

دوره‌ی ۳۳، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۲۹، زمستان ۱۳۹۹، صفحه‌های ۱۶-۲
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.126600.1228

پژوهش‌های آبخیزداری

مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از منطق بولین و روش AHP در آبخیز امامزاده جعفر گچساران

آیت روینا

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشجوی دکترای گروه تخصصی جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

حسن احمدی

استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

ابوالفضل معینی

استادیار گروه تخصصی جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

عبدال شهبور

استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: ayat.rohina@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۱ خرداد ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۷ اسفند ۱۳۹۸

چکیده

از مهم‌ترین روش‌های کاربردی برای نگه‌داشت و مدیریت آب در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک احداث سدهای زیرزمینی است. هدف از انجام این پژوهش ابتدا شناسایی منطقه‌های مستعد برای احداث سد زیرزمینی است، به‌گونه‌ی که در این منطقه‌ها برای احداث سد زیرزمینی محدودیتی نیست. با بهره‌گیری از منطق بولین و با کاربرد ویژگی‌های آبخیز، پستی‌وبلندی، زمین‌شناسی، کاربری زمین، گسل و قنات منطقه‌هایی که برای احداث سد زیرزمینی بی‌محدودیت است تعیین شده‌اند. سپس با کاربرد از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و معیارهای کمیّت و کیفیت آب، اقتصادی و اجتماعی، مخزن سد و کاربری زمین منطقه‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی اولویت‌بندی شد. سرعت ناسازگاری در این پژوهش ۰/۰۵+ به‌دست آمد. بررسی سرعت ناسازگاری نشان داد که وزن‌دهی انجام شده برای معیارها و زیرمعیارهای بررسی‌شده پذیرفتنی است. نتیجه‌های اولویت‌بندی منطقه نشان داد که شیب آبخیز از مهم‌ترین معیارها در تعیین منطقه‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی است و احداث سد در شیب‌های زیاد به‌صرفه نیست. به‌طورکلی نتیجه‌ها نشان داد که منطقه‌های قسمت غربی و مرکزی آبخیز امتیاز بیشتری برای احداث سد زیرزمینی دارد و به دلیل اهمیت سد زیرزمینی در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک باید دانست که با احداث سد زیرزمینی در این منطقه‌ها می‌توان وضعیت منابع آبی منطقه را بهبود داد.

واژگان کلیدی: اقتصادی-اجتماعی، کمیّت آب، گچساران، مخزن

مقدمه

ایران از کشورهایی با ذخیره‌ی آبی کارستی و آبرفتی وسیعی است، اما به دلیل پژوهش‌های نامنظم و کاربردی نبودن آن، در چند سال اخیر با بحران آب مواجه است. بنابراین ممکن است که در بعضی از منطقه‌ها منبع آب‌های سطحی محدود باشد یا به راحتی در دسترس انسان نباشد؛ در این منطقه‌ها می‌توان نیاز انسان‌ها به آب را از راه آب‌های زیرزمینی که در همه جا به طور وسیع و گسترده پخش شده است برطرف کرد. بررسی اجمالی وضعیت نهشته‌های سطح کشور نشان می‌دهد که حداقل ۵۱ میلیون هکتار از زمین‌های کشور اگر آب کافی باشد دارای توان بالقوه کشاورزی است که اکنون تنها ۱۰٪ از آنان در کشت آبی و کم‌تر از ۲۰٪ آن زیر کشت دیم است (مه‌دوی ۱۹۹۵). سد زیرزمینی به دلیل مسدود کردن حرکت جریان‌های زیرسطحی شرایط ننگه‌داشت آب‌های زیرزمینی را در فضاهای بین ذرات خاک برای توسعه‌ی پایدار فراهم می‌کند (ایشیدا و همکاران ۲۰۱۱). سدهای زیرزمینی، سازه‌ی است که جریان آب‌های زیرزمینی را مسدود می‌کند و سبب ایجاد ذخیره‌ی آبی در زیر زمین می‌شود (اوندرو و یلماز ۲۰۰۵). سدهای زیرزمینی مشکلاتی مانند تجمع رسوبات را ندارد و باعث کاهش اثرهای زیست‌محیطی، تبخیر، آلودگی و خطر بهداشت و سلامتی می‌شود (هانسون و نیلسون، ۱۹۸۶). یافته‌های پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که این نوع سدها تمرکز غلظت مواد شیمیایی و نمک را در آب‌های زیرزمینی کاهش می‌دهد (لویون و همکاران ۲۰۰۸). سدهای زیرزمینی در واقع روشی مبتکرانه برای ذخیره‌ی آب در دوره‌های مرطوب برای دوره‌های خشک است (مانند سدهای سطحی)، با این تفاوت که برای جلوگیری از تبخیر آب با شن انباشته شده‌اند (تملر و بست ۲۰۰۴). سدهای زیر زمینی برای اهداف گوناگونی ساخته می‌شود مانند جلوگیری از تداخل آب شور و شیرین (قاراقونیس، ۱۹۸۱)، جلوگیری از نفوذ آب زیرزمینی به معادن (گوپتا و همکاران ۱۹۸۷)، جلوگیری از نفوذ آب شور دریا به سفره‌های شیرین ساحلی (اوندرو و یلماز ۲۰۰۰) و ذخیره‌ی آب برای بهره‌برداری مدیریت شده (نیلسون ۱۹۸۸).

تاکنون پژوهش‌های گوناگونی در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی انجام شده است. قارزی و همکاران (۲۰۱۳) پس از بررسی سدهای زیرزمینی و مزایا و معایب آن‌ها در منطقه‌های خشک، به مسائل اقتصادی و اجتماعی آبخیز‌نشینان پرداختند. نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که احداث سد زیرزمینی سبب افزایش درآمد و اشتغال‌زایی روستاییان شده و مهم‌تر از همه مشکل عمده‌ی منطقه‌های خشک که کمبود آب است، برطرف شده است.

عیسوی و همکاران (۲۰۱۳) برای مکان‌یابی اولیه‌ی سدهای زیرزمینی در منطقه‌ی طالقان به مقایسه‌ی دو روش تصمیم‌گیری

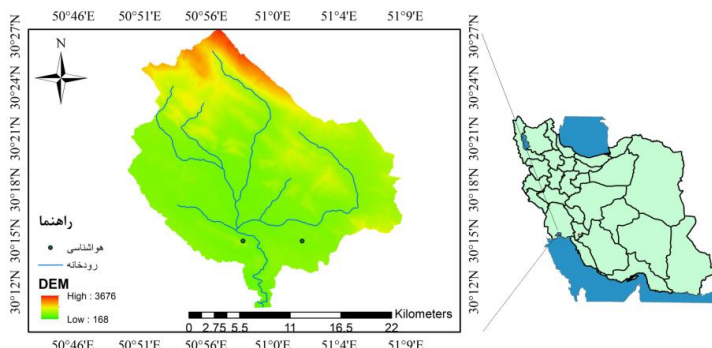
AHP و Fuzzy – AHP پرداختند که نتیجه‌شان داد از مجموع ۵۶ نقطه‌ی خروجی زیرآبخیزها در روش AHP، بیست و شش نقطه و در روش Fuzzy – AHP، پانزده نقطه بامنطقه‌های مناسب و در دسترس هم‌پوشانی داشتند. خرمی و همکاران (۲۰۱۳) با کاربرد روش‌های سامانه‌ی اطلاعات زمین‌مکانی و منطق بولین منطقه‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در آبخیز قره‌سو را تعیین کردند که نتیجه‌ها بیان‌گر مناسب بودن حدود ۳۰٪ از آبخیز برای احداث سد زیرزمینی بود. اسمعیلی و همکاران (۲۰۱۷) به اولویت‌بندی منطقه‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در آبخیز دوست بیگلر در استان اردبیل پرداختند برای این منظور از روش‌های بولین و AHP استفاده شده است. نتیجه‌ها نشان داد که منطقه‌های قسمت مرکزی آبخیز با مساحت ۲۰٪ از اولویت بیش‌تری برای احداث سد زیرزمینی برخوردار است. چزگی و همکاران (۲۰۱۰) در غرب استان تهران برای مکان‌یابی محل‌های مناسب احداث سد زیرزمینی، تلفیق سامانه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی را در قالب سامانه‌ی پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی به کار بردند. نتیجه به شکل نقشه‌ی تناسب نهایی منطقه‌های اولویت‌دار سد زیرزمینی داده شد. پدررو و همکاران (۲۰۱۱) در ویلا فرناندو در کشور پرتغال تجزیه و تحلیل چند معیاره مبتنی بر GIS به کار بردند که ۱۰ نقشه‌ی موضوعی و معیارهای فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی برای تولید نقشه‌ی مکان‌های مناسب برای اصلاح نفوذ آب و تغذیه آبخوان ترکیب شد و نتیجه‌ها نشان داد که ۱۶۰۷ هکتار از منطقه، مناسب برای اصلاح نفوذ آب و تغذیه‌ی آبخوان‌اند. بررسی منابع بررسی شده نشان می‌دهد که تعیین منطقه‌های مستعد برای احداث سد زیرزمینی نقش بسیاری در مدیریت منابع آب و آبخیزهای بررسی شده دارد که باعث افزایش آب دهی چشمه‌ها و چاه‌ها می‌شود. عامل‌های گوناگونی در تعیین منطقه‌های مستعد تأثیر گزاراند. با شناخت این عامل‌ها و کاربرد روش‌های منطق بولین و AHP می‌توان منطقه‌های مستعد را تعیین کرد.

در کشور ایران با داشتن غالبیت اقلیم خشک و نیمه‌خشک پژوهش‌های بسیاری در این زمینه انجام شده است. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که کاربرد سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور باعث افزایش دقت و کاهش هزینه‌ها و ساختن نقشه‌ی نهایی منطقه‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی می‌شود. در این پژوهش با منطق بولین و AHP منطقه‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در آبخیز امامزاده جعفر تعیین و امتیازبندی شد.

مواد و روش‌ها

آبخیز زهره با مساحت ۴۹۴ کیلومتر مربع در ۵ کیلومتری شرق دوگنبدان است. متوسط بارش سالانه در دشت ۴۳۶/۵

میلی‌متر و در کوهستان ۷۰۰ میلی‌متر است. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به ترتیب ۱۶۸ و ۳۶۷۶ متر است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک با تابستان‌های خیلی گرم و زمستان معتدل است.



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی بررسی شده.

تغییر بارندگی در ارتفاعات گوناگون منطقه شد. میانگین بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی سراب نینز و ماهورباشت برای دوره‌ی ۲۵ ساله (۱۳۹۷-۱۳۷۳) به ترتیب ۳۲۴ و ۲۶۱ میلی‌متر است.

در بررسی آب‌شناسی آبخیز دشت امامزاده جعفر، شبکه‌ی آب‌نگاری، کمیت و کیفیت آب منطقه تعیین شد. برای تعیین شبکه‌ی آب‌نگاری منطقه ابزار Arc Hydro در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی به کار برده شد. طبق مطالعه‌های انجام شده (حاجی عزیزی ۲۰۱۱؛ خرمی ۲۰۱۳) آبراه‌های طبقه‌ی ۱ و ۲ برای احداث سد زیرزمینی مناسب نیست چون مقدار جریان آب در این منطقه‌ها دارای محدودیت است.

در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، مقدار رواناب یکی از ویژگی‌های مهم است که رابطه‌ی مستقیمی با طبقه‌ی آبراه دارد، بنابراین احداث سدها باید در نواحی شکل گیرد که مقدار رواناب مناسب باشد (سلیمانی و همکاران ۲۰۰۸). در نبود ایستگاه آب‌سنجی در خروجی آبخیز، مقدار رواناب با روش سازمان حفاظت آب و خاک (SCS) (رابطه‌ی ۱) محاسبه شد (علیزاده ۲۰۰۵):

$$R = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad 1$$

R، مقدار رواناب، P مقدار بارندگی و S مقدار تلفات است. واحد اندازه‌گیری ویژگی‌ها به شکل میلی‌متر است. برای محاسبه‌ی مقدار بارندگی آبخیز با توجه به ارتفاع ایستگاه‌ها و مقدار متوسط بارندگی سالانه رابطه‌ی وایازی $P = 0.1386 H + 224.24$ تشکیل شد و مقدار بارندگی در منطقه‌ی بررسی شده تهیه شد. دشت امامزاده جعفر دشت بسته‌ی است که هر چه از اطراف دشت به مرکز آن نزدیک‌تر شویم مقدار املاح آب‌های زیرزمینی

در این پژوهش ابتدا با معیارهای در نظر گرفته شده برای مکان‌یابی و با روش سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌ی منطقه‌های مستعد احداث سد زیرزمینی تهیه و سپس با مدل بولین و تحلیل سلسله‌مراتبی اقدام به اولویت‌بندی محورهای انتخابی برای احداث سد زیرزمینی شد. بنابراین براساس مطالعه‌های انجام شده و خصوصیات منطقه، ابتدا برای بررسی و انتخاب محدوده‌های مناسب و مستعد برای احداث سد زیرزمینی یک‌سری ویژگی‌هایی را که برای احداث سد زیرزمینی دارای تأثیر مطلق (شیب، کاربری، سازند، گسل، قنات و چاه) و نسبی (کمیت و کیفیت آب، دوری و نزدیکی به روستا، جمعیت، مدل رقومی ارتفاع، رتبه‌ی آبراهه، بارندگی، رواناب، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه، کیفیت هدایت الکتریکی، شیب جریان زیرزمینی، عمق سنگ کف، گروه آب‌شناسی خاک، حجم مخزن سد، قابلیت انتقال، کاربری زمین، عمق آبرفت و شاخص NDVI) اند تعیین شد. سپس اقدام به تهیه‌ی بانک اطلاعاتی از منطقه شد. این بانک اطلاعاتی شامل نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و ماهواره‌یی، آمارهای آب‌هواشناسی، اطلاعات بافت خاک، اطلاعات فیزیک زمین منطقه، چاه‌های مشاهده‌یی، اطلاعات اقتصادی-اجتماعی و اطلاعات جمع‌آوری شده از پیمایش‌های صحرائی است.

در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک دسترسی به منابع آب بیش‌تر به کمبود و پیش‌بینی بارندگی مرتبط است که فقط در دوره‌ی محدودی از سال رواناب ایجاد می‌کند (فورزیاری و همکاران، ۲۰۰۸). در این مطالعه با توجه به این‌که منطقه‌ی بررسی شده وسیع (۴۹۴ کیلومتر مربع) است و اختلاف ارتفاع بین منطقه‌های پایین‌دست آبخیز (۱۶۸ متر) و بالادست (۳۶۷۶ متر) آن زیاد است با گرادیان بارش اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی

است. بنابراین، جمعیت ساکن در این منطقه‌ها حائز اهمیت است (اسمعی و عبدالهی ۲۰۱۱). برای مشخص کردن جمعیت ساکن در نواحی اطراف محور سد مانند مرحله‌ی قبل یک بافر ۵ کیلومتری در اطراف محور سد زده شد و جمعیت ساکن در هر منطقه از آمار سرشماری سال ۱۳۹۰ تعیین شد.

منطق بولین به دلیل سادگی منطق و محاسبات آن اجرای سریعی دارد که در بسیاری از پژوهشات به کار برده شده است (خرمی ۲۰۱۳؛ ترینه و کوون ۲۰۱۶). در این مدل اساس وزن‌دهی دو حالت صفر (نامناسب) و یک (مناسب) است. برای تولید نقشه‌ی نهایی در این مدل عملگر شرطی AND به کار برده می‌شود، این عملگر شرط دارا بودن و یا نبودن یک حالت برای هدف را نشان می‌دهد. برای اجرای این مدل برای هر یک از نقشه‌های سلولی^۲ براساس مشاهدات میدانی و مطالعه‌های انجام شده، یک تابع تعریف و به‌طور جداگانه روی لایه‌ی خود اعمال شدند. برای نقشه‌های برداری زمینه‌ی مربوط به هر گروه به شکل صفر و یک شماره‌گذاری و به لایه‌های سلولی تبدیل شدند. در این عملگر تنها مکان‌هایی را که در همه‌ی معیارهای بررسی شده دارای کد ۱ است مکان‌های مناسب تعیین می‌شوند. اگر یکی از لایه‌ها برای منطقه‌ی شماره‌ی صفر دریافت کرده باشد، نامستعد تعریف می‌شود. با تبدیل شکل فایل به KML محدوده‌های مناسب روی Google Earth انتقال داده شد و منطقه‌های انتخاب شده بررسی شدند.

در این روش، مسئله‌ی تصمیم‌گیری به سطوح گوناگون هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود تا تصمیم‌گیرنده بتواند به راحتی در کوچک‌ترین تصمیم‌گیری دقت کند. برای ساختن مدل تصمیم‌گیری، در زیادترین سطح، هدف و در سطح یا سطوح میانی، معیارهای کاربردی و در سطح پایین، گزینه‌های ممکن قرار داده شد. در ارزیابی اهمیت عنصرها و فعالیت‌ها با توجه به معیارها، برای این که نتیجه‌های پذیرفتنی را در شرایط طبیعی آبخیز به دست آوریم، درجه‌ی خاصی از ناسازگاری باید به دست بیاید. روش AHP ناسازگاری کلی قضاوت‌ها را به وسیله‌ی سرعت سازگاری محاسبه می‌کند (درفشان و همکاران ۲۰۱۴). مطالعه‌های انجام شده مشخص کرده‌اند که اگر سرعت سازگاری (C.R) کم‌تر از ۰/۱۰ باشد، می‌توان سازگار بودن مقایسات انجام شده را پذیرفت و اگر بیش‌تر از این مقدار باشد باید در مقایسه‌های در نظر گرفته شده، اصلاحاتی انجام شود. برای به دست آوردن این ضریب لازم است ابتدا شاخص سازگاری (C.I) تعیین شود (رابطه‌ی ۲). در این رابطه n بیان‌کننده‌ی تعداد گزینه‌های رقیب است:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad 2$$

(کلر، هدایت الکتریکی، باقیمانده‌ی خشک و ضریب جذب سدیم) افزایش می‌یابد. نفوذپذیری خاک نسبت معکوس با مقدار سدیم آن دارد. وضعیت کیفی آب زیرزمینی براساس EC و PH بررسی شد.

وضعیت پستی و بلندی از نظر امکان احداث سد زیرزمینی و دستیابی به مخازن بزرگ با شرایط تغذیه‌ی مناسب و تلفات نشت کم‌تر، تا حد زیادی تعیین‌کننده است. طبق مطالعه‌های انجام شده شیب‌های کم‌تر از ۵٪ برای احداث سد زیرزمینی پذیرفتنی‌اند (خرمی و همکاران ۲۰۱۳).

برای بررسی زمین‌شناسی آبخیز امام زاده جعفر درگچساران و شرایط مناسب احداث سد زیرزمینی، نقشه‌ی زمین ۱:۱۰۰۰۰۰ دشت کهکیلویه و بویر احمد تهیه شد که به وسیله‌ی رسوبات آبرفتی پوشیده شده است. در این پژوهش منطقه‌هایی که دارای سازندهای حساس و یا سازندهایی که از لحاظ نفوذپذیری از شرایط مناسب برخوردار نیستند مشخص و نامناسب معرفی شدند.

مقدار بهره‌برداری سالانه از آب‌های زیرزمینی به وسیله‌ی قنات‌ها سالانه به ۷/۹ میلیارد مترمکعب می‌رسد که از ۲۸۷۹۴ رشته قنات برداشت می‌شود (حاجی‌عزیزی ۲۰۱۰). در مطالعه‌های انجام شده برای تعیین محدوده‌ی تأثیر سد زیرزمینی روی آب‌دهی قنات بافرهای ۱۰۰ متری (پیرمردیان و همکاران ۲۰۱۰؛ خرمی ۲۰۱۳) تعیین شده است.

آب در مخازن سدهای زیرزمینی در داخل آبرفت پشت سد ذخیره می‌شود و به دلیل بودن سرریز سد در عمق کمی نسبت به سطح بستر، حتی با پرشدن مخزن، سطح بستر فراوان مخزن به زیر آب نمی‌رود (خرمی ۲۰۱۳). تنها در منطقه‌های شهری احداث این سدها توجیه‌پذیر نیست (عشقی‌زاده و همکاران ۲۰۰۹).

خصوصیات مخزن نگه‌دارنده یا ذخیره‌ی آب از دیگر عامل‌های مؤثر در انتخاب محوره‌های مناسب است که باید به آن توجه شود. معیارهای فرعی که برای این معیار در نظر گرفته شده است سطح مخزن، قابلیت انتقال، شیب سطحی و شیب زیرسطحی است. سطح مخزن سدهای زیرزمینی با شیب بستر و عمق آبرفت به شکل تخمینی محاسبه می‌شود.

در اجرای هر طرح عمرانی و آبخیزداری توجه به عامل‌های اقتصادی و اجتماعی از اهمیت خاصی برخوردار است. در این پژوهش در گروه عامل‌های اقتصادی و اجتماعی از زیرمعیارهای دوری یا نزدیکی منطقه‌های مسکونی به محور سد زیرزمینی و جمعیت روستایی به کار برده گرفته شد. با توجه به مطالعه‌های انجام شده (حاجی‌عزیزی و همکاران ۲۰۱۰) فاصله ۵ کیلومتری نسبت به روستا به عنوان حد تأثیرگذاری سد زیرزمینی تعیین شد. هدف از اجرای طرح‌های آبخیزداری تأمین رفاه آبخیزنشینان

پرسشنامه شکل گرفت که کارشناسان تکمیل کرده بودند. بازه‌ی امتیازبندی برای طبقه‌های گوناگون بین ۰ تا ۱۰۰ در نظر گرفته شد. متوسط امتیاز به‌دست‌آمده در هر طبقه برای ارزیابی منطقه از لحاظ احداث سد زیرزمینی به‌کاربرده‌شد.

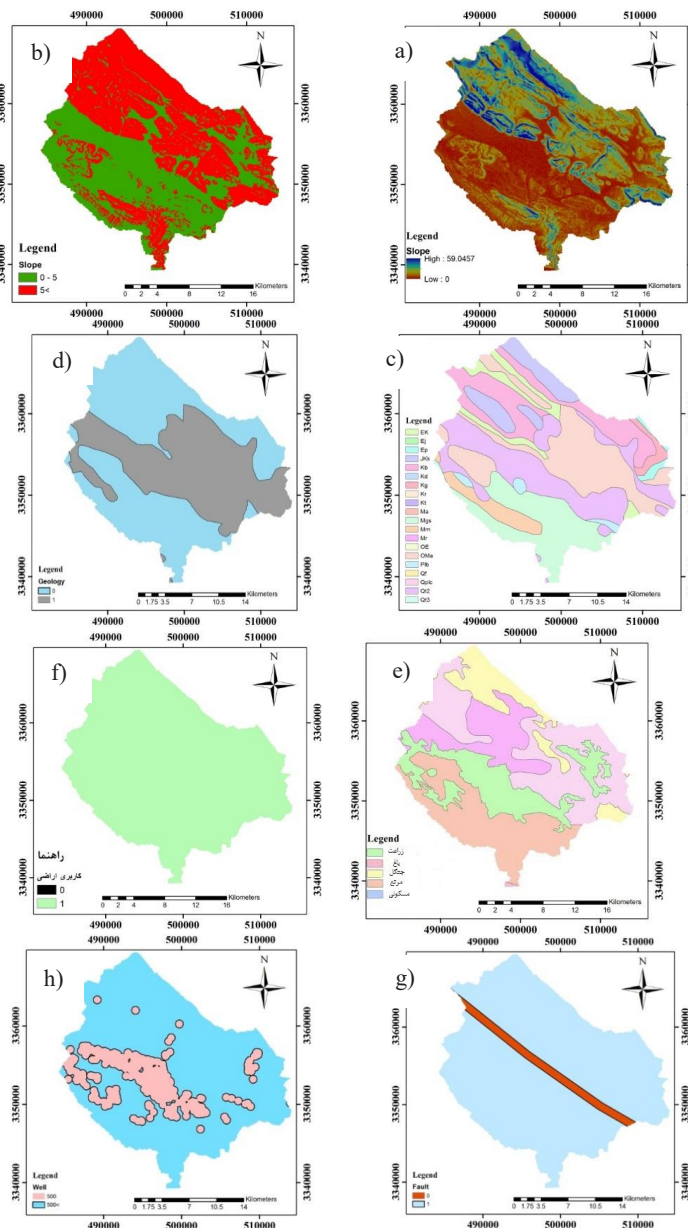
نتایج و بحث

برای اجرای مدل بولین لازم است که ابتدا ویژگی‌ها و معیارهای مؤثر برای مکان‌یابی سد زیرزمینی مشخص شوند (شکل ۲). جدول طبقه‌های عامل‌های گوناگون و امتیازهای هر طبقه برای روش بولین در جدول ۱ آورده شده است.

سرعت سازگاری (C.R.) نیز با رابطه‌ی ۳ برآورد می‌شود، که در آن R.I. نشان دهنده‌ی مقدار شاخص سازگاری تصادفی است و بر اساس جدول ساعتی و هارکر تهیه شده است (آذر و رجب زاده ۲۰۱۰):

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad 3$$

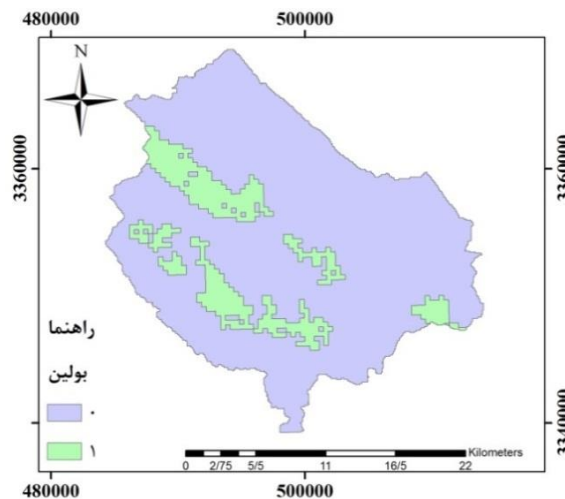
لایه‌های گوناگون به‌کاربرده شده در تعیین منطقه‌های مستعد برای احداث سد زیرزمینی به‌چندین طبقه تقسیم‌بندی شدند. در هر لایه، طبقه‌های گوناگون براساس تأثیری که بر سد زیرزمینی دارند امتیازبندی شدند. این امتیازبندی براساس نتیجه‌های ۹۴



شکل ۲- نقشه‌های منطق بولین: (a) نقشه‌ی شیب (b) نقشه‌ی شیب بولین، (c) نقشه‌ی زمین‌شناسی، (d) نقشه‌ی زمین‌شناسی بولین، (e) نقشه‌ی کاربری زمین‌ها، (f) نقشه‌ی کاربری بولین، (g) نقشه‌ی گسل بولین، (h) نقشه‌ی چاه و قنات بولین.

نقشه‌ی شیب منطقه نشان می‌دهد که بیش‌ترین مساحت طبقه‌های شیب (۳۶/۸) در آبخیز امامزاده جعفر مربوط به شیب‌های زیر ۵٪ است. این شیب برای احداث سد زیرزمینی مناسب است. بیش‌ترین مساحت طبقه‌های ارتفاعی، مربوط به محدوده‌های ارتفاعی طبقه‌های ۷۰۰-۹۰۰ و ۲۰۰۰-۲۵۰۰ به‌ترتیب با ۱۴/۸۲ و ۲۰/۴۳٪ است. احداث سدهای زیرزمینی در منطقه‌هایی شکل می‌گیرد که ضمن کاهش ارتفاع سد، حجم ذخیره فراوان باشد (طباطبایی یزدی و نبی‌پوشکریان ۲۰۰۳). نتیجه‌های بررسی زمین‌شناسی آبخیز نشان داد که ۳۰/۷۴٪ از سطح آبخیز برای احداث سد زیرزمینی مناسب است. با تعیین بافر ۵۰۰ متری از خط گسل این محدوده به عنوان منطقه‌های نامناسب از سایر

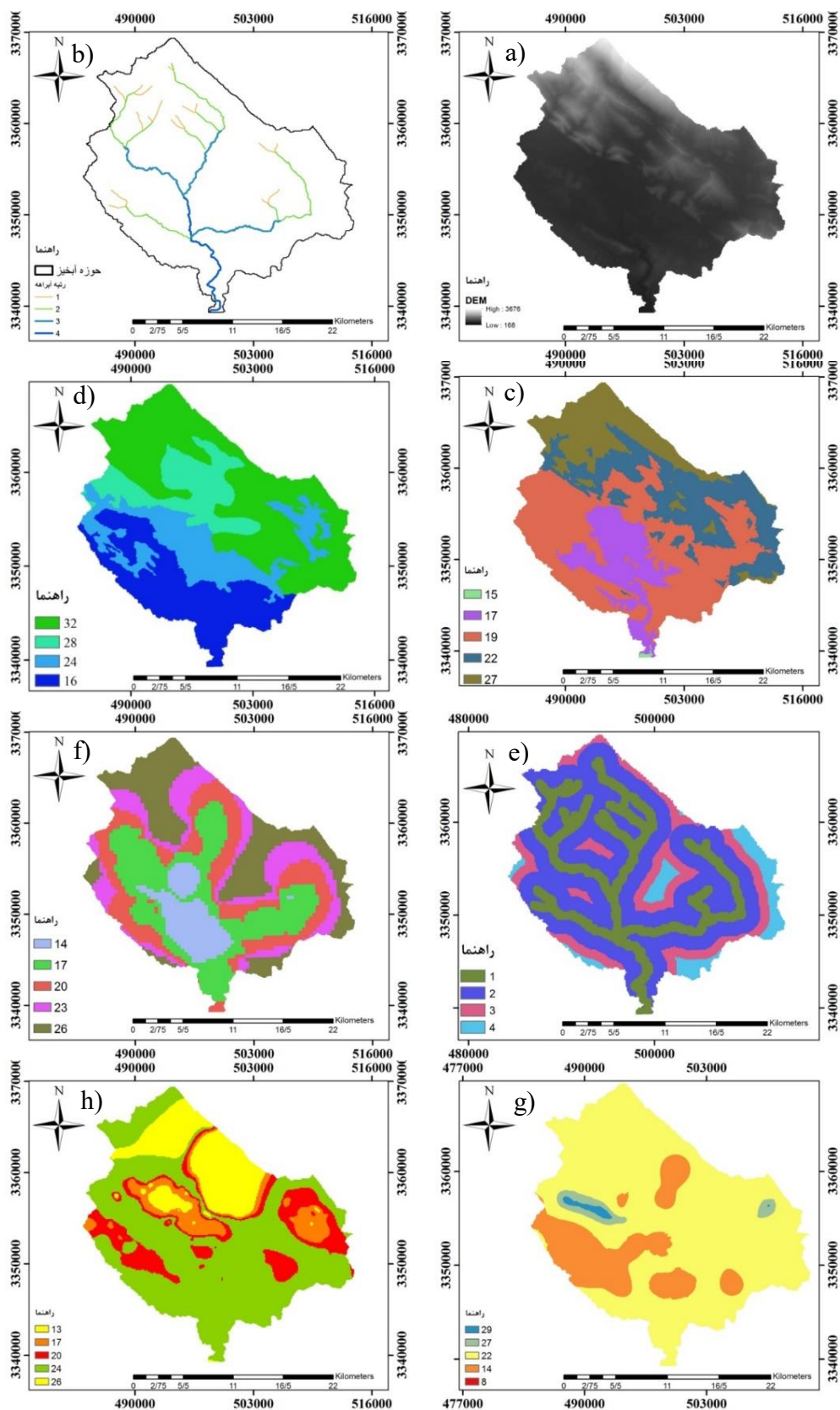
منطقه‌های آبخیز جدا شد. برای تعیین منطقه‌های نامناسب بافری از لحاظ معیار قنات محدوددهی به فاصله‌ی ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ متری در اطراف قنات‌ها احداث شد و طبق مطالعه‌های انجام شده (چزگی و همکاران ۲۰۱۰) بافر ۱۰۰ متری با فرض این‌که محور سدهای انتخابی کوره قنات‌ها را قطع نکند، منطقه‌های نامستعد انتخاب شد. نقشه‌ی کاربری زمین تهیه شده نشان می‌دهد که منطقه از لحاظ نوع کاربری دچار محدودیت چندانی نیست و سطح بیش‌تری از آبخیز از لحاظ کاربری زمین مستعد اند، و فقط بخش کوچکی از آبخیز که سنگلاخی و مسکونی است دارای محدودیت است. با تهیه‌ی نقشه‌ی این معیارها، با عملگر AND و منطق بولین اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی منطقه‌های مستعد شد (شکل ۳).

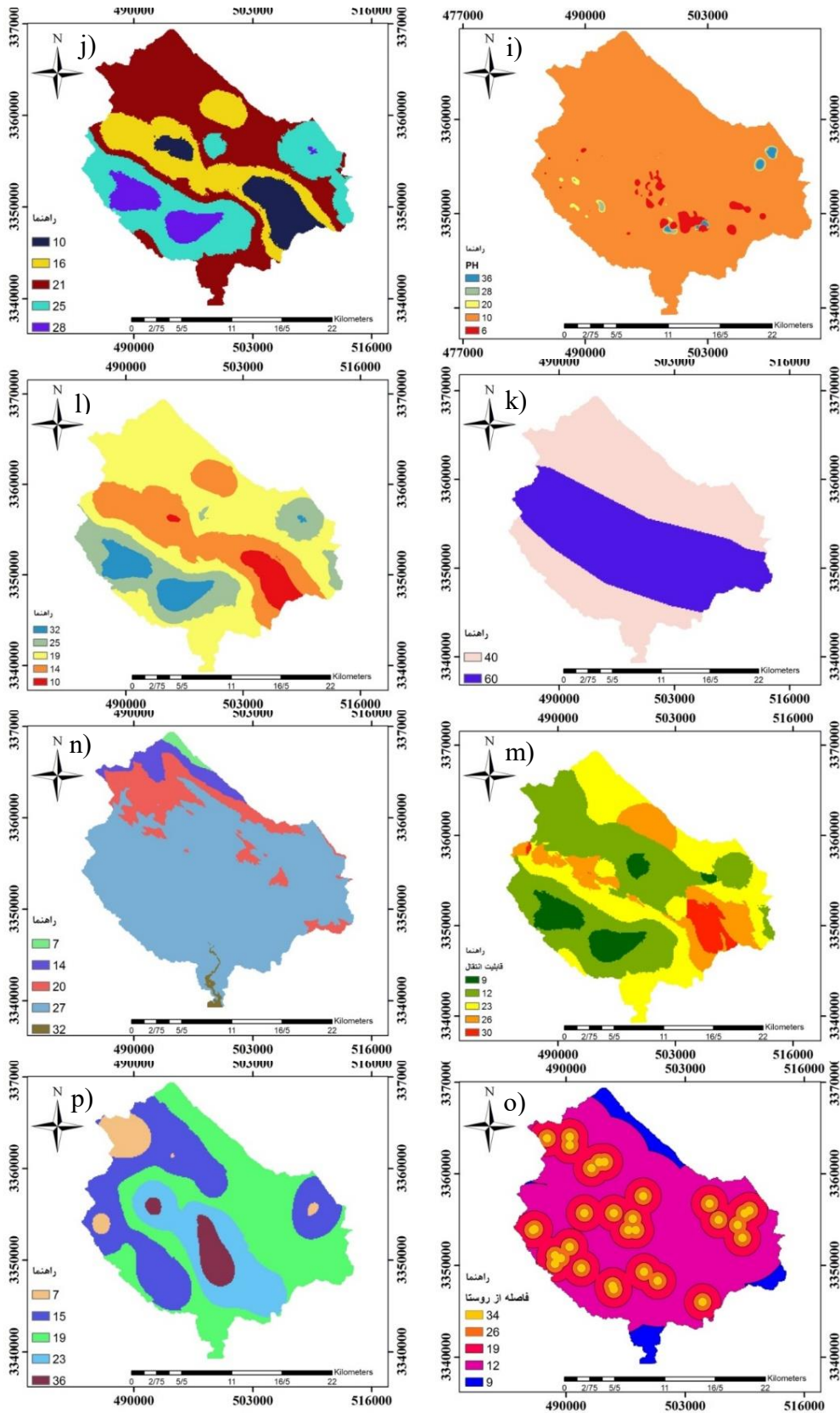


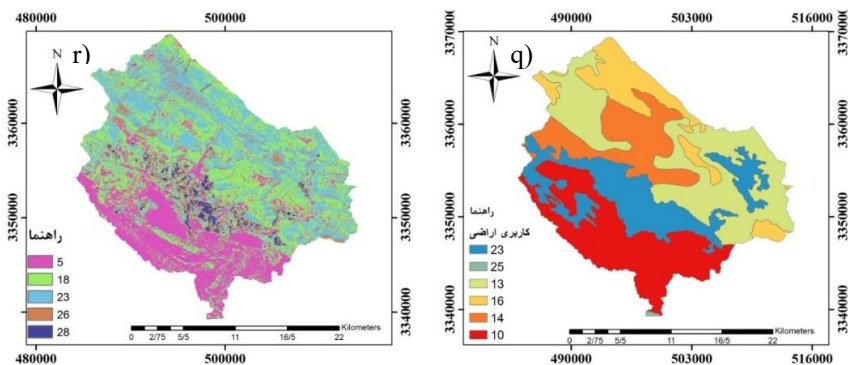
شکل ۳- نقشه‌ی منطقه‌های مناسب و نامناسب برای احداث سد زیرزمینی با منطق بولین در آبخیز امام زاده جعفر.

(۴) آورده شده است. جدول طبقه‌های عامل‌های گوناگون و امتیازهای هر طبقه برای روش بولین و AHP در جدول ۱ آورده شده است.

دشت امامزاده جعفر دارای سطح بی‌محدودیت زیادی برای احداث سطح زیرزمینی است که معیارهای انتخابی برای اولویت‌بندی این منطقه‌ها با کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در شکل







شکل ۴- نقشه‌های تهیه شده برای روش AHP: (a) مدل رقومی ارتفاع، (b) رتبه‌ی آبراه، (c) امتیازبندی بارندگی، (d) مقدار رواناب، (e) فاصله از رودخانه، (f) تراکم آبراه، (g) کیفیت هدایت الکتریکی، (h) شیب جریان زیرزمینی، (I) کیفیت اسیدی آب، (j) عمق سنگ کف، (k) گروه آب‌شناسی خاک، (l) حجم مخزن سد، (m) قابلیت انتقال، (n) ارتفاع، (o) دوری از روستا، (p) جمعیت ذینفع، (q) کاربری زمین، NDVI (r)

جدول ۱- طبقه‌های عامل‌های گوناگون و امتیازهای هر طبقه در روش AHP

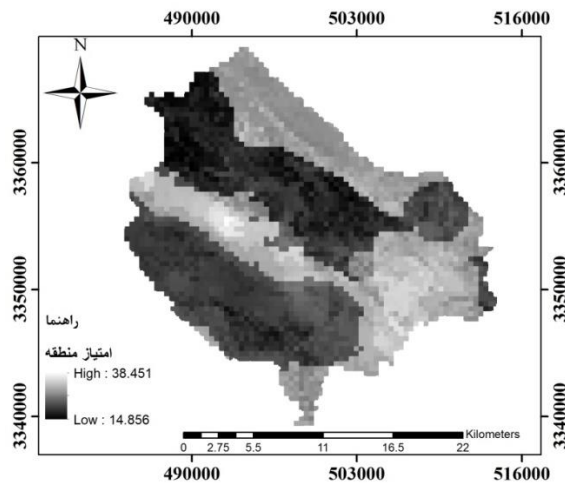
گروه آب‌شناسی خاک		چاه		فاصله از گسل		سازند		شیب (m/m)		کاربری زمین							
بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP						
-	۰/۶۰	C	۰	۰/۰۶	۱۰۰	۰	۰/۱	۱۰۰	۱	۰/۲۵	Qt	۱	۰/۳۶	۵	۱	۰/۱۸	زراعت
-	۰/۴۰	D	۱	۰/۲۸	۳۰۰	۰	۰/۱۵	۳۰۰	۱	۰/۲۱	Lbm	۰	۰/۲۹	۳۰	۱	۰/۱۳	باغ
			۱	۰/۳۲	۵۰۰	۱	۰/۳۰	۵۰۰	۱	۰/۲۲	Bk	۰	۰/۲۰	۸۰	۱	۰/۲۷	جنگل
			۱	۰/۳۴	۵۰۰<	۱	۰/۴۵	۵۰۰<	۱	۰/۲۵	Mn	۰	۰/۱۵	۱۶۰	۱	۰/۳۲	مرتع
										۰/۰۷	Kt	۰			۰	۰/۱۰	سنگلاخی
ارتفاع (m)		تراکم آبراه		قابلیت انتقال m/m ²		حجم مخزن سد (m ³)		عمق سنگ کف (m)		بارندگی							
بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP						
-	۰/۳۲	۶۰۰	-	۰/۱۴	۰/۱	-	۰/۰۹	۲۰۰	-	۰/۱۰	۱۰	-	۰/۲۸	۲۰	-	۰/۱۵	۲۵۰
-	۰/۲۷	۱۲۰۰	-	۰/۱۷	۰/۲	-	۰/۱۲	۵۰۰	-	۰/۱۴	۲۰	-	۰/۲۵	۵۰	-	۰/۱۷	۳۰۰
-	۰/۲۰	۱۸۰۰	-	۰/۲۰	۰/۳	-	۰/۲۳	۱۰۰۰	-	۰/۱۹	۴۰	-	۰/۲۱	۸۰	-	۰/۱۹	۳۵۰
-	۰/۱۴	۲۵۰۰	-	۰/۲۳	۰/۴	-	۰/۲۶	۲۰۰۰	-	۰/۲۵	۸۰	-	۰/۱۶	۱۲۰	-	۰/۲۲	۴۵۰
-	۰/۰۷	۳۷۰۰	-	۰/۲۶	۰/۵	-	۰/۳۰	۳۵۰۰	-	۰/۳۲	۱۴۰	-	۰/۱۰	۲۵۰	-	۰/۲۷	۶۴۰
فاصله از رودخانه (m)		رتبه آبراه		کیفیت اسیدی آب		جمعیت (نفر)		دوری از روستا (m)		هدایت هیدرولیکی							
بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP						
-	۰/۲۰	۵۰۰	-	۰/۳۰	۱	-	۰/۳۶	۷/۵	-	۰/۰۹	۲۰	-	۰/۳۴	۵۰۰	-	۰/۲۹	۴۹۵
-	۰/۲۲	۱۰۰۰	-	۰/۳۲	۲	-	۰/۲۸	۷/۸	-	۰/۱۷	۵۰	-	۰/۲۶	۱۰۰۰	-	۰/۲۷	۶۴۰
-	۰/۲۸	۲۰۰۰	-	۰/۲۶	۳	-	۰/۲۰	۸	-	۰/۲۱	۱۰۰	-	۰/۱۹	۲۰۰۰	-	۰/۲۲	۱۱۵۰
-	۰/۳۰	۵۰۰۰	-	۰/۲۲	۴	-	۰/۱۰	۸/۵	-	۰/۲۵	۲۰۰	-	۰/۱۲	۵۰۰۰	-	۰/۱۴	۲۹۰۰
						-	۰/۰۶	۹	-	۰/۲۸	۲۳۰	-	۰/۰۹	۱۰۰۰۰	-	۰/۰۸	۹۰۰۰
رواناب mm		شیب جریان زیرزمینی		NDVI													
بولین	AHP	بولین	AHP	بولین	AHP												
-	۰/۱۶	-	۰/۲۲	۱۸	-	۰/۱۰	-	۰/۱۶	-	۰/۲۲	۱۸						
-	۰/۲۴	-	۰/۲۴	۳۰	-	۰/۳۱	-	۰/۳	-	۰/۲۴	۳۰						
-	۰/۲۸	-	۰/۲۶	۵۰	-	۰/۳۵	-	۰/۶	-	۰/۲۶	۵۰						
-	۰/۳۲	-	۰/۲۸	۱۰۰	-	۰/۲۴	-	۱	-	۰/۲۸	۱۰۰						

در شکل ۵ نشان داده شده است. نقشه‌ی امتیازبندی سطح آبخیز برای احداث سد زیرزمینی در شکل ۶ نشان داده شده است.

برای امتیازبندی سطح آبخیز از لحاظ احداث سد زیرزمینی روش AHP به کار برده شد نتیجه‌های امتیاز بندی مربوط به هر معیار



شکل ۵- امتیازبندی معیارهای مؤثر در احداث سد زیرزمینی.



شکل ۶- نقشه‌ی تلفیق معیارهای مؤثر برای احداث سد زیرزمینی با روش AHP.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش شناسایی منطقه‌های مستعد برای احداث سد زیرزمینی در آبخیز دشت امامزاده جعفر است، به گونه‌ی که در این منطقه‌ها برای احداث سد زیرزمینی محدودیتی وجود نداشته باشد. سپس اولویت‌بندی کل محدوده‌ی بررسی شده است. در مکان‌یابی مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی معیارهای پستی‌وبلندی، گسل، قنات، کاربری و زمین‌شناسی برای تعیین اولیه‌ی محدوده‌های مناسب به کار برده شد. بعد از تهیه‌ی نقشه‌ی رستری همه معیارها با منطق بولین و عملگر AND این منطقه‌ها تلفیق شد، نتیجه‌های نشان داد که منطقه‌های غربی آبخیز برای احداث سد زیرزمینی بی محدودیت‌اند.

بعد از تعیین شدن این منطقه‌ها اقدام به امتیازبندی سطح آبخیز برای احداث سد زیرزمینی شد. امتیازهای به دست آمده مربوط به هر نقشه به شکل مکانی در سامانه‌ی مختصات جغرافیایی معرفی شد. دامنه امتیازها برای نقشه‌ها متفاوت و به طور کلی بین ۲ تا ۳۳ متغیر

بررسی کمی و کیفیت آب در محدوده‌ی بررسی شده نشان داد که این معیارها برای احداث سد زیرزمینی دارای اهمیت فراوانی‌اند. زیرا اگر در منطقه‌ی جریان کافی برای ذخیره کردن وجود نداشته باشد احداث سد منطقی نخواهد بود. فراوان بودن اهمیت آب در مطالعه‌های چژگی و همکاران (۲۰۱۰) و نیلسون (۱۹۸۸) مطابق است. معیار قابلیت انتقال از اهمیت فراوانی برخوردار و این معیار جزء زیرمعیارهای مخزن سد است و به طور مستقیم حجم جریان انباشته شده در محزن سد را تأثیر می‌دهد که با مطالعه‌های انجام شده‌ی پیرمادی و همکاران (۲۰۱۰)، علمبازاده و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. دلیل فراوان بودن اهمیت زیرمعیار قابلیت انتقال نسبت به کمی و کیفیت آب می‌تواند واقع شدن منطقه در اقلیم نیمه‌خشک باشد. در بررسی محورهای ارزیابی شده عامل‌های حجم مخزن، و عمق محور نقش مهمی در موفقیت اجرای برنامه‌ها دارد که با نتیجه‌های فوستر و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد.

آبخوان برای این منطقه‌ها مناسب نیست و حجم آب ذخیره شده در این منطقه‌ها با وجود فراوان بودن مقدار بارش کم خواهد بود. منطقه‌های مرکزی و غربی آبخیز برای احداث سد زیرزمینی در معیارهای بررسی شده ارجحیت کم‌تری را نشان نمی‌دهد. با احداث سد زیرزمینی در این منطقه‌ها تا حد زیادی می‌توان رضایت‌مندی و نیازهای ذینفعان را فراهم ساخت.

است. بررسی کیفیت امتیازدهی برای معیارها و زیرمعیارها نیز با ضریب ناسازگاری بررسی شد که در این پژوهش ۰/۰۵ به‌دست آمد که پذیرفتنی است. در منطقه‌های جنوبی آبخیز شرایط برای احداث سد زیرزمینی مناسب نیست این منطقه‌ها از لحاظ کمیت آب از وضعیت خوبی برخوردارند و از نظر سایر معیارها به‌جز ضخامت آبخوان وضعیت متوسطی دارند. در واقع ضخامت

- A-Adamat R, Diabat A, Shatnawi G. 2010. Combining GIS with multi criteria decision making for siting water harvesting ponds in Northern Jordan. *Journal of Arid Environments*. 74(11): 1471-1477
- Alizadeh A. 2005. Principles of applied hydrology, Imam Reza University Press, Mashhad, Iran. 942 p. (In Persian).
- Almbaz-zadeh M, Chitsazan M, Shirmardi M. 2014. Positioning of suitable areas for the underground dam construction using GIS and AHP, Case study: Plain of Jaroo, north-east of Khuzestan province. *International Analytical-Research Journal of Resources of Water and Development*. 2(2):14-27
- Ataei M. 2009. Multi-criteria decision making. Shahrood University, Semnan, Iran. 126 p. (In Persian).
- Azar A, Rajabzadeh A. 2010. Applied decision making MADM approach. Tehran. Iran. 98 p. (In Persian).
- Barkhordari J. 2015. The pre-selection of suitable sites for small underground dams in arid areas, Using GIS (A case study in Yazd_Ardakan watershed). *International Geoinformatics Research and Development Journal*. 6 (1): 18-27.
- Chezgi J, Moradi HR, Kheirkhah MM. 2010. Positioning of suitable areas for the underground dam construction using multi criteria decision making method with an emphasis on water resources (Study case: West Tehran Province). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 4(13): 65-68
- Dorfeshan F, Heidarnajad M, Bordbar A, Daneshian H. 2014. Locating suitable sites for construction of underground dams through analytic hierarchy process. *International Conference on Earth, Environment and Life sciences. (EELS-2014) Dec. 23-24, 2014 Dubai (UAE)*.
- Esavi V, Karami J, Alimohammadi A, Niknezhad SA. 2013. Comparison of AHP and FUZZY-AHP methods for underground dam site selection in Taleghan Basin, *Journal of Geoscience*. 22(85): 27 - 34.
- Eshghizadeh M, Nora N. 2009. Positioning of suitable areas for the underground dam construction on Qantas, case study: Dahan Chenar Qanat of Kalat Province, Gonabad. *Journal of Water and Soil Conservation Studies*. 17(3): 45-64
- Esmaeili A, Abdullahi Kh. 2011. Watershed management and soil conservation, 2nd Edition, Mohaghegh Ardebili, Iran. 585 p. (In Persian).
- Esmaili Uri A, Golshan M, Khorrami K. 2017. Prioritizing suitable axes for underground dams in Dosbiglu watershed. *Natural Geography Research*. 48 (4): 659-645.
- Forzieri G, Gardenti M, Caparrini F, Castelli F. 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the Kidal, Mali. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*. 33(1-2): 74-85.
- Foster S, Azevedo G, Bal tar A. 2002. Subsurface dams to augment groundwater storage in basement terrain for Human Subsistence- Brazilian Experience” World Bank, GW-MATE Case Profile Collection. 52 p.
- Garagunis CN. 1981. Construction of an impervious diaphragm for improvement of a subsurface water-reservoir and simultaneous protection from migrating salt water. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 24(1): 169-172.
- Gharzi R, Najafinezhad A, Noora N, Deghani AA, Filehkesh E. 2013. Economic-Social issues of underground dam in Bafreh (Sabzehvar) watershed. 8th Iranian National Confer-

- ence on Sciences and Watershed Management Engineering, Lorestan University, Khoram Abad, Iran. 8 p. (In Persian).
- Gupta RN, Mukherjee KP, Singh B. 1987. Design of underground artificial dams for mine water storage. *Mine Water and the Environment*. 6(2): 1–14.
- Haji Azizi Sh, Kheirkhah MM, Sharifi A. 2011. Positioning of suitable areas for the underground dam construction using Analytic Hierarchy by spatial and non-spatial methods. *Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Natural Resource Sciences*. 2(2): 27–37
- Haji Azizi Sh. 2010. Determination of suitable waterways areas for the underground dam construction using multi criteria decision making method with an emphasis on remote sensing techniques and Geographic Information System B. A Thesis. Tehran Islamic Azad University, Department of Remote Sensing and Geographic Information System.
- Ishida S, Tsuchihara T, Yoshimoto S, Imaizumi M. 2011. Sustainable use of groundwater with underground dams. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 45(1): 51–61
- Khorami K. 2013. Positioning of suitable areas for the underground dam construction. B.A Thesis. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran. 102 p. (In Persian).
- Mahdavi M. 1995. Water management and artificial feeding of groundwater tables in Jahrom Township. *Journal of Environmental Studies*. 17(1): 16–23.
- Nilsson A. 1988. Groundwater Dams for small scale water supply. IT publications. 80 p.
- Onder H, Yilmaz M. 2000. Underground dams: A tool of sustainable development and management of groundwater resources. *European Water*. 11(12): 30–40.
- Onder H, Yilmaz M. 2005. Underground dams, A tool of sustainable development and management of groundwater resources. *European Water publications*. 11(12): 35–45.
- Pedrero F, Albuquerque A, Marecos do Montec H, Cavaliero V, Alarcon JJ. 2011. Application of GIS-based multi-criteria analysis for site selection of aquifer recharge with reclaimed water. *Journal of Resources Conservation and Recycling*. 5(1): 105–116.
- Pirmoradian R, Nakha'ie M, Asadiyan F. 2010. Positioning of suitable areas for the underground dam construction using Geographic Information System and Analytic Hierarchy, case study: Plain of Malayer, Hamedan Province. *Natural Geography Quarterly*. 3(8): 51–66.
- Rahman MA, Rušteberg B, Gogu RC, Ferreira JP, Sauter M. 2012. A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge. *Journal of Environmental Management*. 99 (2012): 61–75.
- Rezaei P, Rezaei K, Nazari-Shirkouhi S, Jamalizadeh MR. 2013. Application of fuzzy multi-criteria decision making analysis for evaluating and selecting the best location for construction of underground dam. *Acta Polytechnic Hungarian*. 10 (7): 187–205.
- Saati TL. 2008. Solution making at correspondences and backlinks: Analytic nets. – M: Izdatel'stvo (Press) LKI. 360 p.
- Shaw K, Shankar R, Yadav SS, Thakur LS. 2012. Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. *Expert Systems with Applications*. 39(9): 8182–8192.
- Soleimani S, Nikoodal MM, Orumieyi A, Bahrami H. 2008. Positioning of suitable areas for the underground dam construction using GIS and RS (Case study: Plain of Mashhad). 3rd

- Conference of Iran Water Resources Management, Tabriz University, Faculty of Civil Engineering. 11 p. (In Persian).
- Tabataei Yazdi J, NabiPeyLashkarian S. 2003. Underground water dams for small scale water supply (translation), Tehran, Publication of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 68 p. (In Persian).
- Telmer K, Best M. 2004. Underground Dams: A Practical Solution for The Water Needs of Small Communities in Semiarid Regions. Scientific Communication. 1(1): 63–65.
- Trinh HC, Kwon Y. 2016. Effective Boolean dynamics analysis to identify functionally important genes in large-scale signaling network. Bio systems. 137(1): 64–72.
- Updegrove A, Wilson N, Shadden Sh. 2016. Boolean and smoothing of discrete polygonal surfaces. Advances in Engineering Software. 95(2):16–27.
- Vanrompay L. 2003. Report on the Technical Evaluation & Impact Assessment of Sub-surface Dams (SSDs) TLDP Technical Report. 14 p.



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 4, Ser. No: 129, Winter 2021, pp. 2-16

DOI: 10.22092/wmej.2020.126600.1228

Site Selection for Constructing Underground Dams Using Boolean Logic and the AHP method in the Imamzadeh Jafar Gachsaran Watershed

Ayat Rohina

(Corresponding Author)* Ph.D. Candidate, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Hassan Ahmadi

Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Abolfazl Moeini

Assistant Professor, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abdal Shahrivar

Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yasuj, Iran

* Corresponding Author Email: ayat.rohina@gmail.com

Received: 11 June 2019

Accepted: 17 March 2020

Abstract

Underground dam is an important hydraulic structure in management water in the arid and semi-arid areas. The aim of this research was to identify appropriate sites for constructing underground dams, where they do not limit construction of other such dams in this region. By benefiting from the Boolean logic, and using the physiographic, topographic, geological, land-use, fault, and aqueduct criteria, the regions that had no limitations for the constructing underground dams were selected. Using the analytical hierarchy process as well as the quantity and quality criteria of water, economic and social, dam reservoir, capacity and land-use, suitable sites for project construction underground dams were prioritized. The inconsistency rate in this research was 0.05. Investigation of the inconsistency rate indicated that the scoring performed for the criteria and sub-criteria studied here were acceptable. The results of prioritization of the region indicated that the watershed slope was the most important criterion in determining suitable site for such projects, thus constructing dams at steep slopes was not economical. Furthermore, given the geological conditions of the region and high score of this criterion in constructing underground dams, this criterion should be paid more attention to in such constructions. Overall, the results indicated that the regions located in the western and central parts of the watershed had a higher score for underground dam construction. Considering the importance of underground dam in dry and semidry regions, it can be stated that by constructing such dams in these regions, it is possible to improve the management of water resources.

Keywords: Economic-social, Gachsaran, reservoir, water quantity