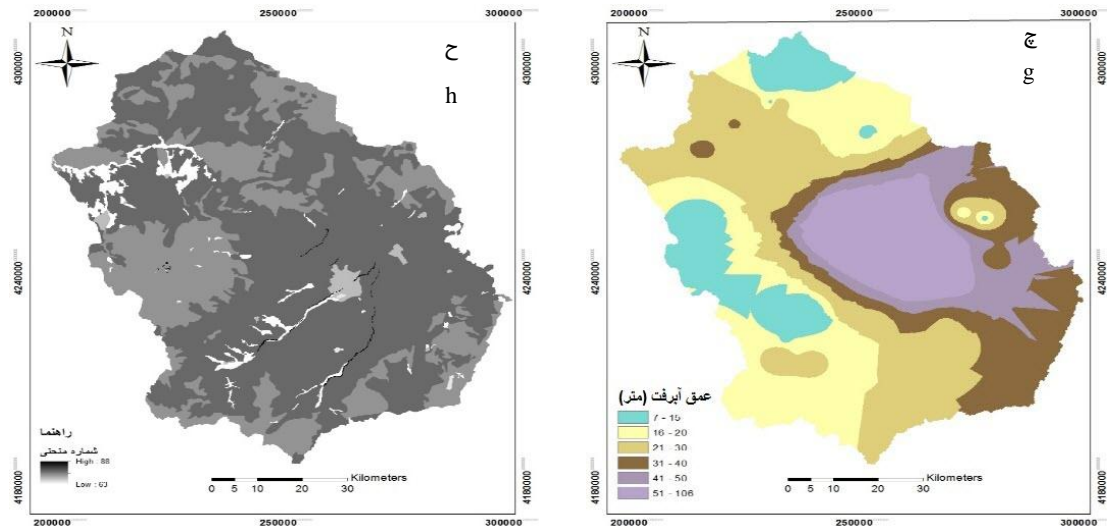
#### مدل منطق بولین

منطق بولین به دلیل سادگی منطق و محاسبات آن اجرای سریعی دارد که در بسیاری از تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است (۳۴). در این مدل اساس وزن‌دهی بر اساس دو حالت صفر (نامناسب) و یک (مناسب) می‌باشد (۳۵). برای اجرای این مدل، برای هر کدام از نقشه‌های سلولی براساس مشاهدات میدانی و مطالعات انجام شده، یک تابع تعریف و به‌طور جداگانه بر روی لایه خود اعمال شدند. نقشه‌های وکتوری به‌صورت صفر و یک، کدگذاری و سپس به لایه‌های





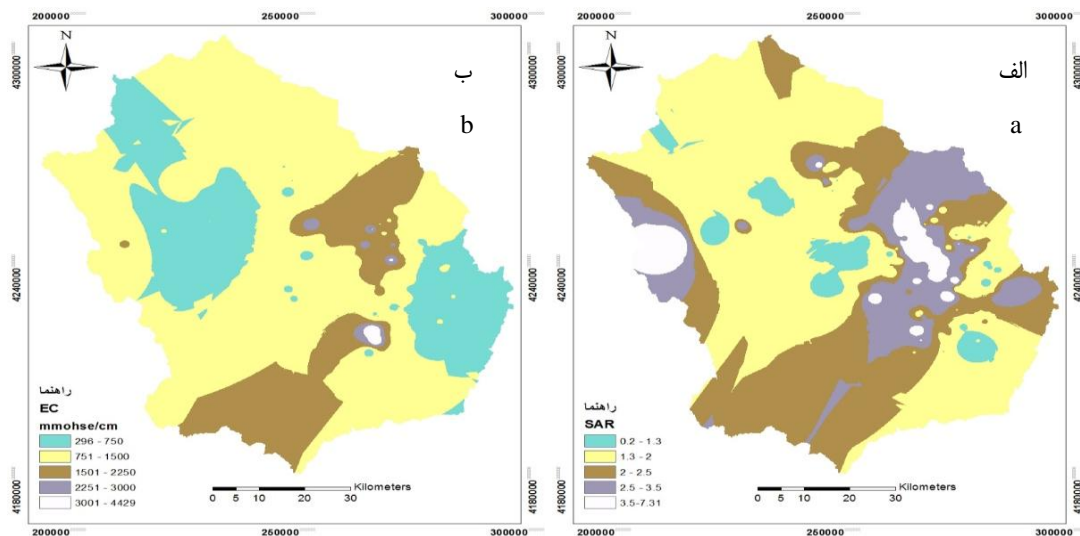
شکل ۳- الف) نقشه شیب ب) نقشه طبقات ارتفاعی، پ) نقشه بارندگی، ت) نقشه رتبه‌بندی آبراهه ث) نقشه کاربری ج) نقشه گسل، ج) نقشه عمق آبرفت، ح) نقشه شماره منحنی  
 Figure 3. a) Slope map, b) Altitude classes map, c) Precipitation map, d) Stream ordering map, e) Land use map, f) Fault map, g) Depth of alluvium map, h) Curve number map



ادامه شکل ۳- الف) نقشه شیب ب) نقشه طبقات ارتفاعی، پ) نقشه بارندگی، ت) نقشه رتبه‌بندی آبراهه ث) نقشه کاربری ج) نقشه گسل، چ) نقشه عمق آبرفت، ح) نقشه شماره منحنی  
Continued Figure 3. a) Slope map, b) Altitude classes map, c) Precipitation map, d) Stream ordering map, e) Land use map, f) Fault map, g) Depth of alluvium map, h) Curve number map

درصد از کل حوضه را تشکیل داده و مناسب برای احداث سد زیرزمینی می‌باشند. بخش عمده توزیع سطوح ارتفاعی در طبقات اول و دوم (ارتفاعات زیر ۲۰۰۰ متر) بوده که در بخش‌های مرکزی حوضه دیده می‌شود. مساحت کاربری‌های مختلف بیانگر این است که بیشترین کاربری منطقه مربوط به بخش کشاورزی (۶۵ درصد) و مرتع (۲۹ درصد) و مابقی سایر کاربری‌ها است. از لحاظ خصوصیات سنگ‌شناسی منطقه حدود ۳۰۸۱ کیلومتر مربع از سطح حوضه (۴۱ درصد) برای احداث سد زیرزمینی محدودیتی ندارند. نقشه‌های به‌دست آمده برای معیارهای مختلف با استفاده از روش‌های مطالعاتی در شکل ۵ نشان داده شده است.

بررسی کیفیت ب‌های زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد که کیفیت آب زیرزمینی منطقه در بخش‌های مختلف برای احداث سد زیرزمینی مناسب می‌باشند که با مطالعات بیان و چرخه آب منطقه اردبیل (۴) مطابقت دارد (جدول ۱). به‌طوری‌که تنها ۱۰ درصد آب‌های زیرزمینی منطقه را کلاس کیفی ضعیف (C3S2) شامل می‌شود که بیشتر در قسمت‌های جنوبی منطقه قرار دارند. لذا امتیاز احداث سد زیرزمینی در این مناطق از لحاظ کیفیت آب زیرزمینی کمتر می‌باشد. نقشه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی در شکل ۴ نشان داده شدند. بیشترین مساحت طبقات شیب تشکیل دهنده حوضه آبخیز مربوط به شیب‌های زیر پنج درصد می‌باشد که حدود ۵۶/۳

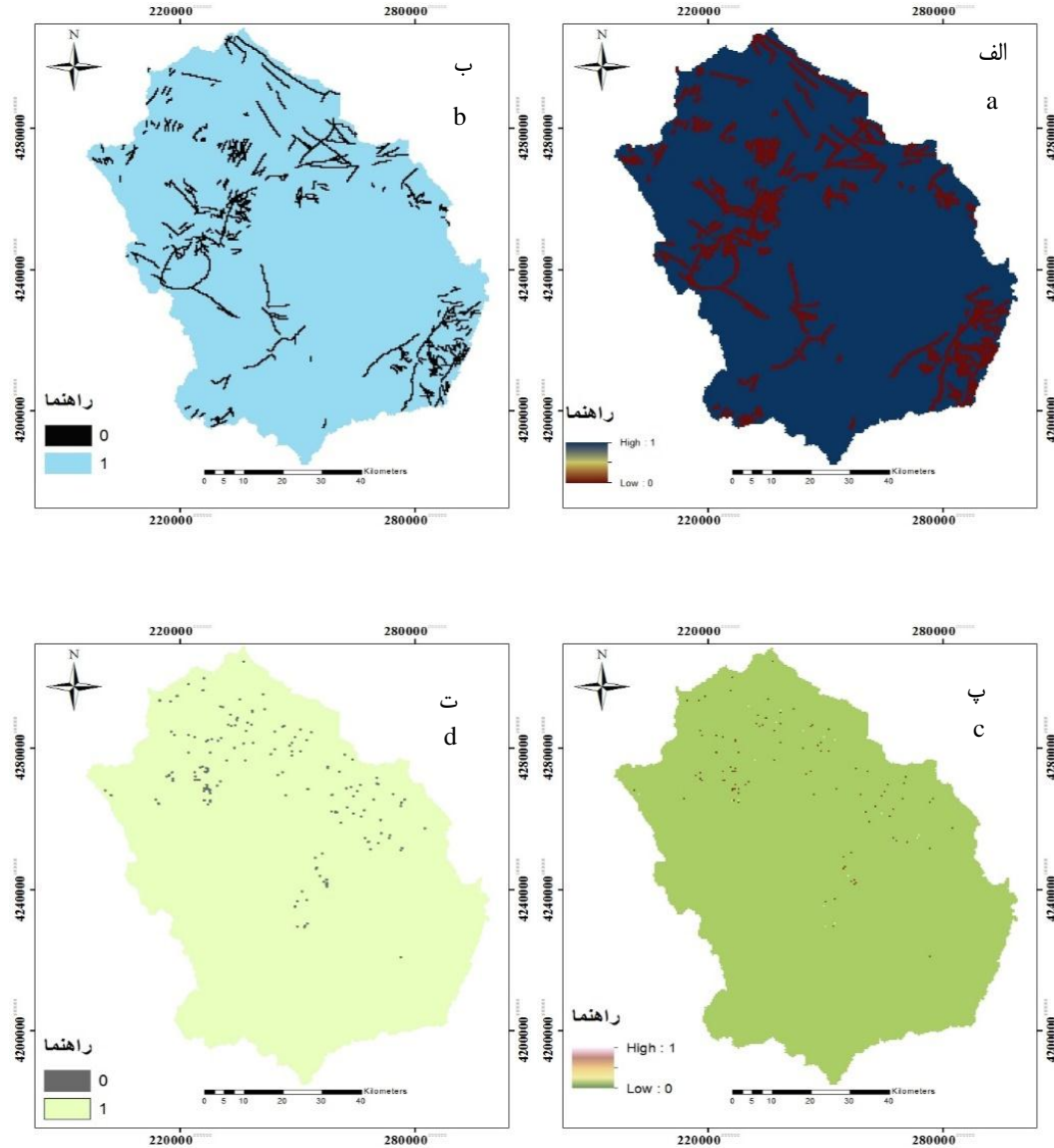


شکل ۴- نقشه کیفیت آب‌های زیرزمینی الف) نقشه نسبت جذب سدیم، ب) نقشه کیفیت هدایت الکتریکی  
Figure 4. Underground water quality map, a) Sodium abstraction rate map

جدول ۱- وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از دیاگرام ویلکوکس

Table 1. Qualitative status of groundwater using Wilcox diagram

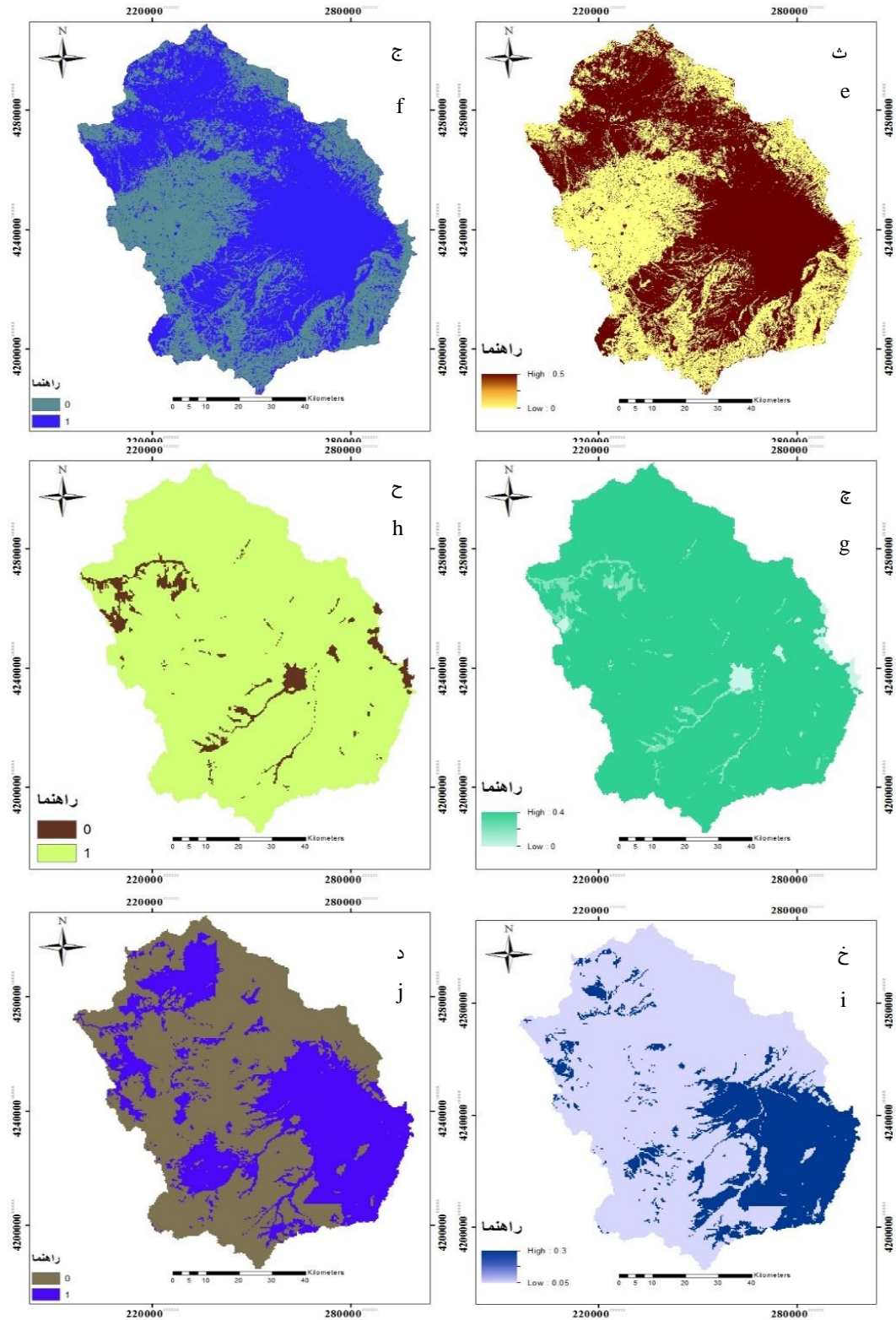
درصد	وضعیت	کلاس کیفی
۴۱/۰۷	خوب	C2S1
۴۸/۷۱	متوسط	C3S1
۱۰/۲۲	ضعیف	C3S2



شکل ۵- الف) نقشه گسل منطق فازی، ب) نقشه گسل منطق بولین، پ) نقشه قنات منطق فازی، ت) نقشه قنات منطق بولین، ث) نقشه شیب منطق فازی، ج) نقشه شیب منطق بولین، چ) نقشه کاربری منطق فازی، ح) نقشه کاربری منطق بولین، خ) نقشه سازند منطق فازی، د) نقشه سازند منطق بولین، ذ) نقشه عمق آبرفت منطق فازی، ر) نقشه رواناب منطق فازی.

Continued Figure 5. a) Fuzzy logic fault map, b) Boolean logic fault map, c) Fuzzy logic aqueduct map, d) Boolean logic aqueduct map, e) Fuzzy logic slope map, f) Boolean logic slope map, g) Fuzzy logic land use map, h) Boolean logic land use map, i) Fuzzy logic formation map, j) Boolean logic geological formations map, k) Fuzzy logic

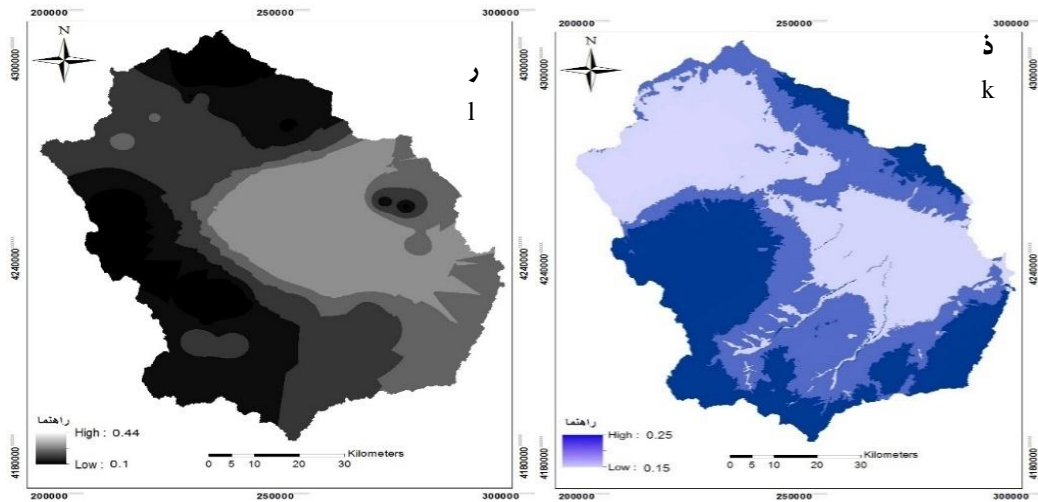




ادامه شکل ۵- الف) نقشه گسل منطق فازی، ب) نقشه گسل منطق بولین، پ) نقشه قنات منطق فازی، ت) نقشه قنات منطق بولین، ث) نقشه شیب منطق فازی، ج) نقشه شیب منطق بولین، چ) نقشه کاربری منطق فازی، ح) نقشه کاربری منطق بولین، خ) نقشه سازند منطق فازی، د) نقشه سازند منطق بولین، ذ) نقشه عمق آب‌رفت منطق فازی، ر) نقشه رواناب منطق فازی.

Continued Figure 5. a) Fuzzy logic fault map, b) Boolean logic fault map, c) Fuzzy logic aqueduct map, d) Boolean logic aqueduct map, e) Fuzzy logic slope map, f) Boolean logic slope map, g) Fuzzy logic land use map, h) Boolean logic land use map, i) Fuzzy logic formation map, j) Boolean logic geological formations map, k) Fuzzy logic



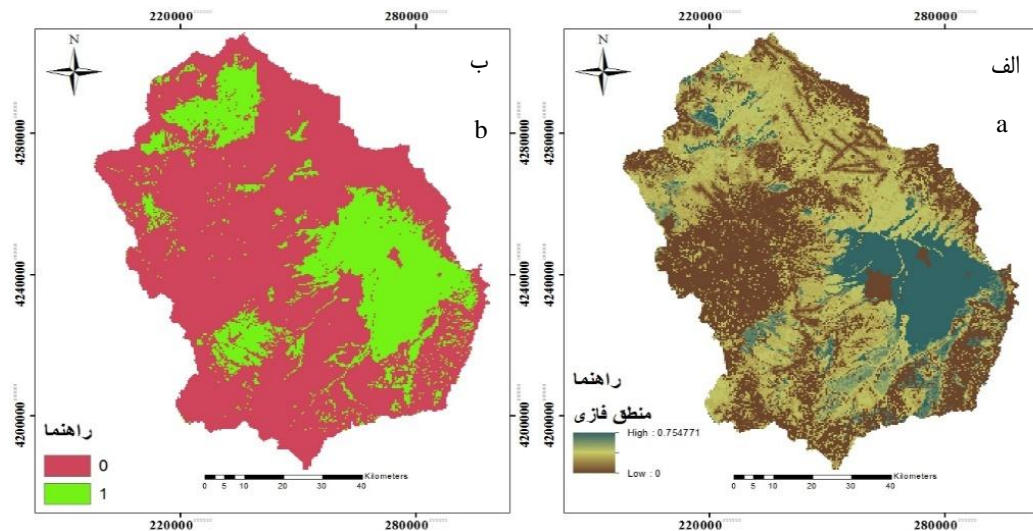


ادامه شکل ۵- الف) نقشه گسل منطق فازی، ب) نقشه گسل منطق بولین، پ) نقشه قنات منطق فازی، ت) نقشه قنات منطق بولین، ث) نقشه شیب منطق فازی، ج) نقشه شیب منطق بولین، چ) نقشه کاربری منطق فازی، ح) نقشه کاربری منطق بولین، خ) نقشه سازند منطق فازی، د) نقشه سازند منطق بولین، ذ) نقشه عمق آبرفت منطق فازی، ر) نقشه رواناب منطق فازی.

Continued Figure 5. a) Fuzzy logic fault map, b) Boolean logic fault map, c) Fuzzy logic aqueduct map, d) Boolean logic aqueduct map, e) Fuzzy logic slope map, f) Boolean logic slope map, g) Fuzzy logic land use map, h) Boolean logic land use map, i) Fuzzy logic formation map, j) Boolean logic geological formations map, k) Fuzzy logic alluvium depth map, l) Fuzzy logic runoff map

که با کد صفر معین شده‌اند به‌عنوان بخش‌های نامناسب در نظر گرفته شدند. مدل منطق فازی اطلاعات بیشتری از مناطق مناسب و نامناسب سد زیرزمینی را نشان می‌دهد به طوری که مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی بیشتر در آبراهه‌هایی با رتبه ۳ قرار دارند که با نتایج مطالعات چذگی و همکاران (۶) و سلیمانی و همکاران (۳۲) مطابقت دارد.

نقشه نهایی یا تلفیقی (شکل ۶) حاصل از معیارهای مختلف نشان می‌دهد که مناطق مناسب تعیین شده برای احداث سد زیرزمینی با لایه‌های ورودی مطابقت دارد به طوری که مناطق تعیین شده در مدل منطق بولین با عملگر AND، در بخش‌هایی از حوضه قرار دارد که هیچ محدودیتی از لحاظ احداث ندارد و با کد ۱ مشخص شده است و مناطقی



شکل ۶- نقشه نهایی (تلفیقی) مناطق مناسب سد زیرزمینی با استفاده از: الف) مدل منطق بولین، ب) مدل منطق فازی  
Figure 6. Final map (compilation) of the suitable areas for underground dam using: a) Boolean logic model, b) Fuzzy logic model

می‌توان با انتخاب تنگه‌های مناسب آب کشاورزی و مورد نیاز روستاییان را از این سد‌ها تهیه کرد که در مطالعات حاجی‌عزیزی و همکاران (۱۲) و پیرمرادی و همکاران (۲۵) به

با توجه به این که سدهای زیرزمینی در مناطقی با پهنه آبرفتی عمیق (۳۰ متر) نتایج مطلوبی ارائه می‌دهند و در محدوده مورد مطالعه این مناطق تحت کشت می‌باشند،

سازندهای نفوذناپذیر یا حساس به فرسایش و دارای املاح گچ و نمک زیاد هستند کنار گذاشته شدند که در این تحقیق سازندهای کواترنری، کنگلومرای، مخروط افکنه و واریزه‌ها برای احداث سد زیرزمینی مناسب تشخیص داده شدند. در برخی از مناطق حوضه گسل‌هایی مشاهده می‌شود که در صورت احداث سد در نزدیکی این مناطق به دلیل وجود شکستگی در این مناطق نه تنها جریان آب در پشت محور سد ذخیره نمی‌شود بلکه ممکن است مسیر جریان اولیه نیز منحرف شده و سبب بروز مشکلات شود. طولانی‌ترین گسل منطقه ۲۷ کیلومتر طول دارد که گسل بزرگی محسوب می‌شود. برای جلوگیری از مشکلات ذکر شده، بافاری در اطراف گسل زده می‌شود که این مناطق با دریافت کد صفر به عنوان مناطق نامناسب از سایر بخش‌های حوضه جدا می‌شود. لایه حریم تعیین شده برای مناطق گسلی در این تحقیق ۵۰۰ متر می‌باشد. همچنین برای جلوگیری از مسدود شدن جریان ورودی به قنات‌ها و مشکلات ناشی از آن مکان‌هایی که در محدوده ۱۰۰ متری اطراف قنات قرار دارند حذف شدند. از لحاظ نوع کاربری اراضی، کاربری‌های مناطق مسکونی و صخره‌ای برای احداث سد زیرزمینی نامناسب ارزیابی شد و این مناطق در مرحله حذفی تعیین و با کد صفر کدگذاری شدند. بعد از تهیه نقشه رستری همه معیارهای ذکر شده با استفاده از منطق بولین و عملگر AND این مناطق تلفیق و مناطقی از حوضه که کد صفر دریافت کردند، به عنوان مناطق نامناسب و مناطقی که کد ۱ دریافت کردند، به عنوان مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی تعیین شدند. نتایج نشان داد که مناطق مرکزی حوضه آبخیز بیشترین وسعت را برای احداث سد زیرزمینی دارد البته بخش از مناطق جنوب غربی و شمالی محدوده مطالعاتی برای احداث سد زیرزمینی بدون محدودیت می‌باشند. بستر رودخانه قره‌سو که به عنوان یکی از اصلی‌ترین آبراه‌های حوضه آبخیز محسوب شده در مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی قرار گرفته و از لحاظ زمین‌شناختی دارای بستر آبرفتی با نفوذپذیری مناسب می‌باشد، سنگ بستر در محدوده مطالعاتی اردبیل از نوع مارنی بوده که تقریباً غیرقابل نفوذ و برای احداث سد زیرزمینی مد نظر می‌باشد. برای فهم اطلاعات بیشتر از مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی، با استفاده از روش منطق فازی اقدام به اولویت‌بندی این مناطق شد. نتایج حاصله نشان داد که بین مناطق مستعد انتخاب شده توسط دو مدل تطابقت وجود دارد ولی منطق فازی علاوه بر تعیین مناطق مناسب اولویت‌بندی نیز انجام داده است. بنابراین در پروژه‌های احداث سد زیرزمینی این مدل می‌تواند اطلاعات بیشتری در اختیار مدیران قرار دهد و آنان را در انتخاب بهترین مکان برای احداث سد زیرزمینی یاری نماید.

این موضوع اشاره شده است. از لحاظ شرایط رواناب برای احداث سد، مناطق بالادست دارای رواناب بالا می‌باشند اما به دلیل بالا بودن شیب این مناطق، حذف شده‌اند و مناطق ارتفاعی کم و با رواناب متوسط انتخاب شدند که با نتایج رحمان و همکاران (۲۶) و فورزیر و همکاران (۹) مطابقت دارد. نقشه‌های تلفیقی حاصل از منطق فازی و بولین با یکدیگر انطباق داشته به طوری که در هر دو مدل بخش‌های وسیعی از مناطق مرکزی حوضه آبخیز شرایط احداث سد زیرزمینی را دارا می‌باشند. در مدل منطق بولین نواحی شمال شرقی حوضه آبخیز به عنوان مناطق بدون محدودیت انتخاب شدند در حالی که در مدل منطق فازی این بخش به عنوان منطقه‌ای با قابلیت متوسط تعیین شده است که نشان دهنده وسعت امتیازدهی منطق فازی در تعیین مناطق مستعد می‌باشد. کمبود بارندگی و تغییرات شدید نزولات جوی در فصول مختلف از ویژگی‌های اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، در این مناطق برای بهره‌برداری از بارندگی‌های اتفاق افتاده و جریانات زیرسطحی و همچنین منابع آب زیرزمینی مدیریت و برنامه‌ریزی حوضه آبخیز حائز اهمیت فراوان می‌باشد. راه‌های مختلفی مانند استحصال رواناب، سد زیرزمینی، ایجاد چاله و غیره برای بهره‌برداری از نزولات آسمانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد شده است که احداث سد زیرزمینی به دلیل عملکرد و کارایی مناسبی که در پروژه‌های مختلف نشان داده است دارای اهمیت فراوانی می‌باشد و در سال‌های اخیر مورد توجه خاصی قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش ابتدا شناسایی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی می‌باشد به گونه‌ای که در این مناطق برای احداث سد زیرزمینی هیچ محدودیتی وجود نداشته باشد سپس اولویت‌بندی این مناطق می‌باشد. در پهنه‌بندی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی معیارهای توپوگرافی، گسل، قنات، کاربری و زمین‌شناسی برای تعیین اولیه محدوده‌های مناسب توسط منطق بولین مورد استفاده قرار گرفت. معیارهای ذکر شده در واقع به عنوان معیارهای اصلی می‌باشند و در صورتی که در معیارهای ذکر شده شرایط مناسب وجود نداشته باشد امکان احداث سد زیرزمینی وجود نخواهد داشت.

از سطح حوضه حدود ۵۶/۳ درصد دارای شیب کمتر از ۵ درصد می‌باشد که این مناطق از لحاظ شیب برای احداث محور سد بدون محدودیت می‌باشد. بیشتر مناطق کم شیب حوضه در قسمت مرکزی و جنوبی آن قرار دارد این مناطق به دلیل قرار گرفتن در پای کوه‌های مجاور دارای بسترهای آبرفتی مناسبی می‌باشند. نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که بخش وسیعی از حوضه توسط رسوبات آبرفتی مربوط به دوره کوارترن پوشیده شده است. برای تعیین مناطق مناسب از لحاظ زمین‌شناسی مناطقی از حوضه که دارای

## منابع

1. Abadinejad, M., M. Yemani, M. Mehran and S. Shadfar. 2007. Evaluation of Fuzzy logic operators' performance in determination of landslide capability. *Watershed Management Science*, (2): 39-44.
2. Abedini, M., B. Mirzakhani and A. Asghari. 2015. Geomorphologic zonation of land suitability in Arak city using fuzzy logic model, 5(18): 59-72, (In Persian).
3. Aminizadeh, B., Gh. Lashkaripur and M. Ghafori. 2010. Monitoring methodology of underground dam (case study, Ravar underground dam). *Irrigation and water*, 1(2): 43-57 (In Persian).
4. Anonymous, 2005. Underground water reports, Discharge and water cycle studies. Gatreh Baran consulting engineers, 87 pp, (In Persian).
5. Ashghizadeh, M. and N. Nora. 2010. Determine the proper location of an underground dam on the aqueduct. *Water and soil protection*, 17(3): 45-64 (In Persian).
6. Chezghi, J., H.M. Moradi and M.M. Kheirkhah Zarkesh. 2012. Selection of suitable sites for underground dams using multi criteria decision making with an emphasis to water resources (Case Study: West of Tehran Province), *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 4(13): 65-68.
7. Davodi, M. 2004. Underground dams are an economical and effective way to manage and develop water resources. *Publications of the institute for conservation and watershed management*, (In Persian).
8. Esmali, A., M. Golshan and K. Khorrami. 2015. Mapping suitable areas for underground dam construction by using GIS (Case Study: Central areas of Ardabil province). *Research Project, University of Mohagheh Ardabili*, 124 pp (In Persian).
9. Forzieri, G., M. Gardenti, F. Caparrini, and F. Castelli. 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams, *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 33(1-2): 74-85.
10. Garezi, R., A. Najafinejad, N. Nora, A. Dehghani and A. Filehkesh. 2012. Locating an underground dam with the help of GIS in the Sabzevar. 2<sup>nd</sup> managing the environment conference. *Tehran University*, (In Persian).
11. Hadeian, F., Z. Shoaie, M. Kheikhah and A. Majidi. 2012. Surveying the factors for sit selection the underground dam using the GIS method and remote sensing. 31<sup>th</sup> earth science conference, *Geological Survey, Iran*, 8 pp (In Persian).
12. Hajiazizi, S.H., M. Kheirkhah and A. Sharifi. 2011. Determining appropriate stream for underground dam construction with multi criteria decision making methods, remote sensing and GIS in natural resource, 2(2): 27-38.
13. Hoseinzadeh, R. and A. Bidkhory. 2008. *Geography Information System (GIS), basics and tutorials for ArcGIS*. Mashhad University Press, 250 pp (In Persian).
14. Isaai, M., A. Kanani, M. Tootoonchi and H. Afzali. 2011. Intelligent timetable evaluation using fuzzy AHP, *Expert Systems with Applications*, 38(4): 3718-3723.
15. Ishida, S., T. Tsuchihara, S. Yoshimoto and M. Imaizumi. 2011. Sustainable use of groundwater with underground dams. *Review, JARQ*, 45(1): 51-61.
16. Jasmin I. and P. Mallikajuna. 2011. Satellite-based remote sensing and geographic information systems and their application in the assessment of groundwater potential, *India, Hydrogeology*, 19(4): 729-740.
17. Kheirkhah Zarkesh, M., T. Mohebi, Gh. Majidi and F. Asadeian. 2011. Estimation of underground water volume in underground drainage basins using GIS and RS. *Water and recourse Lahijan unit*, 4(4): 19-26 (In Persian).
18. Khorrami, K., Gh. Vahhabzadeh, K. Soleimani and R. Talaei. 2013. Selection sites of underground dam in the Gharesou watershed, *Mater degree thesis, watershed management group, Sari Agricultural and Natural Resources University*, 122 pp (In Persian).
19. Khorrami, K., Gh. Vahhabzadeh, K. Soleimani and R. Talaei. 2014. Determining the suitable areas of underground dam in Gharasou watershed, *journal of Watershed Engineering and Management*, 6(2): 139-154 (In Persian).
20. Mahdavi, M. 2007. *Applied hydrology*. Tehran university publication, 340 pp (In Persian).
21. Naderi, F. 2012. Application of fuzzy logic in landslide hazard zonation in Chardavol Ilam watershed. *Physical geography*, 94: 74-85.
22. Nadun, S.N.E.M., I. Maarof, R. Ghazali, A.M. Samad and R. Adnan. 2010. Sustainable groundwater potential zone using remote sensing and GIS. 6<sup>th</sup> International Colloquium on Signal Processing and Its Applications, *Mallaca, Malaysia*, 6 pp.
23. Onder, H. and M. Yilmaz. 2005. *Underground Dams, A tool of sustainable development and management of groundwater resources*, *European Water publications*, 11(12): 35-45.
24. Ouerdachi, B., B. Hafsi, B. Tayeb. 2010. Modeling of underground dams, Application to planning in the semi-arid areas (Biskra, Algeria), *Energy Procedia, Elsevier publications*, 18: 426-437.

25. Pirmoradi, R., M. Nakhaei and F. Asadian. 2011. Determining suitable areas for underground dam construction using GIS and AHP, Case study: Malayer plain in Hamedan province. *Natural Geography*, 3(8): 51-66 (In Persian).
26. Rahman, M.A., B. Rusteberg, R.C. Gogu, J.L. Ferreira and M. Sauter. 2012. A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge. *Environmental Management*, 99: 61-75.
27. Raju, J., J. Reddy and M. Truski. 2006. Subsurface dams to harvest rainwater, a case study of the swarnamakhi river basin, Southern India, *Hydrogeology*, 14(4): 526-531.
28. Razavi, S. and J. Samani. 2016. Evaluating water management strategies in watersheds by new hybrid Fuzzy Analytical Network Process methods. *Hydrology*, 534: 364-376.
29. Saadati, H. 2012. GIS and remote sensing, Islamic Azad University Ardabil Press, 431 pp (In Persian).
30. Shenkut, M. 1999. Design of Subsurface Dam for BoriVillage, AddisAbaba, Ethiopia, 21 pp.
31. Shenkut, M. 2001. Rainwater harvesting with subsurface and sand dams, 10th international rainwater catchment systems conference, section2: rainwater catchment in humid and arid regions, Mannheim, Germany, 6 pp.
32. Soleimani, S., M. Nikoodel, A. Oroumiey and H. Bahrami. 2009. Suitable site selection of underground dam Using RS and GIS, Third Conference of Iran Water Resources Management, Tabriz University, (In Persian).
33. Tabatabaei Yazdi, J. and S. Nabipey. 2004. Underground water dams for small-scale water supply. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. Tehran, Iran, pp. 63, (In Persian).
34. Trinh, K. 2016. Effective Boolean dynamics analysis to identify functionally important genes in large-scale signaling network. *Biosystems*, 137: 64-72.
35. Updegrove, A., N. Wilson and S. Shadden. 2016. Boolean and smoothing of discrete polygonal surfaces, *Journal of Advances in Engineering*, 95(3): 16-27.
36. Yousefi, S., H. Mohammadzadeh and M. Akbari. 2014. An Evaluation of Groundwater Potential Zones Using Combined Fuzzy-AHP Method and GIS/RS Technologies. *Water Resources and Development*, 2(4): 124-141 (In Persian).
37. Zolnavar, A. and M. Ahmadi. 2003. Provides a method for designing and implementing underground dam body using plastic concrete. 6<sup>th</sup> Conference on civil engineering. Isfahan University, pp. 126, (In Persian).



## **Determination of Suitable Areas for Underground Dam Construction Using Boolean and Fuzzy Logics in Central Areas of Ardebil Province**

**Abazar Esmali<sup>1</sup>, Mohammad Golshan<sup>2</sup> and Keyvan Khorrami<sup>3</sup>**

---

1- Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil  
(Corresponding Author: abazar.esmali@gmail.com)

2- Ph.D., Natural Resources and Watershed Management Office, Astara, Guilan

3- Ph.D. Student, Watershed Management Engineering Department, Urmia University, Urmia

Received: June 15, 2018

Accepted: January 16, 2019

---

### **Abstract**

In the arid and semi-arid areas rainfall have considerable changes in terms of time and amount, and that make the water resource management an vital issue. In this research, both Boolean and Fuzzy logic were used for identifying the potentiality suitable areas for construction of underground dams. The study area is located in the central region of Ardabil province with 7461 km<sup>2</sup> area and semi-arid climate. For this purpose, were used many criteria consist of topography, geology, land use, geomorphology, water quality and quantity, depth of alluvial, and channels ranking. In the Boolean logic method, after preparing the related criteria, suitable and unsuitable areas were determined in two classes 0 and 1 that were combined using AND operator. In the Fuzzy logic method, the criteria were prepared in many classes and scored from 0 to 1 regarding previous researches and area conditions, then the criteria were combined with Fuzzy gamma operator. There is a good accordance between used criteria and combined maps that obtained from two methods. Overall central area and part of southwest and northern area determined as suitable locations for construction of underground dams. Results of Fuzzy logic showed that in the study area, the streams with 3 rank and deep alluvial areas have a high potentiality for underground dams' construction. Therefore, these areas should be considered as the suitable areas for underground dams.

**Keywords:** Alluvial, Geology, Hydrologic factors, Water resource