دوره‌ی۳۴، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پیاپی ۱۳۰، بهار ۱۴۰۰، صفحه‌های ۱۵-۲
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.341606.1310

پژوهش‌های آبخیزداری

بررسی تأثیر عامل‌های مختلف بر مکان‌یابی و احداث بندهای زیرسطحی در استان کهگیلویه و بویراحمد

مجید خزایی*
(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار پژوهشی بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران
میرمسعود خیرخواه‌زرکش
دانشیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
محمدرضا میرزایی
استادیار دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
ایمان صالح
استادیار پژوهشی بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران
فرحناز عزیزی
دکترای علوم زمین آب، دانشکده‌ی علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: khazayi64@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۹ دی ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۱۰ خرداد ۱۳۹۹

چکیده
کم‌بود آب در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک، احداث بندهای زیرسطحی را برای ذخیره‌کردن ایمن آب زیرزمینی ضروری کرده است. هدف از این پژوهش تعیین محل مناسب احداث بندهای زیرسطحی با مجموعه‌یی از روش‌های صحرایی، آزمایشگاهی و نرم‌افزاری در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک استان کهگیلویه و بویراحمد بود. با بررسی نقشه‌های پستی‌بلندی و شبکه‌ی زه‌کشی شش محور انتخاب و مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر احداث بندهای زیرسطحی مشخص کرده شد. با میانگین نظرهای خبرگان به کمک پرسشنامه و روشFUZZY -AHP مکان‌های مناسب برای اجرای بندهای زیرسطحی در استان وزن‌دهی و اولویت‌بندی شد. ویژگی‌های لایه‌های زیرزمینی با بررسی‌های زمین‌فیزیکی تعیین کرده شد. نتیجه‌ی اولویت‌بندی منطقه‌های مناسب برای احداث بند زیرسطحی نشان داد که بر پایه‌ی وزن معیارهای بررسی‌شده در روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، تنگ نایاب با وزن ۰/۴۱ در رتبه‌ی اول است. بررسی مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگزار نیز نشان داد که آب‌گذری و جنس سنگ کف با وزن ۰/۲۵ مؤثرترین عامل است. نتیجه‌ی بررسی‌های زمین‌فیزیکی نیز نشان داد که مقاومت الکتریکی لایه‌های آب‌دار ۳۰۰ تا ۴۰۰ اهم متر است. نتیجه‌ی بررسی لایه‌های زیرزمینی، ضخامت آب‌رُفت در گزینه‌ی پیشنهادشده را ۵ متر نشان داد.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی، استان کهگیلویه و بویراحمد، بند زیرسطحی، تحلیل سلسله‌مراتبی، فازی

مقدمه

اهمیت آب و نقشی که در بقای زیندگان از جمله انسان دارد بر هیچ‌کس پوشیده نیست. امروزه منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک بیش از گذشته با مساله‌هایی همچون خشک‌سالی‌های تناوبی و کم‌بود آب‌های سطحی و زیرزمینی مواجه است. در دهه‌ی اخیر به جریان‌های غیردایمی برای نگه‌داری و کاربرد در زمان نیاز در طرح‌های مختلفی مانند بندهای زیرسطحی در کشور توجه شده است. احداث بندهای زیرسطحی یکی از راه‌کارهای مناسب برای جبران کم‌بود آب در مقیاس کوچک برای منطقه‌های کم‌آب است. بندهای زیرسطحی در کشورهای مختلفی، مانند ژاپن، برزیل، چین، کنیا و غیره پژوهش و اجرا شده است (نیلسون ۱۹۸۸؛ طباطبایی یزدی و نصیری ۲۰۰۰) دست‌آوردهای علمی تحقیقاتی و اقتصادی این طرح‌ها با توجه به اهمیت آب در منطقه‌های خشک ضرورت پژوهش و اجرای آن در کشورها و از جمله ایران را آشکار می‌سازد. مشکل کم آبی در بسیاری از منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک کشور به‌رغم تلاش‌های زیاد رو به گسترش است. با بررسی و اجرای بندهای زیرسطحی، به‌ویژه در منطقه‌های کم‌آب، نه تنها می‌توان بر مشکل کم‌بود آب چیره شد، بل‌که می‌توان آب را در مخزن سد ذخیره و در هنگام نیاز از آن بهره برد (حیدری ۲۰۱۱). مهم‌ترین مشکل در توسعه و ایجاد بندهای زیرسطحی پیچیدگی تعیین منطقه‌های مناسب احداث سد است. این مشکل از آن جا ناشی می‌شود که معیارها و عامل‌های زیادی شامل معیارهای فیزیکی و اجتماعی اقتصادی در مکان‌یابی آن ها نقش دارد. بررسی و تعیین کردن این عامل‌ها در عرصه با روش‌های سنتی بسیار پرهزینه است و نیاز به صرف وقت بسیار دارد. بهترین وسیله برای یافتن محل مناسب بندهای زیرسطحی ترکیب عکس‌های هوایی و تصویرهای ماهواره‌یی همراه با بررسی نقشه‌ها و بازدید صحرایی است (گلمائی و آشتیانی مقدم ۲۰۰۵). از آن‌جا که بندهای زیرسطحی باید کم‌ترین هزینه، بیش‌ترین حجم مخزن و کم‌ترین نشت را داشته باشد، معمولاً با ارتفاعی بین سه تا چهار متر و در محلی که شیب زمین کم‌تر از ۵ ٪ است ساخته می‌شود، که بیش‌تر در دره‌ها یا رودخانه‌های باریک یافت می‌شود. در جاهایی شرایط طبیعی مانند بند زیرسطحی عمل می‌کند و اثر سدکنندگی مانع‌های طبیعی (مانند برآمدگی لایه‌ی نفوذناپذیر بستر) می‌تواند نقش بسزایی در مکان‌یابی و صرفه جویی در هزینه‌ها داشته باشد.

در استان کهگیلویه و بویراحمد دو اقلیم سردسیری با متوسط بارندگی ۷۵۰ میلی متر و گرمسیری با متوسط بارندگی ۳۵۰ میلی‌متر هست. با وجود خشک‌رودهای فراوان، ساختار زمین‌شناسی، آب‌رفتی و زمین‌های حاصل‌خیز منطقه، آب عامل محدود کننده‌ی توسعه در منطقه‌های گرمسیری استان است. با مکان‌یابی منطقه‌های مناسب برای احداث سدزیرزمینی و اجرای این نوع سازه‌ها می‌توان از خروج روان‌آب‌های زیرسطحی جلوگیری کرد و سبب تقویت منابع آب زیرزمینی شد. تحقیقات مشابهی در داخل و خارج از کشور برای انتخاب نقطه‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی شده است. چزگی و همکاران (۲۰۰۹) با مکان‌یابی محل‌های مناسب برای احداث بند زیرسطحی با روش تصمیم‌گیری چند معیاری به این نتیجه رسیدند که آب در مقایسه با دیگر معیارها بیش‌ترین وزن و ارجحیت را دارد. حسین‌خلیفه و همکاران (۲۰۱۳) حوزه‌ی دره قنات پسبند و بر رودخانه ی پسبند مکان‌یابی بند زیرسطحی کردند. آن‌ها نشان داد که انباشتگی رسوبی در طول آب‌راه اصلی پسبند در دو محل مشاهده می‌شود. این دو نقطه گزینه‌های پیشنهادشده بود، و دقیق‌تر بررسی شد، و بر اساس درجه‌ی اهمیت اولویت‌بندی، و برای اجرا پیشنهاد شد. پیرمرادیان و همکاران (۲۰۱۳) با پهنه‌بندی کردن اولیه‌ی مکان‌های مناسب برای احداث بند زیرسطحی با معیارهای حذفی و وزن‌دهی نقشه‌ها، مخروط‌افکنه‌ی ایوانکی را بهترین پهنه‌ی بند زیرسطحی انتخاب کردند. میلادی و همکاران (۲۰۱۹) از عامل‌های مدل ارتفاعی رقومی با وضوح ۱۲/۵ متر، شیب ۵-۰ ٪ حریم عرضی و ارتفاعی آب‌راه‌ها، کاربری زمین، زمین شناسی، گسل، شیب لایه‌های زمین‌شناسی و ضخامت رسوب آب‌رفتی برای تعیین‌کردن منطقه‌های مناسب برای احداث بندهای زیرسطحی بهره گرفتند. فوستر و همکاران (۲۰۰۲) در ارزیابی بندهای زیرسطحی احداث شده در برزیل نشان دادند که عامل‌های حجم مخزن، عمق سنگ‌بستر نسبت به سطح زمین، نفوذپذیری خاک مخزن و کیفیت شیمیایی خاک مخزن نقش مؤثری در موفقیت بندهای زیرسطحی دارد. هوت و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی دو بند زیرسطحی در کنیا به این نتیجه رسیدند که برای احداث بند زیرسطحی باید فرآیندهای آب‌شناسی و جریان‌های اطراف سد را دانست. کریمی مبارک‌آبادی (۲۰۱۲) برای منطقه یی در شهر خمین در استان مرکزی با داده‌های موجود نُه مکان را برای احداث بند زیرسطحی انتخاب و با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی آن‌ها را اولویت‌بندی کرد. گومز و همکاران (۲۰۱۸) روش مقاومت الکتریکی را برای انتخاب کردن مکان‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی در جنوب غرب برزیل به‌کار بردند. نتیجه‌ی انجام بررسی‌های تکراری مقاومت الکتریکی در دوره‌های تر و خشک نشان‌دهنده‌ی بودن رگه‌ها و آب‌راه‌هایی از جریان زیرسطحی در نقطه‌های بررسی‌شده بود. خزازی و همکاران (۲۰۱۷) با روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله‌مراتبی و به‌کارگیری معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی، فنی و اجتماعی چهار محور را بهترین مکان‌های احداث بند زیرسطحی نشان دادند.

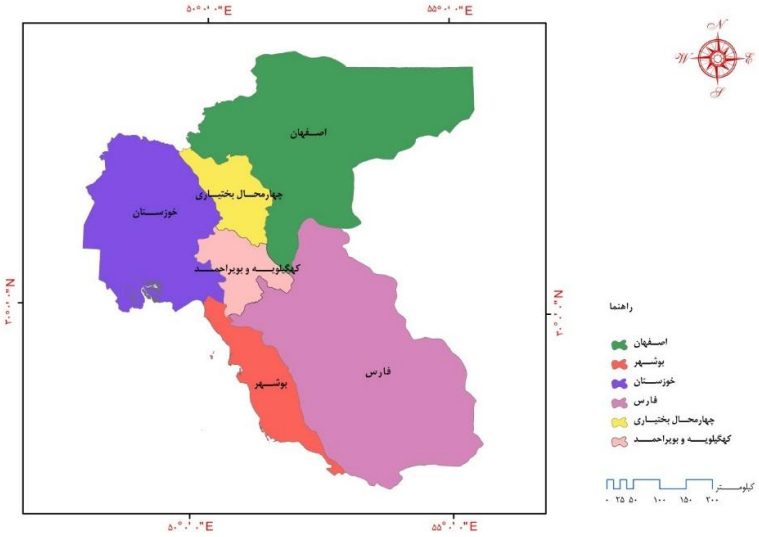
جمع‌بندی نشان می‌دهد که به‌دلیل هزینه‌ی زیادی که پژوهش‌های زمین‌فیزیکی می‌برد، پژوهش‌های کم‌تری با این شیوه اجرا شده است، و محققان بهترین نقطه‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی را بیش‌تر بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری و نظر کارشناسی انتخاب کرده اند. در این تحقیق طیف گسترده‌یی از بررسی‌های فنی، صحرایی، محاسبه‌یی و آزمایشگاهی برای

تعیین کردن مکان‌های مناسب برای اجرای سدزیرزمینی به‌کار گرفته شد. برای تصمیم‌گیری بهتر بر اساس اطلاعات کمّی محاسبه‌شده از عامل‌های مؤثر بر احداث بندهای زیرسطحی در هر منطقه، با اثردادن نظر کارشناسان و به‌کارگرفتن روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، منطقه‌های مناسب اولویت‌گذاری، و بررسی‌های تکمیلی (تحلیل فیزیکی زمین) بر گزینه‌ی انتخاب‌شده برای احداث بند زیرسطحی انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی بررسی شده

استان کهگیلویه و بویراحمد در جنوب غربی ایران با مساحتی حدود ۱۵۵۰۴ کیلومتر مربع در دامنه‌های رشته‌کوه زاگرس، بین طول‌های ´۵۳ °۴۹ تا ´۵۳ °۵۱ شرقی و عرض‌های ´۵۶ °۲۹ تا ´۲۹ °۳۱ شمالی است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت استان کهگیلویه و بویراحمد.

الف) تهیه‌کردن بانک اطلاعاتی و انتخاب‌کردن اولیه‌ی گزینه‌ها برای احداث بند زیرسطحی

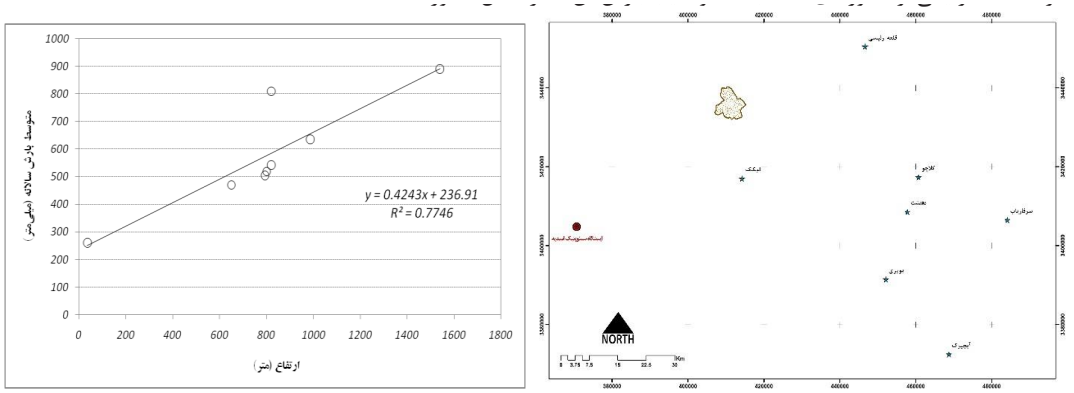
در اولین گام در مکان‌یابی بندهای زیرسطحی باید بانک اطلاعاتی نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و ماهواره‌یی، داده‌های آب‌اقلیم شناسی، اطلاعات خاک، جغرافیای طبیعی، زمین‌فیزیکی منطقه، چاه‌های فشارسنجی (پیزومتریک) و مشاهده‌یی، اطلاعات اجتماعی و اقتصادی، و اطلاعات جمع‌آوری شده از پیمایش‌های صحرایی در اختیار باشد.

اولین گام در انجام این تحقیق گردآوری داده‌ها بود. آبخیز با نقشه‌های پستی‌بلندی مشخص کرده، و برای تعیین‌کردن حد آب رفت عکس‌های هوایی و ماهواره‌یی و اطلاعات زمین‌فیزیکی به‌کار گرفته شد. نقشه‌های شبکه‌ی زه‌کشی ۱/۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰، پستی‌بلندی۱/۲۵۰۰۰و کاربری زمین ۱/۵۰۰۰۰ و تصویرهای لندست ۸ از منطقه‌های گرمسیری استان تهیه شد و بر اساس شرایط اولیه‌ی احداث بندهای زیرسطحی گزینه‌های اولیه انتخاب شد.

ب) محاسبه‌ی عامل‌های مؤثر بر احداث بندهای زیرسطحی

جغرافیای طبیعی (فیزیوگرافی). جغرافیای طبیعی هر حوزه نشان‌دهنده‌ی وضعیت کلی آن است که بر حجم روان‌آب، سیلاب و ویژگی‌های اقلیمی آن تاثیر بسزایی دارد. مهم‌ترین ویژگی‌های جغرافیای طبیعی مساحت، محیط، شکل، وضعیت ارتفاعی، شیب حوزه و آب‌راه اصلی است که در پژوهش‌های مختلف منابع آب اهمیت ویژه‌یی دارد. برای محاسبه‌ی این عامل‌ها نرم‌افزار ArcGIS به‌کار گرفته شد.

بارش. اندازه‌گیری بارش به روش معمول و با اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی تعیین شد. داده‌های باران‌سنجی در اطراف محورهای انتخاب‌شده تهیه شد (سازمان هواشناسی ۱۳۹۸، وزارت نیرو ۱۳۹۸) و میزان بارش متوسط حوزه‌ی بالادست هر محور با روش منحنی شیب بارش برای دوره‌ی داده‌برداری ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ محاسبه شد. برای نمونه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی به کار گرفته‌شده در یکی از محورهای انتخاب‌شده و شیب بارش آن‌ها در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در اطراف محور انتخاب‌شده‌ی تنگ نایاب (سمت چپ) و شیب بارش در منطقه‌ی بررسی شده (سمت راست).

روان‌آب. برای محاسبه‌کردن روان‌آب در حوزه‌هایی که ایستگاه آب‌شناسی و داده‌های ثبت‌شده‌ی آب‌دهی جریان در آب‌راه اصلی آن نیست می‌توان روش‌های تجربی را به‌کار برد. در این پژوهش روش استدلالی به‌کار گرفته شد.

جنس سنگ کف. با ورقه‌ی زمین‌شناسی منطقه و نیم‌رخ زمین‌شناسی محور مشخص شد.

لایه‌بندی (تمایل شیب). با مشاهده‌ی صحرایی نیم‌رخ کناری گزینه‌های انتخاب‌شده، لایه‌بندی و تمایل شیب لایه‌های زمین شناسی در هر محور مشخص شد.

آب‌گذری پی‌سنگ. با ساختار و پی زمین‌شناسی در ورقه‌ی زمین‌شناسی منطقه و نیم‌رخ زمین شناسی محور مشخص شد.

ضخامت لایه‌ی نااشباع. با اطلاعات چاه‌های عمیق اطراف محور تعیین شد.

ج) تنظیم پرسشنامه‌ی نظر کارشناسی

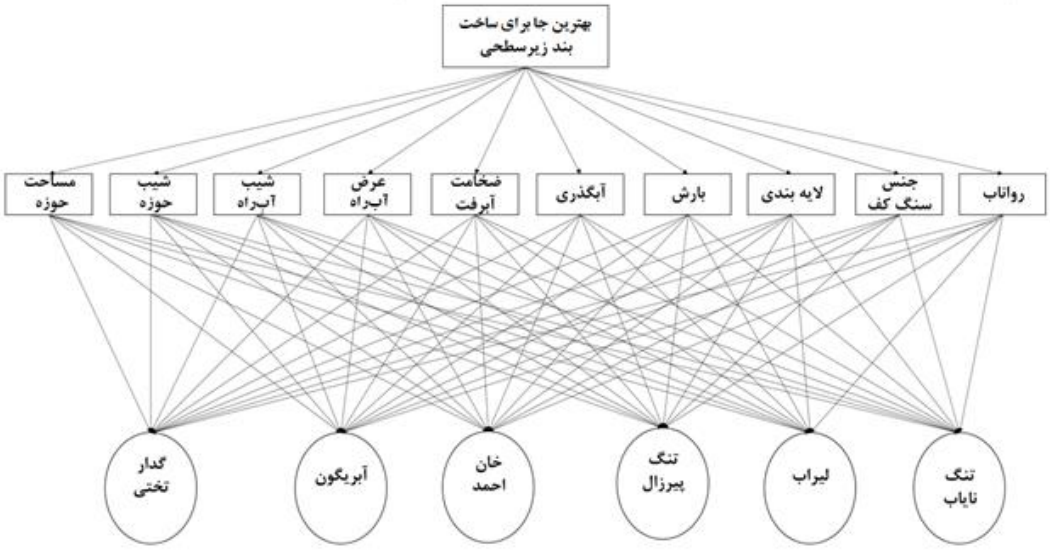
برای ارزیابی‌کردن معیارهای موثر بر احداث سد زیرزمینی پرسشنامه‌یی از عامل‌های زوجی (۱۰ عامل مساحت حوزه، شیب حوزه، شیب دره، عرض دره، ضخامت آب‌رفت، آب‌گذری، بارش، لایه‌بندی زمین‌شناسی، جنس سنگ کف و روان‌آب) تهیه شد و ۱۰ کارشناس خبره از استادان دانشگاه و مرکزهای پژوهشی آن را تکمیل کردند. میانگین امتیازهای خبرگان وارد مدل AHP-Fuzzy کرده شد.

د) اولویت‌بندی منطقه‌های مناسب برای احداث بند زیرسطحی با مدل

وزن‌دهی گزینه‌ها به روش تحلیل گسترش‌یافته‌ی چانگ

چانگ (۱۹۹۲) روشی بسیار ساده را برای بسط‌دادن فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به فضای فازی به‌دست داد. این روش در هشت مرحله به انجام می‌رسد:

۱. ترسیم‌کردن درخت سلسله‌مراتبی تصمیم با ترازهای هدف، معیار و گزینه‌ی ترسیم (شکل ۳).



شکل ۳- درخت سلسله‌مراتبی تصمیم.

۲. تشکیل‌دادن آرایه‌ی مقایسه‌های زوجی با نظر تصمیم‌گیرندگان و بهره‌گیری از عددهای فازی مثلثی

$$\tilde{t}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad (۱)$$

a، b و c جزءهای آرایه‌های عددهای فازی

۳. میانگین‌گرفتن حسابی از نظرها: میانگین حسابی نظرهای تصمیم‌گیرندگان با آرایه‌ی زیر.

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

A آرایه‌ی نظرهای خبرگان

ر(۲)

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{p_{ij}} a_{ijk}}{p_{ij}} \qquad i,j = 1,2,\dots,n$$

a میانگین حسابی نظرهای خبرگان

۴. محاسبه‌کردن مجموع عنصرهای سطر: مجموع عنصرهای سطرها از رابطه‌ی ۳.

(۳)

$$\tilde{s}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{a}_{ij} \qquad i = 1,2,\dots,n$$

Siاندازه‌های کلی فازی (محاسبه‌ی وزن‌ها)

۵. بهنجار کردن. مجموع سطرها به شیوه‌ی زیر بهنجار کرده می‌شود.

اگر را با (li , mi , ui) نشان دهیم رابطه‌ی بالا محاسبه می‌شود (رابطه‌ی ۴).

(۴)

$$\tilde{M}_i = \left(\frac{l_i}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{u_i}{\sum_{i=1}^{n} l_i} \right)$$

۶. به‌دست‌آوردن بزرگی (درجه‌ی ارجحیت) هر m2 بر m1 با رابطه‌ی ۵.

(۵)

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_2 \cap M_1) = \mu_{M_2}(d)$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{اگر } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{اگر } l_2 \geq u_1 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{اگر نه:} \end{cases}$$

Mi وزن ماتریس، ui مجموعه‌ی هدف و Miعددهای فازی مثلثی، و d مختصات بیش‌ترین نقطه در منطقه‌ی اشتراک و برخورد دو تابع عضویت و است.

۷. بهنجار کردن: وزن‌های بهنجارشده با بهنجارکردن بردار وزن‌ها به‌دست می‌آید. وزن‌های به‌دست آمده در این مرحله وزن قطعی (غیر فازی) است. با تکرارکردن این فرآیند، وزن همه‌ی آرایه‌ها به‌دست می‌آید.

(۶)

$$w = \left[\frac{d'(A_1)}{\sum_{i=1}^{n} d'(A_i)}, \frac{d'(A_2)}{\sum_{i=1}^{n} d'(A_i)}, \dots, \frac{d'(A_n)}{\sum_{i=1}^{n} d'(A_n)} \right]^T$$

w وزن فازی معیارها و d'(Ai) معیارهای بررسی‌شده

۸. ترکیب‌کردن وزن‌ها: وزن‌های نهایی با ترکیب‌کردن وزن گزینه و معیارها به‌دست می‌آید.

ر(۷)

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{w}_i \, \tilde{r}_{ij} \qquad \forall i$$

Ui وزن نهایی معیارها و گزینه‌ها، Wi وزن هر معیار و rij گزینه‌ها

گوگوس و بوچر (۱۹۹۸) پیشنهاد کردند که برای بررسی‌کردن سازگاری، دو آرایه (عدد میانی و حدود عدد فازی) از هر آرایه‌ی فازی مشتق، و سازگاری هر آرایه با روش ساعتی محاسبه شود. برای محاسبه‌کردن نرخ ناسازگاری (CR)، شاخص CI بر مقدار شاخص تصادفی (RI) تقسیم کرده می‌شود. اگر مقدار حاصل کم‌تر از ۰/۱ باشد، آرایه سازگار و به‌کاربردنی تشخیص داده می‌شود.

و) کاوش‌های زیرزمینی با روش زمین‌الکتریک

برای بررسی و شناسایی عارضه‌ها و ساختارهای زمین شناسی در محدوده‌ی محور و مخزن برای گزینه‌ی پیشنهادشده‌ی تنگ نایاب روستای کت پژوهش‌های زمین‌الکتریک انجام شد. برای شناسایی لایه‌های خاک زیرزمینی عملیات حفاری با گمانه‌زنی به روش حفاری گردشی کربارلی تا عمق بیشینه‌ی ۲۵ متر و در مجموع ۱۳۰ متر انجام شد. مقاومت فروروی زمین با آزمایش ضربه و نفوذ بمعیار در فاصله‌های ۵ یا هر تغییر لایه در عمق‌های

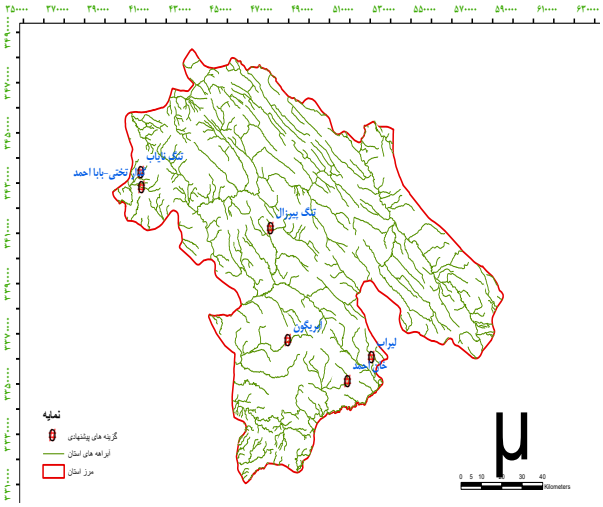
مختلف گمانه‌یی اندازه گرفته شد.

نتایج

انتخاب محدوده‌های توانمند

برای مکان‌یابی پروژه‌ی بند زیرسطحی در محدوده‌ی استان کهگیلویه و بویراحمد با بررسی نقشه‌های پستی‌بلندی و تصویرهای ماهواره‌یی، خشکه‌رودهای استان که از نظر پستی‌بلندی، کاربری زمین و تصویرهای ماهواره‌یی مناسب احداث بند زیرسطحی بود شناسایی و از میان آن‌ها شش گزینه انتخاب شد. گروه کارشناسی از این مکان‌ها بازدید کرد. پس از پیمایش منطقه و جمع‌آوری اطلاعات صحرایی نیازداشته، به تفکیک روی هر یک از مکان‌ها پژوهش‌های دفتری شد. این مکان‌ها عبارت است از آبریگون، تنگ نایاب، تنگ پیرزال، لیراب، خان‌احمد، و گدار تخته (شکل ۴).

گزینه‌ها با ترسیم نقشه‌ها، بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌های میدانی،



شکل ۴- محورهای انتخاب‌شده برای احداث بندهای زیرسطحی بر اساس بررسی‌های اولیه.

استخراج ویژگی‌های جغرافیای طبیعی، پستی‌بلندی، زمین‌شناسی و آب‌شناسی پیشنهاد کرده شد (جدول ۱). مهم‌ترین معیارهای احداث بند زیرزمینی از منابع علمی استخراج، و مهمترین معیارهای مؤثر با نرم‌افزار تحلیل سلسله‌مراتبی فازی اولویت‌بندی، و بهترین منطقه‌ها انتخاب شد (جدول ۲). نتیجه‌ی میانگین مقایسه‌های زوجی و درجه‌ی ارجحیت گزینه‌ها نسبت به مساحت حوزه، شیب حوزه، شیب دره، عرض دره، ضخامت آبرفت، آب گذری، بارش، لایه‌بندی، جنس سنگ کف و روان‌آب در جدول ۳ آورده شده است. شکل‌های ۵ و ۶ نمایی از محور گزینه‌های پیشنهادشده‌ی لیراب، خان احمد و تنگ پیرزال و تنگ نایاب را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتیجه‌ی ویژگی‌های مکان‌های پیشنهادشده برای احداث بندهای زیرسطحی.

ایستگاه	طول	عرض	مساحت	محیط	بیشینه‌ی ارتفاع	کمینه‌ی ارتفاع	ارتفاع متوسط	ارتفاع محور	شیب متوسط	ضریب گراولیوس	نسبت دایره‌یی
آبریگون	۴۸۰۲۰۸	۳۳۶۷۱۹۱	۹۹۷۲	۵۷/۶	۳۱۶۰	۱۰۶۰	۱۷۰۳	۱۰۷۰	۱۹/۷	۱/۶۲	۰/۳۸
خان احمد	۵۰۹۲۹۵	۳۳۵۰۹۸۵	۷۷۰۷	۴۴/۹	۱۷۰۰	۸۰۰	۱۰۴۲	۸۰۰	۱۱/۷	۱/۴۳	۰/۴۹
لیراب	۵۲۱۰۵۸	۳۳۶۰۲۹۸	۹۹۳۶	۵۸/۹	۲۵۹۲	۷۶۹	۱۳۱۳	-	۱۵/۲	۱/۶۵	۰/۳۶
تنگ پیرزال	۴۷۱۶۸۴	۳۴۱۱۸۷۶	۲۹۵۶۱	۸۳/۷	۳۴۸۰	۸۴۰	۱۸۵۴	۸۷۰	۱۷/۲	۱/۳۶	۰/۵۴
تنگ نایاب	۴۰۷۰۴۶	۳۴۳۳۷۰۶	۳۹۱۴	۳۰/۶	۲۲۸۰	۶۰۰	۱۲۸۵	-	۱۸/۶	۱/۳۷	۰/۵۳
گدار تختی-باباحمد	۴۰۸۴۱۳	۳۴۲۸۱۱۸	۵۵۸۳	۴۴/۹	۲۳۶۰	۶۲۰	۱۲۰۸	۶۴۰	۱۵/۷	۱/۶۸	۰/۳۵

جدول ۲- نتیجه‌ی ویژگی‌های مکان‌های پیشنهادشده برای احداث بندهای زیرسطحی.

مکان	بارش متوسط سالانه (میلی‌متر)	دمای متوسط سالانه	شیب دره (%)	عرض دره (متر)	جنس سنگ کف	لایه‌بندی (تمایل شیب)	آب‌گذری پی‌سنگ	ضخامت لایه‌ی نااشباع (متر)	روان‌آب (میلیون مترمکعب)
آبریگون	۵۰۰	۲۲/۵	۲/۳	۴۵-۳۵	سنگ‌آهک آسماری	به سمت بالادست	بالا	۲۰	۶
خان احمد	۵۵۰	۲۱/۵	۱	۱۵۰	سنگ‌آهک آسماری	به سمت مخزن	بالا	۴۰	۵
لیراب	۶۰۰	۲۰	۱	۶۵	سنگ‌آهک آسماری	به سمت پایین‌دست	بالا	۳۰	۷
تنگ پیرزال	۵۸۰	۲۰/۵	۲/۸	۳۰۰	سنگ‌آهک سروک	به سمت بالادست	متوسط	۱۵	۱۷
تنگ نایاب	۴۷۰	۲۲/۷	۱/۸	۵۰	ماسه‌سنگ و کنگلومرا	به سمت بالادست	پایین	۶	۲/۵
گدار تختی	۴۵۰	۲۳	۲/۴	۳۵	ماسه‌سنگ و کنگلومرا	به سمت پایین‌دست	پایین	۱۰	۳

ارزیابی گزینه‌ها

آبریگون. در محل گزینه‌ی پیشنهادشده، وضعیت ساختاری لایه‌بندی تشکیلات آهکی سازند آسماری مناسب با شیب حدود ۱۵ درجه به سمت بالادست محور است. تشکیلات آب‌رفتی درشت‌دانه در بالادست گزینه‌ی پیشنهادشده توانمندی مناسبی برای مخزن بند زیرسطحی شدن دارد و در محدوده‌ی بالادست محور سطح آب در عمق نسبتاً کمی است، به‌طوری‌که ضخامت لایه‌ی غیراشباع حدود ۲۰ متر است. با داشتن این مزیت‌ها، در احداث بند زیرزمینی در این منطقه باید نکته‌های زیر را در نظر گرفت:

۱ - سنگ‌شناسی گزینه‌ی پیشنهادشده از آهک‌های آسماری است، و مسیر رودخانه از طاقدیسی می‌گذرد و محور طاقدیس را قطع می‌کند، بنابراین خوردشدگی و شکستگی و بودن حفره‌های کارستی در این آهک‌ها اجتناب‌ناپذیر است، و برای ترمیم پی و تکیه‌گاه‌ها باید با صرف هزینه‌های زیادی تزریق انجام شود.

۲ - در محدوده‌ی شمال و جنوب روستای آبریگون تشکیلات تبخیری سازند گچساران رخنمون یافته است، حتا در زیر ایوان (تراس) آب‌رفتی که روستا روی آن است، و اگر در این آب‌رفت آب ذخیره شود کیفیت آن کاهش می‌یابد.

تنگ پیرزال. این آب‌راه در مرحله‌ی جوانی رژیم رودخانه‌یی است و گاهی پوشش آب‌رُفت مقداری کم‌تر از چند متر، و در بعضی قسمت‌ها بی پوشش آبرفتی است و برون‌زد سنگ کف در بستر مشاهده می‌شود، که امکان اجرای طرح‌های بند زیرسطحی را در این آب‌راه رد می‌کند.

لیراب. گزینه‌یی اندیشیدنی است، چرا که برتری آن داشتن تکیه‌گاه‌های آهکی، و در زیر آن تشکیلات مارنی پابده در کرانه‌های رودخانه و عرض نسبتاً کم دره، و مخزن مناسبی در بالادست محور (به دلیل شیب کم رودخانه و مصالح درشت‌دانه در بستر رودخانه) است. نکته‌ی درخور در این مکان عمق بسیار زیاد آب‌رفت و عرض زیاد دره است که ممکن است بر هزینه‌های اجرایی تأثیر بسزایی داشته باشد.

گدار تختی (رودخانه بابا احمد). رودخانه‌ی بابا احمد از ارتفاعات آهکی سازند داریان که در این آبخیز هسته‌ی تاقدیس بنگستان را تشکیل داده است سرچشمه می‌گیرد، و پس از عبور از پلمه‌سنگ‌های خاکستری سازند کژدمی روی آهک‌های سازند سروک جریان می‌یابد، سپس به پهنه‌ی آب‌رفتی می‌رسد و در محدوده آبادی‌های گدارتختی و بابا احمد از میان برون‌زدهای تشکیلات لای استون و ماسه‌سنگی بخش لهبری سازند آغاجاری عبور می‌کند. در محل محور عرض رودخانه ۳۵ متر است که در کرانه‌ی راست رودخانه ایوان آب‌رفتی با ارتفاع حدود ۱۰ متر هست که در زیر آن برون‌زد ماسه‌سنگ‌های آغاجاری است. در کرانه‌ی چپ رودخانه ایوان با ارتفاع ۶ متر هست که تا ارتفاع ۵ متری برون‌زد ماسه‌سنگ‌های آغاجاری، و در بالای آن حدود یک متر پوشش آب‌رفتی است. قلوه‌سنگ‌هایی با اندازه‌ی حدود ۱۲ اینچ تا حد ذره‌های لای در بستر مشاهده می‌شود که عمدتاً نتیجه‌ی تخریب فرسایش و حمل تشکیلات قدیمی در بالادست آبریز است. اختلاف ارتفاع بین بستر و تراز دهانه‌ی چاه حفاری‌شده ۶ متر است. با داشتن سطح آب در عمق کم از سطح زمین (حدود ۶ متری بستر رودخانه)، عرض کم دره و تراز بالای سنگ کف از گزینه‌های مناسب برای بندهای زیرسطحی در این نقطه است.

خان احمد. در محل گزینه‌ی پیشنهادشده رودخانه با راستای شمالی-جنوبی و به سمت جنوب جریان می‌یابد و عرض آن حدود ۱۵۰ متر است. در جناح راست برون‌زد آهک‌های آسماری که ساختار آن به شکل طاقدیس رخنمون یافته است دیده می‌شود. در جناح چپ رودخانه ایوان آب‌رفتی متشکل از رسوب‌های قدیمی آب‌رفتی با ارتفاع حدود ۸ متر هست و برون‌زد سنگ کف مشاهده نمی‌شود. در واقع جناح چپ روی ناودیسی است که هسته‌ی آن تشکیلات گچساران است و بر پهنه‌ی آبرفتی وسیعی است.

یکی از شرایط برای احداث بند زیرسطحی وجود تکیه‌گاه‌های مناسب برای اتصال‌دادن عنصرهای آب‌بند به آن‌ها برای جلوگیری کردن از فرار آب مخزن است. در بررسی‌ها در محل دانسته شد که اگرچه در جناح راست رودخانه تشکیلات آسماری

هست، در جناح چپ واحد سنگ‌شناسی مناسبی از نظر آب‌بندی نیست، و آب‌بندی‌کردن و جلوگیری‌کردن از فرار آب از جناح چپ اقتصادی نیست.

تنگ نایاب. این گزینه در مقایسه با دیگر گزینه‌های پیشنهادشده برای احداث بند زیرسطحی مناسب است. پژوهش‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که سنگ بستر در عمق کم (حدود ۶ متر) نسبتاً نفوذناپذیر است. وجود آب‌رفت درشت‌دانه در بالادست محور با ضخامت ۵ تا ۶ متر که توانمندی مناسبی برای مخزن بند زیرسطحی می‌دهد. تکیه‌گاه‌های مناسبی در محل هست که از دیدگاه سنگ‌شناسی توالی لای استون و ماسه‌سنگ‌های سازند لهبری است. زمین کشاورزی با مساحت ۱۰۰ هکتار در بالای ایوان سمت راست رودخانه است، که بهره‌برداری از طرح بند زیرسطحی ممکن است به تحول در وضعیت معیشتی و اقتصادی مالکان آن منجر شود.

نتیجه‌ی تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

پرسشنامه‌یی از عامل‌های موثر به‌همراه اندازه‌های کمُی عامل‌ها تهیه کرده شد و ۱۰ نفر از افراد خبره و متخصص آن را پر کردند. میانگین نظرهای خبرگان در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی وارد و اجرا شد. نتیجه‌ی وزن بهنجار گزینه‌ها نسبت به معیارهای بررسی‌شده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- محاسبه‌ی وزن بهنجار گزینه‌ها نسبت به معیارهای بررسی‌شده.

	مساحت حوزه	شیب حوزه	شیب دره	عرض دره	ضخامت آب-رفت	آبگذری	بارش	لایه‌بندی	سنگ کف	رروان‌آب
آبریگون	۰/۱۱۹	۰/۴۵۵	۰	۰/۳۱۳	۰	۰	۰/۰۷۲	۰/۲۵	۰	۰/۰۹۷
خان احمد	۰/۱۹	۰	۰/۳۸۷	۰	۰	۰	۰/۲۱۶	۰	۰	۰/۰۹۷
لیراب	۰/۲۰۴	۰	۰/۳۸۷	۰/۱۷۲	۰	۰	۰/۳۶۸	۰	۰	۰/۰۹۷
تنگ پیرزال	۰/۴۸۷	۰/۲۴	۰	۰	۰/۱۲۲	۰/۰۲۴	۰/۳۴۴	۰/۲۵	۰/۱۹۴	۰/۷۱
تنگ نایاب	۰	۰/۳۰۵	۰/۲۲۷	۰/۲۰۳	۰/۵۲۸	۰/۵۱	۰	۰/۲۵	۰/۴۰۳	۰
گدار تختی	۰	۰	۰	۰/۳۱۳	۰/۳۴۹	۰/۴۶۶	۰	۰/۲۵	۰/۴۰۳	۰

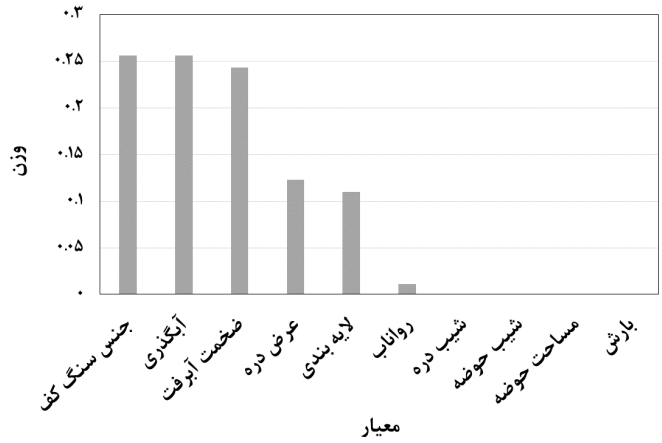
اولویت‌بندی گزینه‌های پیشنهادشده برای احداث بند زیرسطحی بر اساس معیارهای بررسی‌شده (جدول ۳) به شرح زیر است. بر اساس مساحت حوزه: -۱تنگ پیرزال، -۲لیراب، -۳خان احمد، ۴ -آبریگون، -۵تنگ نایاب، -۶گدار تختی. بر اساس شیب حوزه: -۱آبریگون، -۲تنگ نایاب، -۳تنگ پیرزال، -۴خان احمد، ۵ -لیراب، -۶گدار تختی. بر اساس شیب دره: -۱خان احمد، ۲ -لیراب، -۳تنگ نایاب، -۴آبریگون، -۵تنگ پیرزال، -۶گدار تختی. بر اساس عرض دره: -۱آبریگون، -۲گدار تختی، ۳ -تنگ نایاب، -۴لیراب، -۵خان احمد، -۶تنگ پیرزال. بر اساس ضخامت آبرفت: -۱تنگ نایاب، -۲گدار تختی، -۳تنگ پیرزال، -۴آبریگون، -۵خان احمد، -۶لیراب، بر اساس آبگذری: -۱تنگ نایاب، -۲گدار تختی، -۳تنگ پیرزال، -۴آبریگون، -۵خان احمد، -۶لیراب. بر اساس بارش:-۱لیراب، -۲تنگ پیرزال، -۳خان احمد، -۴آبریگون، -۵تنگ نایاب، -۶گدار تختی. بر اساس لایه‌بندی: -۱آبریگون، -۲تنگ پیرزال، -۳تنگ نایاب، -۴گدار تختی، -۵خان احمد، -۶لیراب. بر اساس جنس سنگ کف: -۱تنگ نایاب، -۲گدار تختی، -۳تنگ پیرزال، -۴آبریگون، -۵خان احمد، -۶لیراب. بر اساس روان‌آب: -۱تنگ پیرزال، -۲آبریگون، -۳خان احمد، -۴لیراب، -۵تنگ نایاب، -۶گدار تختی

شکل ۵- نمایی از محل گزینه‌های لیراب و خان احمد.

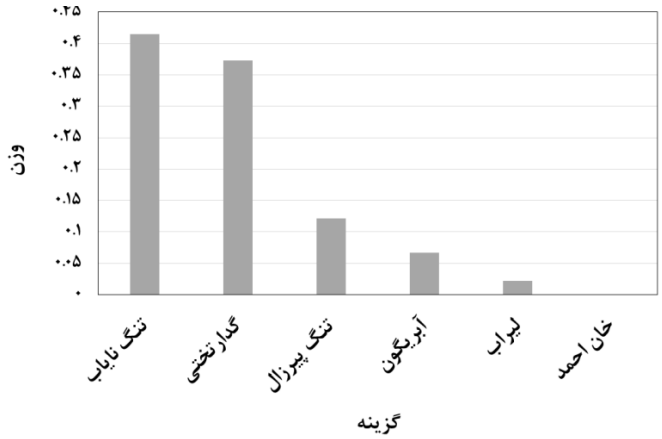
شکل۶- نمایی از محور پیشنهادشده‌ی بند زیرسطحی تنگ پیرزال و تنگ نایاب.

محاسبه‌ی وزن نهایی معیارها و گزینه‌ها

بعد از مشخص‌کردن ارجحیت گزینه‌ها نسبت به عامل‌های بررسی‌شده وزن قطعی هر مؤلفه محاسبه شد (شکل ۷). آرایه‌ی وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به تعیین بهترین مکان برای احداث بندهای زیرسطحی در شکل ۸ آورده شده است.



شکل ۷-نمودار وزن نهایی معیارها نسبت به تعیین بهترین مکان برای احداث.



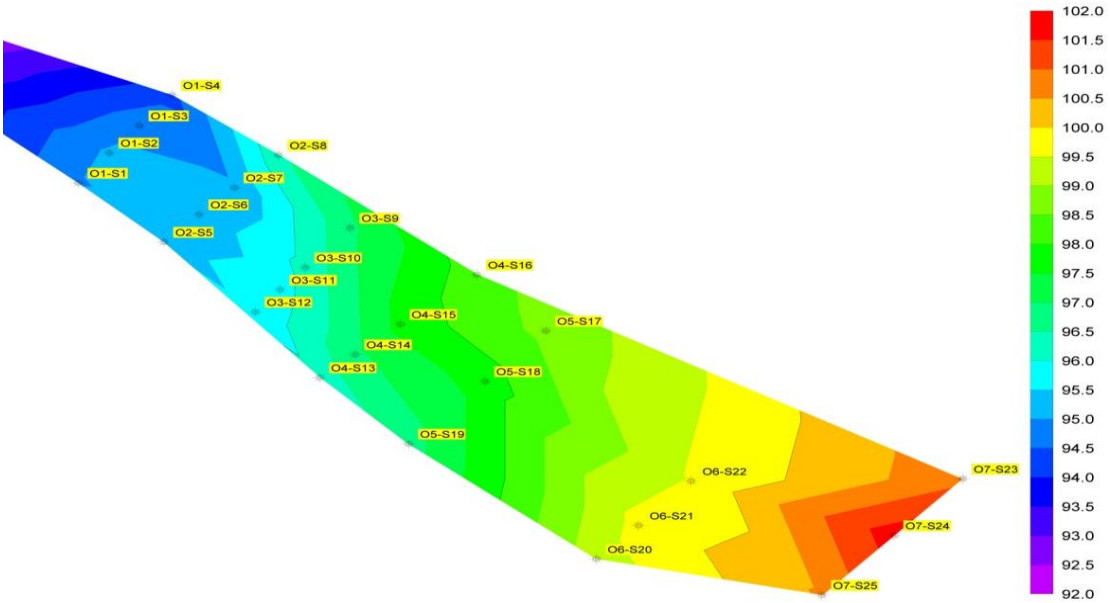
شکل ۸- نمودار وزن نهایی گزینه‌ها نسبت به تعیین بهترین مکان برای احداث.

تحلیل زمین‌فیزیکی در گزینه‌ی انتخاب‌شده

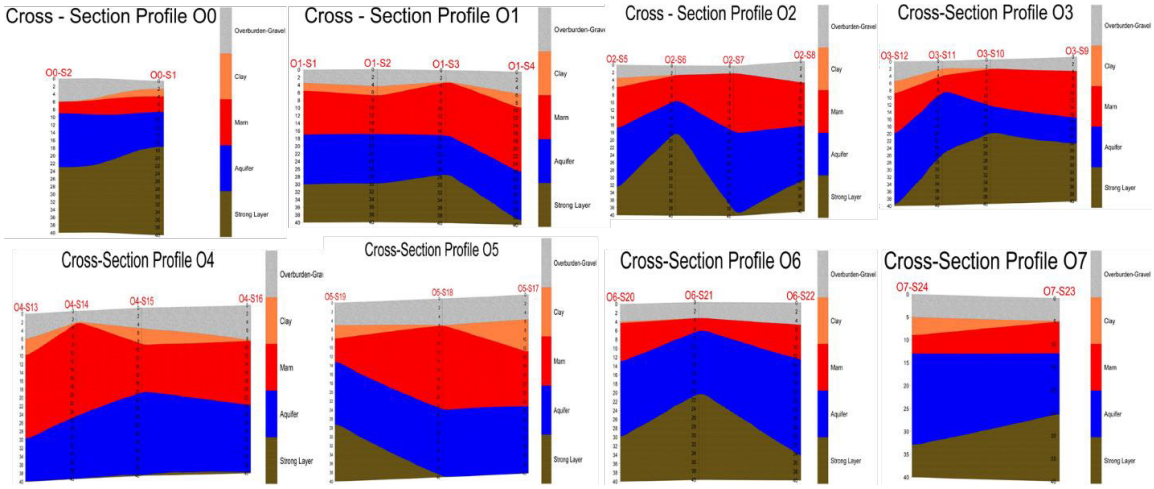
هدف از اکتشاف‌های زمین‌الکتریکی به‌دست آوردن داده‌های لازم از ساختار زیرسطحی، با صرفه‌ی اقتصادی و دقت کافی است. برای دانستن عمق سنگ کف از میان روش‌های مختلف زمین‌فیزیکی، روش اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه‌ی الکتریکی به‌کار گرفته شد. اساس این روش بر تعیین مقاومت ویژه‌ی الکتریکی لایه‌های زیرسطحی است. مقاومت ویژه‌ی لایه‌های زیرسطحی به عاملهای مختلف زمین‌شناسی مانند محتوای سیال و کانی، درجه‌ی تخلخل، و میزان اشباع آب در حفره‌ها و سنگ‌ها بستگی دارد. اندازه‌گیری مقاومت ویژه‌ی الکتریکی با تزریق جریان به زمین با الکترودهای جریان، و اندازه‌گیری اختلاف‌پتانسیل به‌دست آمده با الکترودهای پتانسیل انجام می‌شود. در پژوهش‌های زمین‌فیزیکی با توجه به عوارض منطقه، ۸ نیم‌رخ و در مجموع ۲۶ ژرفاسنجی طراحی شد. شکل ۸ و جدول ۴ نمایی از نیم‌رخ‌های طراحی شده، ژرفاسنجی‌های مرتبط و مختصات محلی آن‌ها را نمایش می دهد.

جدول ۴- موقعیت ژرفاسنجی‌ها در گزینه‌ی انتخاب‌شده.

انیم‌رخ	موقعیت	تعداد ژرفاسنجی	نام ژرفاسنجی‌ها
O_1	روی محور سد	۴	S_1,S_2,S_3,S_4
O_0	۱۰۰ متر پایین تر از محور سد	۲	O_0-S_1,O_0-S_2
O_2	۵۰ متر بالاتر از محور سد	۴	S_5,S_6,S_7,S_8
O_3	۱۰۰ متر بالاتر از محور سد	۴	S_9,S_{10},S_{11},S_{12}
O_4	۱۴۵ متر بالاتر از محور سد	۴	$S_{13},S_{14},S_{15},S_{16}$
O_5	۱۸۷ متر بالاتر از محور سد	۳	S_{17},S_{18},S_{19}
O_6	۲۸۷ متر بالاتر از محور سد	۳	S_{20},S_{21},S_{22}
O_7	۳۷۷ متر بالاتر از محور سد	۲	S_{23},S_{24}



شکل ۹- نمایی از موقعیت ژرفاسنجی‌ها در مخزن گزینه‌ی انتخاب‌شده.



شکل ۱۰- نیم‌رخ مقطع عرضی ژرفاسنجی‌های مخزن گزینه‌ی انتخاب‌شده‌ی تنگ نایاب.

برای مقایسه‌کردن و نسبت‌دادن داده‌های مقاومت ویژه به لایه‌بندی زمین در مقطع‌های مختلف از مخزن گزینه‌ی انتخاب‌شده ژرفاسنجی زمین‌الکتریک زده شد. نتیجه‌ی تعبیر و تفسیر منحنی ژرفاسنجی شلومبرژه در شکل ۱۰ نشان داده شد. با این دید از لایه‌بندی زمین و مقاومت ویژه‌ی مرتبط با آن‌ها، ژرفاسنجی‌های هر نیم‌رخ تفسیر و شبه‌مقطع آن‌ها تهیه شد (شکل ۹).

از سطح زمین تا عمق ۵ متر آب‌رفت رودخانه‌یی، از عمق ۵ متر تا ۸ متر رس مرطوب، از ۸ متر تا ۱۸ متر آهک‌رس و از ۱۸ متر به پایین احتمالاً لایه‌ی آب‌دار است. بر این اساس مقاومت ویژه‌ی آب‌رفت درشت‌دانه ۳۰۰ الی ۴۰۰ اهم‌متر، مقاومت ویژه‌ی لایه‌ی رسی ۲۵ اهم‌متر، مقاومت ویژه‌ی لایه‌ی آهک‌رس ۱۰۰ الی ۲۰۰ اهم‌متر، و مقاومت ویژه‌ی لایه‌ی آب‌دار کم‌تر از ۱۰ اهم‌متر است. در بعضی از منحنی‌های مقاومت‌ویژه‌ی شلومبرژه در انتهای منحنی بعد از کاهش مقاومت‌ویژه (که در تفسیر به لایه‌ی آبدار نسبت داده شد)، افزایش مشاهده شد (لایه‌ی مقاوم).

نتیجه‌گیری

برای احداث بند زیرسطحی باید شرایط خاصی باشد. بند زیرسطحی نباید محور قنات را قطع کند و بر آب‌دهی آن تأثیر گذارد. علاوه بر این، بسترهای آب‌رفتی نباید منطبق بر ساختارهای خطی مانند گسل‌ها باشد. از نظر زمین‌شناسی هم احداث بند زیرسطحی در

سازندهای زمین‌شناسی که نفوذپذیر نیست (شرایط تشکیل آبخوان را ندارد)، گنبدهای نمکی یا املاح فراوان دارد (مانند منطقه‌های کویری)، امکان‌پذیر نیست. محدوده‌ی توانمند ساخت بند زیرسطحی شامل زمین‌های صنعتی و مسکونی نیست. به همین دلیل در مکان‌یابی باید به این منطقه‌ها توجه کرد.

تولید کمینه‌ی مقدار و کیفیت آب باید در حوزه‌ی بالادست بازه‌ها مناسب باشد و آب زیرزمینی کافی در بستر آبراه‌ها باشد. برای مکان‌یابی اولیه‌ی بند زیرسطحی، خشکه‌رودهای منطقه‌های گرمسیری استان که پستی‌بلندی و جغرافیای طبیعی آن‌ها مناسب احداث بند بود با بررسی نقشه‌های پستی‌بلندی و تصویرهای ماهواره‌یی شناسایی، و از میان آن‌ها شش گزینه از آبراه‌هایی که در نزدیکی روستا و زمین کشاورزی بود انتخاب شد. روش FUZZY-AHP بی اطمینانی در رتبه‌بندی عمل‌کردها و تصمیم‌های روش AHP را از بین برده است. منطق فازی کمک کرد که ابهام در قضاوت‌ها قالب‌بندی شود و به زبان ریاضی درآید. نتایج عیسوی و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که روش Fuzzy-AHP انعطاف‌پذیری بیش‌تر و توان بیش‌تری در مشخص‌کردن منطقه‌های مناسب برای سد زیر زمینی دارد.

به‌طورکلی نتیجه‌ی اولویت‌بندی نشان داد که با توجه به وزن معیارهای بررسی‌شده بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی گزینه‌ی تنگ نایاب (۰/۴۱) در رتبه‌ی اول، گدار تختی (۰/۳۷) در رتبه‌ی دوم، و اولویت خان‌احمد کم‌ترین بود. بررسی نتیجه‌ی مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار نیز نشان داد که آب‌گذری و جنس سنگ کف (۰/۲۵) بیش‌ترین اولویت را داشت، و بعد از آن‌ها به ترتیب ضخامت آب‌رفت، عرض دره، لایه‌بندی، روان‌آب، شیب دره، شیب حوزه و مساحت حوزه بود. فوستر و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی اقتصادی سدهای زیرزمینی در برزیل مهم‌ترین مشکل ساخت سدزیرزمینی را به‌ترتیب ناشی از اشتباه در انتخاب محل سد (که نتیجه‌ی ناکافی بودن پتانسیل ذخیره است)، ناکافی بودن عمق قرارگیری لایه‌ی نفوذناپذیر، داشتن خاکی با نفوذپذیری کم، و ویژگی نامناسب خاک که باعث شور شدن آب سد می‌شود دانستند. در پژوهش‌های چزگی و همکاران (۲۰۰۹) شیب و زمین شناسی مهم‌ترین عامل‌ها در مکان‌یابی دانسته شد، و عیسوی و همکاران (۲۰۱۲) جریان زیرسطحی، شیب و زمین‌شناسی را مهم‌ترین معیارهای موثر بر احداث بند زیرسطحی نشان دادند. نتیجه‌ی بررسی‌های زمین‌فیزیکی از مقاومت الکتریکی لایه‌های مختلف در محور سد نشان‌دهنده‌ی این بود که با عمیق‌تر شدن ژرفاسنجی‌ها مقدار مقاومت ویژه نیز تغییر کرد، به‌طوری‌که در لایه‌های سطحی (آب‌رفت‌های درشت‌دانه) مقاومت الکتریکی ۴۰۰–۳۰۰ اهم‌متر بود، در لایه‌ی رسی به ۲۵ اهم‌متر در لایه‌ی آهک‌رسی ۲۰۰–۱۰۰ اهم‌متر، و در لایه‌ی آبخوان به کم‌تر از ۱۰ اهم‌متر رسید. نتیجه‌ی منحنی‌های مقاومت‌ویژه شلومبرژه نیز نشان داد که در بخش انتهایی برخی از منحنی‌ها بعد از کاهش مقاومت‌ویژه (که به لایه‌ی آب‌دار نسبت داده شد) افزایش مشاهده شد، که به دلیل بودن لایه‌ی مقاوم در آن است.

نتیجه‌ی این تحقیق با دوسانتز گومز و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. آن‌ها با انجام‌دادن بررسی‌های تکراری مقاومت الکتریکی نشان دادند که مقاومت الکتریکی لایه‌ی آب‌دار کم است، و لایه‌ی با مقاومت زیاد نشان‌دهنده‌ی خصوصیت سنگ‌های زیرزمینی عمیق است. به‌کاربردن سایر روش‌های تصمیم‌گیری برای تعیین بهترین نقطه‌های احداث بندهای زیرسطحی، گرفتن معیارهای بیش‌تر مانند لایه‌بندی زمین در محل محور سد، و ارزیابی اثر بند زیرسطحی بر میزان ذخیره‌ی آب زیرزمینی و تراز ایستابی پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

Chezgie J, Moradi HR, Kheirkhah M. 2009. Locating suitable sites for dam underground construction using multi-criteria decision-making method with emphasis on water resources (Case study west of Tehran Province). Watershed Science and Engineering. 13: 65–68.

Iran Meteorological Organization. 2019. Datasheet for climatology stations of the Province of Kohgiloyeh and Boyerahmad.

Esavei V, Karami J, Alimohamadi A, Niknezhad A. 2012. Comparison the AHP and fuzzy AHP decision making methods in underground dam site selection in Taleghan basin. Scientific Quarterly Journal. Geosciences. 22 (85): 27–35.

Foster S, Azevedo G, Baltar A. (2002). Subsurface dams to augment groundwater storage in basement terrain for human subsistence-brazilian experience.Universidad Federal.82: 49–56.

Golmaie H, Ashtiani Moghaddam AH. 2005. Subsurface dams for small-scale water storage, Mazandaran University Press. 97 p.

Gomes JL, Vieira FP, Hamza VM. 2018. Use of electrical resistivity tomography in selection of sites for underground dams in a semiarid region in southeastern Brazil.Groundwater for Sustainable Development.7: 232–238.

Heydari H, Shahriari S. 2011. Location of underground dam in Garmab river basin Golestan Research Station. Journal of Geographical Research, 26 (1): 131–148.

HosseinKhalifa M, LashkariPour GR, Hosseini Marandi H, Baghiani Baghshahi MR. 2013. Locating dam underground of Lamerd Pasband. 8th conference Society of Engineering Geology and Environment. 15 and 16 November 2013, Ferdowsi University of Mashhad. 8 p.

Hut R, Ertsen M, Joeman N, Vergeer N, Winsemius H, Giesen N. 2008. Effects of sand storage dams on ground water levels with examples from Kenya. Journal of Physics and Chemistry of the Earth. 33(1-2): 56–66.

Karimi Mobarakabadi M. 2012. Model for determination the optimum location of subsurface dam using analytical hierarchy process (AHP). Journal of Advances in Environmental Biology. 6 (3): 1292–1297.

Kharazi P, Yazdani MR, Ara H, Khazealpour P. 2017. Suitable identification of underground dam locations, using decision-making method (Case study: Kavir Plain watershed). Journal of Geographical Information. 26 (103): 177–185.

Miladi B, Maleki A, Ahmadi M. 2019. Location of underground dam Construction using decision support system (DSS) in Northwest Kermanshah Province. Quantitative Geomorphology Research. 8 (1): 34–51.

Ministry of Energy. 2019. Annual precipitatin datasheet for the Province of Kohgiloyeh and Boyerahmad.

Nilsson A. 1988. Groundwater dams for small-scale, Intermediate Technology Publications Ltd., London, 66 p.

Pirmoradian R, Behbahani SMR, Nazarifar MH, Velayati S. 2013. Early zoning of suitable locations for construction of subsurface dam in Ivanki Plain. First National Conference on Water and Agricultural Resources Challenges. Irrigation and Drainage Association of Iran - Islamic Azad University of Khorasgan Branch Isfahan. 9 p.

Tabatabai Yazdi C. Nasiri M. 2000. Underground dams way to for drought compensation, First National Conference on Strategies for Dealing with Water Scarcity and Drought, Isfahan. Islamic Azad University of Khorasgan. pp. 546–

Watershed Management Research

VOL. 34, No. 1, Ser. No: 130, Spring 2021, pp. 2 -15

DOI: 10.22092/wmej.2020.341606.1310

An Assessment of Different Factors on the Location the Subsurface dams in the Province of Kohgiloyeh and Boyerahmad

Majid Khazaei

(Corresponding Author)* Assistant Professor, Forests, Rangelands and Watershed Management Engineering, Department,Kohgiluyeh & BoyerahmadAgricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yasuj, Iran

Mirmsoud Kheirkhah Zarkesh

Associate Professor, Soil Conservationand WatershedManagement Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Mohammad Reza Mirzaei

Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Yasuj University, Yasuj, Iran

Iman Saleh

Assistant Professor, Forests, Rangelands and Watershed Management Engineering, Department,Kohgiluyeh & BoyerahmadAgricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yasuj, Iran

Farahnaz Azizi

Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding Author Email: khazayi64@gmail.com

Received: 19 January 2020 Accepted: 30 May 2020

Abstract

Water shortage in the arid and semi-arid regions has necessitated subsurface dam construction for groundwater storage. The aim of this study was to determine the appropriate locations for subsurface dam construction using a set of field, laboratory and software methods in the arid and semi-arid regions of the provinces of Kohgiluyeh and Boyerahmad. Six axes were selected by examining the topographic maps and the drainage network. The most important factors influencing the subsurface dam construction were selected. Using the average expert opinion benefitting from a questionnaire and employing the FUZZY-AHP method, suitable places for subsurface dam construction were prioritized. Considering the geophysical studies, the characteristics of the affected strata were determined. The results of prioritization of suitable locations for subsurface dam construction showed that the Tang Nayab with a weight of 0.41 holds the top ranking. The study of the results of the most important factors affecting in subsurface dams construction indicated that water supply and bed-rock with a combined weight of 0.25 is the most effective factor in subsurface dam construction. The results of geophysical surveys also indicated that the alluvium strata had an electrical resistance of 300 to 400 ohm-meter. The results of geophysical surveys indicated that the alluvium thickness in selected site is 5 m.

Keywords: Fuzzy analysis, groundwater, hierarchical, subsurface dam, the Province of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad