نشریه علمی- پژوهشی

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

سال هفتم- شماره ۲۲- پاییز ۱۳۹۲ Vol. 7, No. 22, Fall 2013

تعیین مناطق مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی کوچک به منظور تغذیه و کنترل آبدهی قنوات با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

مسعود عشقی زاده[1] و نادر نورا[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۰٤/۰۱

چکیده

قنات یک سامانه استخراج آب بصورت دایم است واین یکی از معایب اصلی آن است. سدهای زیرزمینی یک روش ساده و کاربردی برای جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشند. دراین مطالعه بمنظور تعیین محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی بر روی قنات از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است.این مطالعه موردی بر روی قنوات یکی از زیرحوزه‌های کلات شهرستان گناباد انجام گرفت. در روش ارایه شده، ابتدا با تلفیق لایه‌های محدوده‌های گسلی و سنگ‌شناسی، بستر آبرفتی، شیب، مناطق مسکونی و قنوات در محیط GIS، ۳۷ درصد طول قنوات حوزه به عنوان بازه‌های دارای توان اولیه جهت احداث سد زیرزمینی تعیین گردید. سپس با ترسیم تغییرات ارتفاع سطح بستر، ارتفاع کف کوره قنات، ارتفاع سنگ بستر، عرض بستر و عمق آبرفت در ۱۲ بازه مناسب تعیین شده، ۸ محل پیشنهادی جهت احداث سد زیرزمینی بر روی قنوات مشخص شد. در مرحله بعد به کمک معرفی نمایانه جدیدی به نام نمایانه ظرفیت آبرفتی، از بین نقاط پیشنهادی محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی بر روی قنات تعیین گردید. سپس جهت تعیین بهترین نقطه و اولویت‌بندی نقاط مناسب، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و قضاوت کارشناسی استفاده شد. نتایج حاصل ازاین مطالعه نشان داد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی قادر است با درنظرگرفتن معیارهای کمی و کیفی درنظرگرفته شده برای احداث سدهای زیرزمینی بر روی قنات، محل‌های مناسب برای‌این منظور را تعیین نماید.

۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه یزد
Masoud_eshghizadeh@yahoo.com
۲- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مرتع و آبخیزداری

واژه‌های کلیدی: قنات، سد زیرزمینی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، حوزه آبخیز کلات گناباد

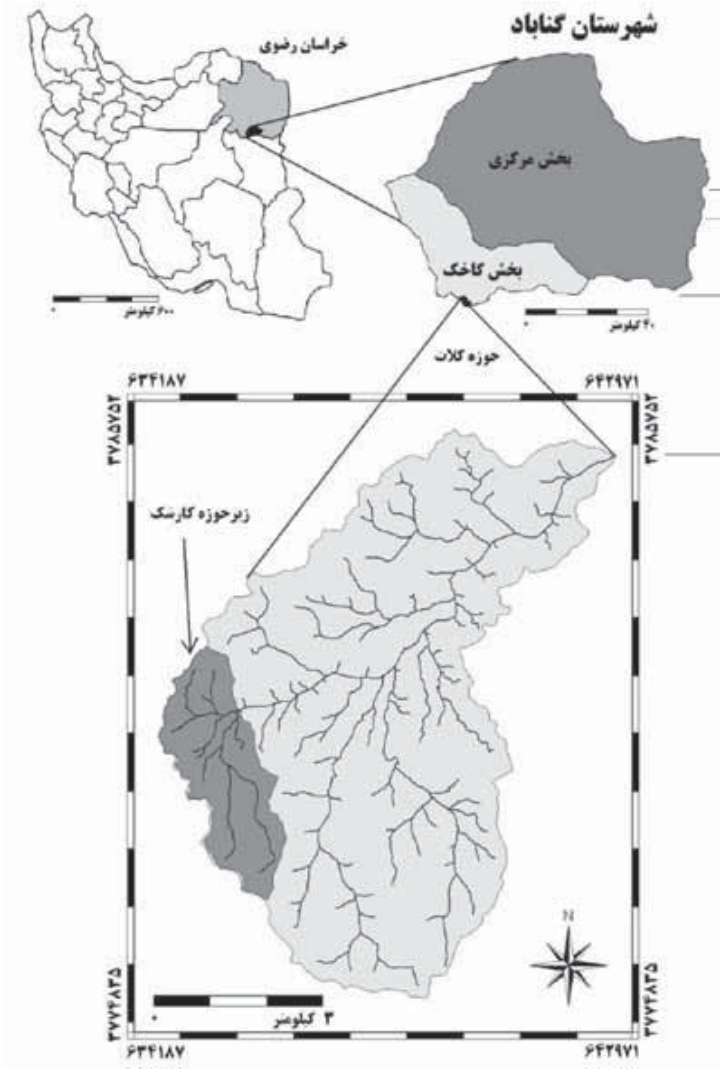
مقدمه

قنات یا کاریز یکی از قدیمی‌ترین و هوشمندانه‌ترین سامانه‌های بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی است که می‌تواند مقادیر قابل توجهی از آب‌های زیرزمینی را جمع‌آوری و بدون هیچ کمکی و تنها با استفاده از نیروی ثقل به سطح زمین برساند. بدون شک‌ایرانیان نخستین ملتی هستند که با شناخت کامل از چگونگی تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی با حفر قنات، استخراج آب‌های زیرزمینی را به روش اصولی آغاز کردند [۱۳]. با تمام اهمیتی که قنات در کشور ما داشته و دارد، تاکنون هیچ اقدام اساسی در جهت استفاده از فناوری‌های جدید برای اصلاح، احیاء، بازسازی، نگهداری و رفع معایب و حل مسائل قنات در دنیای امروزی صورت نگرفته است [۱۱].

قنات یک سامانه استخراج آب بصورت دایم و غیر مهار شده است و جریان آب آن به‌طور معمول دایمی و غیر قابل کنترل است و قسمت اعظم آب آن در فصول غیر زراعی به هدر می‌رود واین مسئله یکی از بزرگ‌ترین معایب قنات است [۹ و ۲۳].این مشکل به‌ویژه در مورد قنواتی که در مسیر آبراهه‌های کوهستانی احداث شده‌اند بیشتر مشهود است.این قنوات کوتاه، سطحی و دارای تغییرات آبدهی فصلی می‌باشند و به اصطلاح به آنها هوابین گفته می‌شود. میزان آبدهی‌این قنوات در فصول بارندگی به طرز محسوسی بالا می‌رود و در سایر فصول میزان آبدهی آنها کاهش می‌یابد [۱]. با توجه به‌این که قسمت اعظم بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک کشور ما در فصل سرد سال است و از طرفی نیاز به آب آبیاری دراین فصل به حداقل مقدار خود می‌رسد حدود ۷ تا ۸ ماه از سال، آب قنوات در مناطق کوهستانی به هدر می‌رود [۱ و ۹].

سدهای زیرزمینی یک روش ساده و کاربردی برای جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب در مناطق خشک و نیمه خشک است.این سدها در بستر رودها و به‌طور ارجح خشکه رودها ساخته می‌شوند و به‌طورعام تا سنگ بستر ادامه می‌یابند. با بکارگیری‌این روش جریان‌های زیر سطحی رودخانه بوسیله سد متوقف شده و در مخزن آبرفتی بستر رودخانه تشکیل یک سفره آب زیرزمینی محدود می‌دهد [۱٤].

ترکیب فناوری سدهای زیرزمینی با قنات می‌تواند روش نوینی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی- سیاسی زیرحوزه کارشک

برای حل مشکل کم آبی ارایه نماید. دراین گونه مناطق می‌توان با استفاده از سدهای زیرزمینی از هدر رفتن جریان‌های کم آب زیرزمینی از داخل آبرفت‌های کم عمق جلوگیری کرده و به داخل قنات هدایت نمود [۱۰]. احداث سدهای زیرزمینی بر روی قنات به منظور مدیریت، حفظ و بهره‌برداری بهینه از جریان‌های زیرسطحی وایجاد منابع آبی کوچک می‌تواند یک راه حل اقتصادی و اجرایی دراین مناطق محسوب گردد.این فناوری می‌تواند مکمل سامانه‌های بهره‌برداری سنتی باشد [۲۳]، اما اجرای‌این طرح بر روی هر قناتی امکان‌پذیر نیست. معیارها و عوامل مختلفی در انتخاب قنوات مناسب برای‌این منظور و تعیین محل مناسب سد زیرزمینی بر روی آنها دخیل می‌باشند. با توجه به‌این که بررسی و تعیین همه‌این نقاط مستلزم صرف وقت و هزینه بسیاری است، توسعه یک روش ساده و ارزان برای تعیین محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی بر روی قنوات به‌منظور تغذیه و کنترل آبدهی آنها ضروری است.

تاکنون روشی برای تعیین مناطق مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی کوچک به منظور تغذیه و کنترل آبدهی قنوات هوابین تدوین نشده است و تنها درمورد مکانیابی سدهای زیرزمینی پژوهش‌های انجام گرفته است. به‌منظور تعیین مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی با استفاده از سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری، خیرخواه زرکش و همکاران [۱۲] مطالعه‌ای بر روی دامنه‌های شمالی کوه‌های کرکس انجام دادند. دراین پژوهش جهت شناسایی مناطق مناسب، با حالت سلسله مراتبی، سه مرحله شناسایی محدوده‌های دارای پتانسیل، تعیین مناسب‌ترین محور و ارزیابی و اولویت‌بندی محورها صورت گرفت. نتیجه‌این مطالعه نشان داد که سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری(DSS)[1] به همراه بازدیدهای صحرایی نقش موثری در کاهش هزینه‌ها و زمان تعیین نقاط مناسب احداث سدهای زیرزمینی داشته و روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) ابزاری توانمند جهت مرتب کردن معیارها در ساختار

1 - decision support system

درخت تصمیم‌گیری است. در پژوهشی دیگر فورزیئری[1] و همکاران [٦] روش انتخاب نقاط مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی کوچک در مناطق خشک، با یک مطالعه موردی در منطقه کیدال مالی را بررسی نمودند. انتخاب نقاط مناسب طی سه مرحله شامل شناسایی نقاط از طریق تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های بزرگ مقیاس، انتخاب کیفی نقاط شناسایی شده بر اساس ویژگی‌های کارکردی و زمین شکل شناسی و مرحله سوم اولویت‌بندی نقاط با روش تصمیم‌گیری چند معیاره انجام گرفت. نتیجه حاصل نشان داد،این روش، یک روش کلی برای تعیین نقاط مناسب جهت احداث سدهای زیرزمینی بوده و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های بزرگ مقیاس ابزارهای با ارزشی برای تجزیه و تحلیل زمینی مقدماتی و ویژگی‌های زمین ساختی است و بااین روش زمان و هزینه ارزیابی بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

بدین جهت هدف ازاین پژوهش معرفی یک روش مناسب که هم نمایانه‌های مورد نیاز برای احداث سدهای زیرزمینی و هم نمایانه‌های مورد نیاز برای کنترل آبدهی و تغذیه قنات را در نظر می‌گیرد، محل‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی بر روی قنوات تعیین گردند. با تعیین‌این نقاط ارزیابی‌های تفضیلی‌تر می‌تواند بر روی آنها متمرکز گردد. بدین ترتیب علاوه براین که در وقت و هزینه صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای می‌شود، احتمال شکست‌این طرح‌ها به حداقل خواهد رسید.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

زیرحوزه کارشک یکی از زیرحوزه‌های آبخیز کلات شهرستان گناباد است.این زیرحوزه در ۳۵ کیلومتری جنوب شهر گناباد در استان خراسان رضوی واقع شده است. حوزه کارشک ۵۰۰ هکتار وسعت داشته و از لحاظ پستی و بلندی کوهستانی بوده و شیب‌های بین ۳۰ تا ٦۰ درصد در آن شیب‌های غالب را تشکیل می‌دهند. حداکثر ارتفاع حوزه ۲۵۹۱ متر در یکی از خط الراس‌های مرزی و حداقل ارتفاع در محل خروجی حوزه برابر با ۱۹۲۰ متر است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی – سیاسی حوزه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. متوسط بارندگی سالانه‌این حوزه ۲۹۲ میلیمتر است و دارای اقلیم نیمه خشک سرد می‌باشد. سازندهای زمین شناسی حوزه مورد مطالعه به‌طورعمده شیل و ماسه سنگ‌های ژوراسیک است.

تنها منبع تامین کننده آب شرب و کشاورزی، ۷ رشته قنات با مجموع طول ۱۰٤۷ متر می‌باشد.

جمع‌آوری داده‌ها

در روش ارایه شده دراین پژوهش برای جمع‌آوری داده‌ها و تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از نقشه‌های پایه پستی و بلندی:۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی۱۰۰۰۰۰:۱، مطالعات میدانی و عکس هوایی، استفاده شد.

روش پژوهش

روشی که دراین پژوهش ارایه می گردد دارای چهار مرحله اصلی زیر است: ۱- شناسایی و تعیین قنوات و بازه‌های مناسب آنها برای احداث سد زیرزمینی ۲- تعیین محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی بر روی بازه‌های مناسب تعیین شده ۳- ساخت مدل سلسله مراتبی جهت اولویت بندی نقاط مناسب و تعیین بهترین محل برای احداث سد زیرزمینی ٤- بررسی نقاط انتخاب شده از طریق قضاوت کارشناسی

شناسایی و تعیین قنوات و بازه‌های مناسب آنها

در روش ارایه شده ابتدا قنوات مناسب و طولی از آنها که دارای پتانسیل برای احداث سد زیرزمینی هستند، تعیین و شناسایی می‌گردند. برای‌این منظور لازم است ویژگی‌های مورد نیاز برای احداث سدهای زیرزمینی و ویژگی‌های مورد نیاز برای قنواتی که امکان تغذیه و کنترل آبدهی آنها وجود دارد، با هم ترکیب گردند.

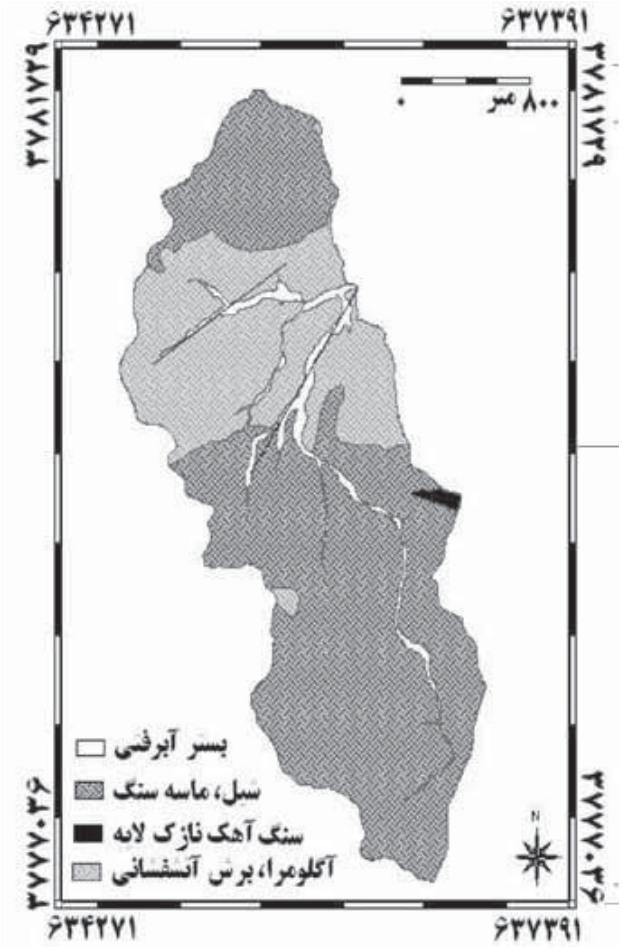
قنوات به‌طور معمول در مناطقی احداث شده‌اند که به علت کمبود و پراکنش نامناسب بارندگی، جریان‌های سطحی دایمی وجود نداشته و با کمبود آب مواجه هستند. بنابراین ضرورت احداث سدهای زیرزمینی در مناطق دارای قنات از نظر اقلیمی قابل توجیه است. همچنین در محل‌های دارای قنوات فعال، وجود جریان‌های زیرزمینی به‌طور کامل مسلم است. لذا ویژگی‌های مورد نیاز جهت شناسایی و تعیین قنوات مناسب برای احداث سد زیرزمینی در روش ارایه شده شامل:

– زمین شناسی: وجود یک بستر آبرفتی با ضخامت مناسب به عنوان یک مخزن زیرزمینی جهت ذخیره آب از ضروریات احداث سدهای زیرزمینی است. علاوه براین، محل‌هایی که لایه‌ی آبرفتی بوسیله یک لایه سنگ نفوذناپذیر محدود نشده است، باید از فهرست محل‌های دارای قابلیت احداث سد زیرزمینی حذف گردند. علاوه براین محل‌هایی که گسل در طول قنات و یا به موازات آن در داخل بستر رودخانه واقع است بدلیل فرار و نشتی آب از محل گسل و شکستگی، آن قسمت از قنات جهت احداث سد زیرزمینی مناسب نمی‌باشد [٦، ۱۸ و ۱۹]. شکل (۲) نقشه زمین شناسی حوزه مورد مطالعه را نشان می دهد.

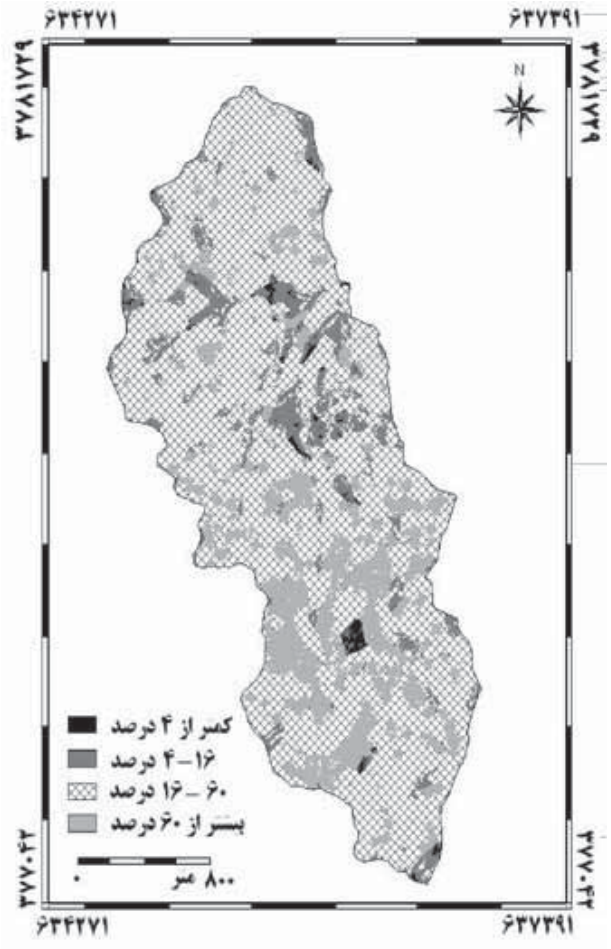
– شیب: شیب محل احداث یک سد زیرزمینی در حدود ۰/۲ تا ٤ درصد در نظر گرفته می‌شود، اما در مواردی حداکثر شیب‌های ۱۰ تا ۱٦ درصد نیز انتخاب می‌گردند [۷ و ۲۱]. شکل (۳) نقشه شیب حوزه مورد مطالعه را نشان می دهد.

-مناطق مسکونی: در صورتی که کاربری سطح مخزن مسکونی باشد، احتمال آلودگی آب ذخیره شده در پشت سد زیرزمینی در اثر فاضلاب‌های خانگی بسیار بالا می‌رود. علاوه براین احتمال، وجود خسارت به ساختمان‌ها و سازه‌ها نیز وجود دارد؛ لذا احداث‌این سدها در محل‌های مسکونی مناسب نیست. شکل (٤) نقشه مناطق مسکونی حوزه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1 - G. Forzieri



شکل ۲- نقشه زمین شناسی حوزه کارشک



شکل ۳- نقشه شیب حوزه کارشک

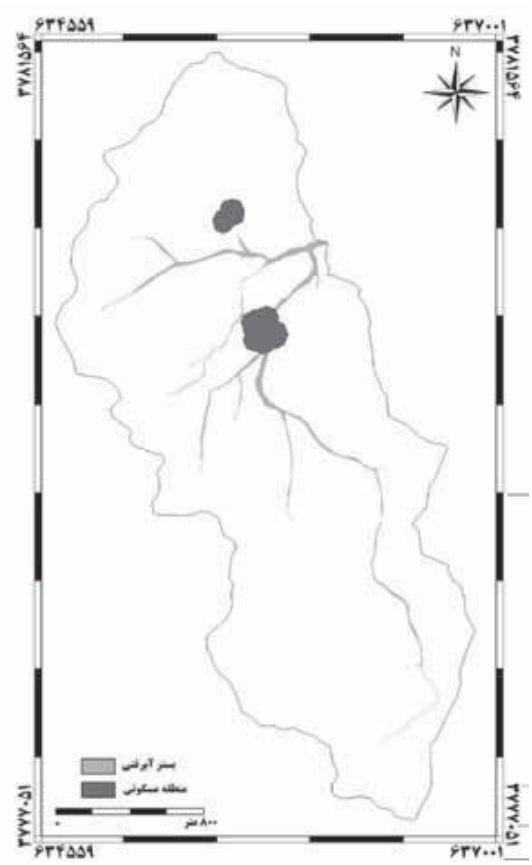
– قنوات: برای‌این منظور آن دسته از قنواتی مناسب هستند که در درجه اول در داخل آبرفت بستر رودخانه‌ها و آبراهه‌ها حفر شده باشند، عمق مادر چاه آنها، کم باشد و همچنین آبدهی آنها حاصل جریان‌های زیرسطحی موجود در بستر رودخانه‌ها و آبراهه‌ها بوده باشد. شکل (۵) نقشه قنوات حوزه مورد مطالعه را نشان می دهد.

بر اساس ویژگی‌های در نظر گرفته شده، لایه‌های اطلاعاتی محدوده‌های گسلی، سنگ شناسی، بستر آبرفتی، شیب، منطقه مسکونی و قنوات تهیه شد. سپس کلیه لایه‌ها به شبکه سلولی با ابعاد ۱×۱ متر در نرم‌افزار الویس ۳ تبدیل گشت. سپس هر یک از لایه‌ها به نقشه ۰ و ۱ (بولین[1]) که ۱ منطبق بر محل‌های مناسب و ۰ منطبق بر محل‌های نامناسب برای احداث سد زیرزمینی بر روی قنات است، تبدیل گردید. لایه‌های تبدیل شده به بولین (۰ و ۱) با استفاده از توابع شرطی و عملیات منطقی از طریق بکارگیری عملگر ضرب (and) در نرم‌افزار الویس۳ با هم ترکیب گردید. بدین ترتیب پیکسلی که ارزش عددی ۱ داشته باشد نشان دهنده قنات مناسب جهت احداث سد زیرزمینی خواهد بود

1 - Boolean

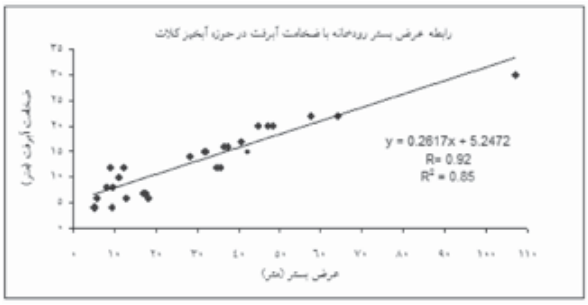
تعیین محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی بر روی بازه‌های مناسب قنوات

دراین مرحله محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی بر روی بازه‌های مناسب تعیین شده، مشخص می‌گردد. برای‌این منظور تغییرات ارتفاع سطح بستر، ارتفاع کف کوره قنات، ارتفاع سنگ بستر، عرض بستر و عمق آبرفت در طول هر بازه مناسب قنات بررسی و ترسیم گردید. برای ترسیم تغییرات ارتفاع بستر، با توجه به تهیه مدل رقومی ارتفاع حوزه در محیط الویس۳، مقادیر ارتفاعی بستر آبرفتی در طول هر بازه، از مدل رقومی ارتفاع حوزه استخراج و بر اساس آن تغییرات ارتفاع بستر آبرفتی در طول هر بازه ترسیم گردید. برای ترسیم تغییرات ارتفاع کف کوره قنات در هر قنات، با داشتن ارتفاع کف کوره در محل مظهر که برابر با ارتفاع سطح بستر در آن محل است و مشخص بودن عمق مادر چاه، ارتفاع کف کوره در محل مادر چاه تعیین و با محاسبه اختلاف ارتفاع کف مادر چاه با مظهر و طول قنات، شیب متوسط کوره قنات محاسبه گردید. با توجه به‌این که شیب کوره قنات به‌طورمعمول یکنواخت یا با تغییرات جزیی همراه است می‌توان شیب کف کوره قنات را برابر با



شکل ٤- نقشه مناطق مسکونی حوزه کارشک

شکل ٥- نقشه قنوات حوزه کارشک

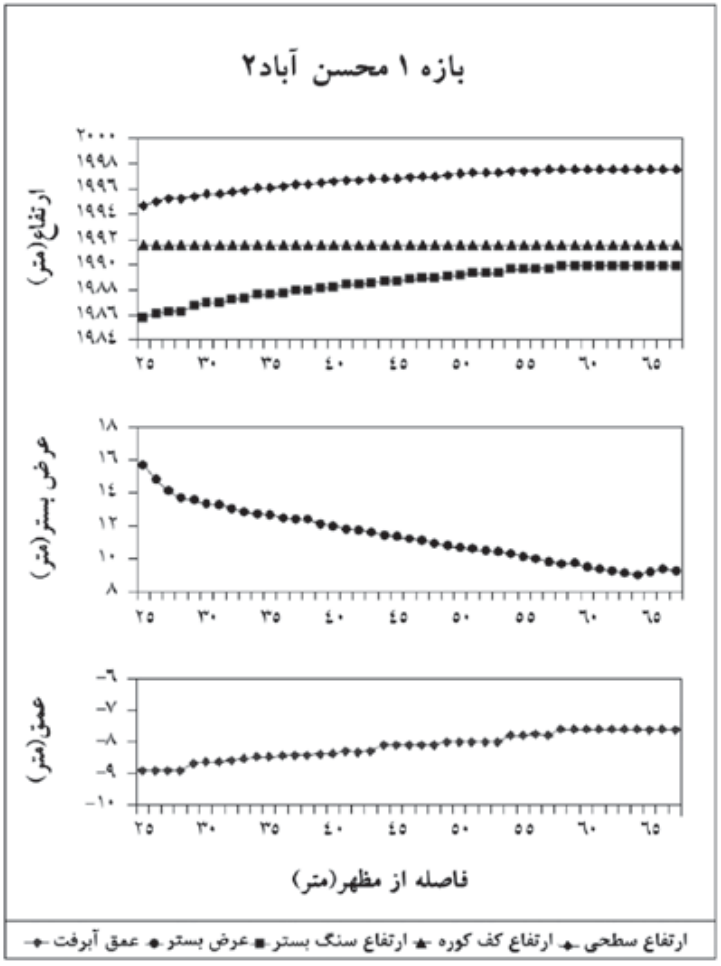


شکل ٦- رابطه‌ی عرض بستر با عمق آبرفت در حوزه آبخیز کلات

شکل ۷- تبعیت شیب سطحی از شیب سنگ بستر حدفاصل دو مادر چاه

شیب متوسط کف کوره در نظر گرفت. [۱ و۹]، بدین ترتیب با تعیین فاصله هر نقطه کوره قنات با مظهر یا مادر چاه و در نظر گرفتن شیب متوسط کف کوره، ارتفاع کف کوره در آن نقطه تعیین و تغییرات ارتفاع کف کوره در طول هر بازه ترسیم گردید.

برای ترسیم تغییرات ارتفاع سنگ بستر در طول بازه، با داشتن مقادیر ارتفاع سطح بستر و پس از تهیه نقشه عمق آبرفت، برای هر نقطه در طول هر بازه ارتفاع سنگ بستر محاسبه شد. و بر اساس آن تغییرات ارتفاع سنگ بستر در طول هر بازه ترسیم گردید. برای ترسیم تغییرات عمق آبرفت در طول بازه ابتدا نقشه عمق آبرفت برای کل حوزه کلات و زیر حوزه‌های آن بصورت زیر تهیه گردید. بر اساس بررسی‌ها و گزارش‌های تهیه شده از مالکین و مقنیان بومی حوزه کلات، از ۳۸ قنات موجود در حوزه، ۳۵ قنات مادرچاه آنها



شکل۸ - تغییرات ارتفاع، عرض بستر و عمق آبرفت در طول بازه ۱ قنات محسن آباد۲ حوزه کارشک

تا سنگ بستر حفر شده است. بدین معنی که عمق مادر چاه آنها را می‌توان به عنوان عمق آبرفت یا عمق قرار گیری سنگ بستر در نظر گرفت. بنابراین ۳۵ نقطه در سطح حوزه با پراکنش مناسب وجود دارد که همانند ۳۵ گمانه، عمق سنگ بستر و ضخامت آبرفت آن مشخص است.

با توجه به رابطه عرض دره و عمق آبرفت در ریخت‌شناختی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، با برقرار نمودن یک رابطه بین عرض دره و عمق آبرفت می‌توان عمق سایر نقاط را در طول بسترهای آبرفتی تعیین نمود [۲، ٦ و ۱۷]. برای برقرار نمودن‌این رابطه بین عرض دره و عمق آبرفت، عرض دره از محل بستر بصورت خط عمود بر جهت جریان در هر یک از ۳۵ نقطه اندازه‌گیری گردید. سپس همبستگی آن با عمق آبرفت مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به همبستگی ۹۲ درصدی عرض بستر و عمق آبرفت، یک رابطه‌ی خطی بین عرض بستر و عمق آبرفت تعیین شد. شکل (٦) رابطه‌ی عرض بستر با عمق آبرفت را در حوزه آبخیز کلات را نشان می‌دهد.

دقت مقادیر برآورد شده عمق، با استفاده از مقادیر شیب سطحی و شیب سنگ بستر کنترل گردید. شیب سنگ بستر، حدفاصل دو مادر چاه متوالی از طریق محاسبه اختلاف ارتفاع سنگ بستر و فاصله بین آن دو تعیین گردید و برای سایر نقاط از تبعیت شیب سطحی و شیب سنگ بستر از یکدیگر استفاده شد. تبعیت شیب سطحی از شیب سنگ بستر در فواصل بین دو مادر چاه متوالی حوزه کلات مورد بررسی قرار گرفت. برای‌این منظور شیب سنگ بستر، حدفاصل دو مادر چاه متوالی با مقادیر شیب سطحی حدفاصل همان دو مادر چاه مقایسه گردید. شکل (۷) زیر تبعیت شیب سطحی از شیب سنگ بستر حدفاصل دو مادر چاه متوالی را در حوزه آبخیز کلات نشان می‌دهد.

بدین ترتیب در طول بسترهای آبرفتی حوزه کلات، در هر نقطه با تعیین عرض بستر و رابطه خطی بدست آمده عمق بستر آبرفتی محاسبه گردید و با استفاده از مقادیر شیب‌های سطحی و سنگ بستر و فاصله با نقطه قبلی کنترل گردید؛ سپس با تعیین نقاط کافی در طول بسترهای آبرفتی، با استفاده از الویس ۳، مدل رقومی عمق آبرفت برای حوزه مورد مطالعه تهیه شد.

با تهیه مدل رقومی عمق آبرفت حوزه، بیشترین عمق آبرفت در مقطع عرضی بستر به فواصل ۱ متری از هم در طول هر بازه، از مدل

رقومی عمق آبرفت استخراج و بر اساس آن تغییرات عمق آبرفت در طول هر بازه ترسیم گردید.

برای بررسی تغییرات عرض بستر در طول هر بازه، عرض بستر بصورت خط عمود بر جهت جریان به فواصل ۱ متری از هم در طول هر بازه با استفاده از عکس هوایی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ و نقشه بستر آبرفتی حوزه در محیط الویس ۳ محاسبه شد و تغییرات آن در طول هر بازه ترسیم گردید.

شکل (۸) نمونه‌ای ازاین تغییرات را در طول یک بازه نشان می دهد.

پس از تعیین تغییرات ارتفاع، عرض بستر و عمق آبرفت در طول هر بازه، محل‌های پیشنهادی احداث سد زیرزمینی با توجه به ویژگی‌های تعریف شده زیر تعیین گردید.

الف) فاصله کف کوره قنات تا سنگ بستر کمترین مقدار باشد: از آنجایی که در سدهای زیرزمینی احداث شده بر روی قنوات به‌منظور تغذیه و کنترل آبدهی آنها، محل استخراج آب ذخیره شده در پشت سد، کوره قنات است، آب ذخیره شده در آبرفت پایین‌تر از کف کوره قابل زهکشی و استحصال به کمک قنات نبوده و به عنوان حجم مرده تلقی می‌گردد. بنابراین نقاطی در طول بازه‌ها جهت احداث سد زیرزمینی مناسب خواهند بود که پس از احداث سد کمترین حجم مرده در مخزن سد راایجاد نمایند.

ب) مقطع عرضی دره یا رودخانه کوچک باشد:این ویژگی در هنگام ساخت امکان انسداد بهتر در کف و کناره‌های بستر راایجاد نموده و بر مقاومت سد نیز می‌افزاید. علاوه براین مهم‌تر از همه باعث کاهش ابعاد سازه شده که‌این امر بطور قابل توجهی هزینه احداث را کاهش می‌دهد [٦ و ١٥].

ج) آبرفت با عمق مناسب و تغییرات شیب کم و مثبت در بالادست آن نقطه وجود داشته باشد: از آنجا که آب در داخل رسوبات آبرفتی پشت سد ذخیره می‌گردد، شناخت مناطقی که دارای حداکثر انباشتگی رسوبات هستند؛ می‌توانند به عنوان محل‌هایی که دارای حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی آب می‌باشند به حساب آیند [٢١ و ١٥].

براین اساس نقاطی که به عنوان محل‌های پیشنهادی احداث سد زیرزمینی تعیین گردید، حداقل دارای یکی از شرایط زیر است:

– هر سه ویژگی مورد نیاز برای تعیین محل‌های پیشنهادی احداث سد زیرزمینی در طول یک بازه را داشته باشد.

– حداقل دو ویژگی مورد نیاز برای تعیین محل‌های پیشنهادی احداث سد زیرزمینی در طول یک بازه را داشته باشد.

– بیشترین همبستگی را حداقل با دو ویژگی مورد نیاز برای تعیین محل‌های پیشنهادی احداث سد زیرزمینی داشته باشد.

پس از تعیین نقاط پیشنهادی برای تایید نهایی و شناسایی نقاط مناسب‌این نقاط، هر یک از نقاط پیشنهادی با استفاده از یک نمایانه به نام نمایانه ظرفیت آبرفتی مورد بررسی قرار گرفت و نقاطی که نمایانه ظرفیت آبرفتی آن از متوسط کل نقاط بالاتر بود به عنوان نقاط مناسب جهت احداث سد زیرزمینی بر روی قنوات تعیین گردید [٦].

نمایانه ظرفیت آبرفتی به عنوان نسبت حجم آب ذخیره قابل استحصال در اثر احداث سد زیرزمینی بر روی قنات به حجم سازه تعریف می‌گردد [٦]. برای محاسبه نمایانه ظرفیت آبرفتی حجم آب ذخیره قابل استحصال در اثر احداث سد زیرزمینی بر روی قنات و حجم سازه (دیواره سد) در هر نقطه پیشنهادی تعیین گردید. با تعیین حجم کل، حجم مرده و آبدهی ویژه مخازن برای هر نقطه پیشنهادی جهت احداث سد زیرزمینی بر روی قنات، حجم آب ذخیره قابل استحصال از رابطه (۱) تعیین گردید [٧، ١٦ و ٢٠].

رابطه (۱)
$$V_{S(e)}(m^3)=\frac{\left[V_T(m^3)-V_d(m^3)\right]\times S_y(\%)}{100}$$

$V_{s(e)}$ = حجم آب ذخیره شده قابل استحصال

V_T = حجم کل مخزن

V_d = حجم مرده مخزن

S_y = آبدهی ویژه مواد آبرفتی مخزن

رابطه (۲)
$$S_y(\%)=\frac{V_{drain}(m^3)}{V_t(m^3)}\times 100$$

S_y = آبدهی ویژه نمونه

V_{drain} = حجم آب زهکشی شده از نمونه پس از رسیدن به حالت اشباع

V_t = حجم کل نمونه

حجم سازه برای هر یک از نقاط پیشنهادی با استفاده از رابطه (۳) تعیین گردید [٣، ٥، ٦، ١٦ و ٢٠].

رابطه (۳)
$$V_d(m^3)=\frac{\left[L_u(m)\times W_u(m)\right]+\left[L_b(m)\times W_b(m)\right]}{2}\times h(m)$$

V_d = حجم سازه

L_u = طول فوقانی سازه

W_u = عرض (ضخامت) فوقانی سازه

L_h = طول تحتانی سازه

W_b = عرض (ضخامت) تحتانی سازه

h = ارتفاع سازه

پس از برآورد حجم آب ذخیره قابل استحصال و حجم سازه برای هر یک از نقاط پیشنهادی نمایانه ظرفیت آبرفتی از رابطه (٤) برای هر نقطه پیشنهادی محاسبه گردید.

رابطه (٤)
$$AC=\frac{V_{S(e)}(m^3)}{V_{dam}(m^3)}$$

AC = نمایانه ظرفیت آبرفتی

$V_{S(e)}$ = حجم آب ذخیره شده قابل استحصال

V_{dam} = حجم سازه

جدول ۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی [۸]

ترجیحات (قضاوت شفاهی)		مقدار عددی
به‌طورکامل مرجح یا به‌طورکامل مهم‌تر و مطلوبتر	Extremely Preferred	۹
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	Very Strongly Preferred	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	Strongly Preferred	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوبتر	Moderately Preferred	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	Equally Preferred	۱
ترجیحات بین فواصل فوق		۸، ٦، ٤، ۲

جدول ۲- قنوات و بازه‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی در حوزه آبخیز کارشک

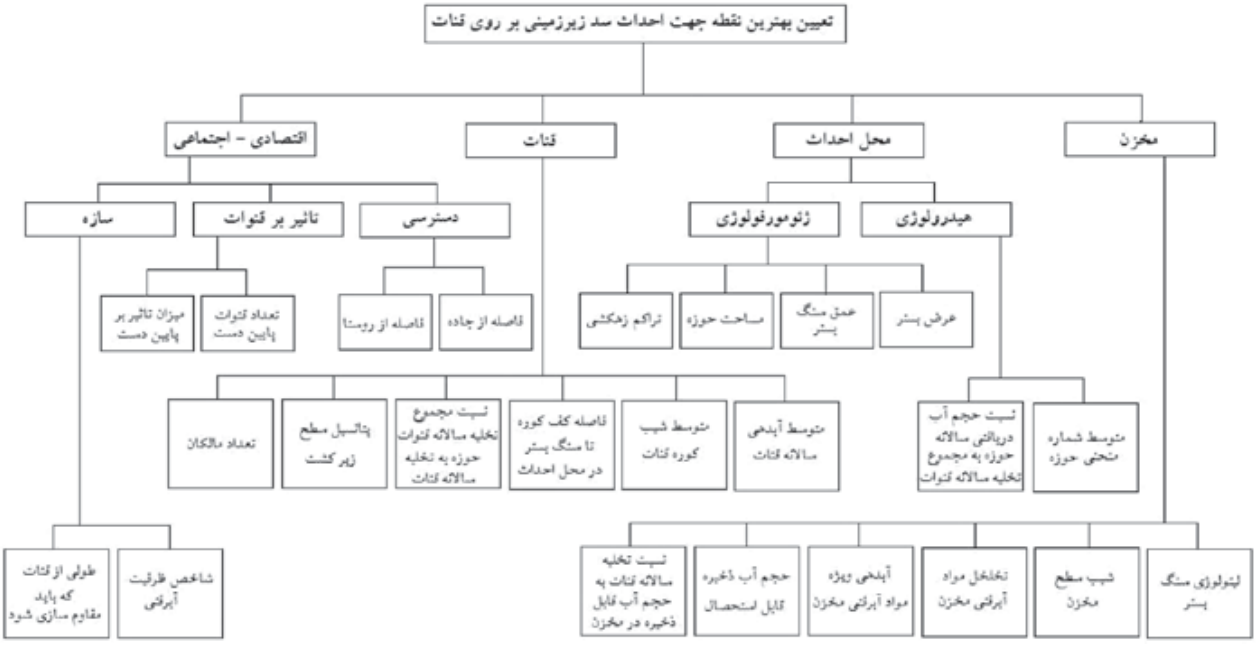
شماره قنات	نام قنات	کد شناسایی بازه	طول بازه(متر)
۱	محسن آباد ۲	۱-۱	٤۲/۲٥
		۱-۲	۸/۰٦
		۱-۳	۱۳۷/۹٦
۲	عباس آباد کارشک	۲-۱	٥
۳	تک لان سفلی	۳-۱	٦/۷۹
٤	کارشک علیا	٤-۱	۹٥/۳٤
		٤-۲	۷/۷٦
٥	تک لان علیا	٥-۱	۸/٦٦
٦	شهاب	٦-۱	۷/۷۷
		٦-۲	۳۷/٦٦
		٦-۳	٥/۹۲
		٦-٤	۲٤/٤۲

ساخت مدل سلسله مراتبی بمنظور تعیین بهترین نقطه و اولویت بندی نقاط مناسب

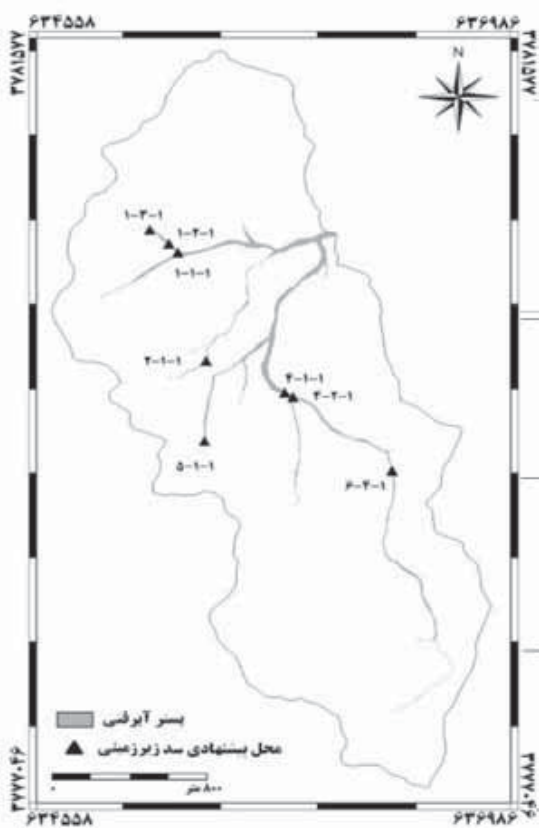
برای این منظور ساخت سلسله مراتبی در نرم‌افزار EC (Expert choice) از سطح صفر یا هدف شروع شده و به سمت سطوح پایین‌تر سلسه مراتبی یعنی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها توسعه یافت. در سطح صفر مدل، هدف سلسله مراتبی که تعیین بهترین نقطه جهت احداث سد زیرزمینی بر روی قنات است، وارد گردید. سپس در سطح اول، ٤ معیار اصلی شامل مخزن، محل احداث، قنات و مسایل اقتصادی- اجتماعی وارد مدل شد. در سطح دوم، زیرمعیارهای هر یک از معیارهای سطح اول وارد شد و در سطح سوم زیرمعیارهای آن دسته از معیارهای سطح دوم که دارای زیرمعیارهای دیگری نیز می‌باشند، وارد مدل رتبه‌بندی گردید. در پایین‌ترین سطح نیز نقاط مناسب تعیین شده بعنوان گزینه‌های مورد نظر وارد گردید.

بررسی نقاط انتخاب شده از طریق قضاوت کارشناسی

دراین مرحله برای تعیین وزن هر یک از معیارهای سطح اول، دوم، سوم و گزینه‌ها، از قضاوت کارشناسان اجرایی و متخصصان دانشگاهی استفاده گردید. برای‌این منظور هر یک از کارشناسان اجرایی و متخصصان دانشگاهی بصورت فردی نظریات خود را در مورد اهمیت نسبی معیارها در مقایسه زوجی معیارها نسبت به سطح بالاتر و با توجه به جدول (۱) بیان داشته و اهمیت هر معیار از طریق محاسبه میانگین هندسی نظرات داده شده برای آن معیار،



شکل ۹- معیارها و زیرمعیارها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت اولویت‌بندی و تعیین بهترین محل احداث سد زیرزمینی



شکل ۱۰- نقاط پیشنهادی جهت سد زیرزمینی بر روی قنوات حوزه کارشک

شکل ۱۱- نقاط مناسب احداث سد زیرزمینی بر روی قنوات حوزه کارشک

جدول ۳- مشخصات نقاط پیشنهادی جهت احداث سد زیرزمینی بر روی قنوات حوزه آبخیز کارشک

کد نقطه	حجم کل مخزن (m^3)	حجم مرده مخزن (m^3)	آبدهی ویژه مواد آبرفتی (٪)	حجم آب ذخیره قابل استحصال (m^3)	طول قوقانی سازه (m)	طول تحتانی سازه (m)	ضخامت فوقانی سازه (m)	ضخامت تحتانی سازه (m)	ارتفاع سازه (m)	حجم سازه (m^3)
۱-۱-۱	۷۵٤۰/۸۳	۸۳٤/۹۹	۵/۱۵	٤/۱۰۳۹	۵/۸	۱	۱	۸/۳	٦/٦	۵۹/٤۰
۱-۲-۱	۷۰۸۲/٦۳	۷۷۲/۲۷	۵/۱۵	۱/۹۷۸	٤/۱۰	۵	۱	۸/۳	٦/٦	۰۲/۹۷
۱-۳-۱	۳۱۹/۳٤	۰	۵/۱۵	٤۹/٤۹	۹/۵	۱	۱	۳	۵	۲۵/۲۲
۱-۱-۲	۱۷٤/۱۵	۰	٦/۱۳	٦۸/۲۳	۲/۵	۵/۰	۱	۲	۳	۳/۹
۱-۱-٤	۱۸۵۷٦/۷	۸۵۰۲/۹۸	۱۳	۵۸/۱۳۰۹	۱۳	٦	۱	۵/۵	۱۰	۲۳۰
۱-۲-٤	۱۳۳۰۱/۳۷	۳۲٦۷/٦	۱۳	۳۹/۱۳۰٤	٤/۲۸	۱۵	۱	۳/۷	۱۳/۵	۸۲/۹۳۰
۱-۱-۵	۲۲٤/۵۷	۰/۰۲	٦/۱۳	۵۳/۳۰	۸/٦	٤	۱	٤	۷	۸/۷۹
۱-٤-٦	۲۸۰۹/٤۱	۸۳۱/۹	۱۳	۰۷/۲۵۷	۳/۵	۵/۰	۱	۷/۳	٦/۳	۵۲/۲۲

جدول ٤- مقادیر نمایانه ظرفیت آبرفتی نقاط پیشنهادی

شماره شناسایی نقطه	مختصات	فاصله از مظهر(متر)	ضخامت آبرفت(متر)	شاخص ظرفیت آبرفتی
۱-۱-۱	(٦۳۵۲۵٤/۹۵،۳۷۸۰۳۳۵/۱۷)	٦٤/۲	۷/٦	۲۵/٦۰۷
۱-۲-۱	(٦۳۵۲٤۵/۷٤، ۳۷۸۰۳٤٤/٤٦)	۷٦/٤	۷/۵۵	۱۰/۰۸۱
۱-۳-۱	(٦۳۵۱۳۹/٤۳، ۳۷۸۰٤۳۷/۸۸)	۲۲۲	٦	۲/۲۲٤
۱-۱-۲	(٦۳۵٤۲٦/۹٤، ۳۷۷۹٦٦۳/۱۹)	٦۲/۵۲	٤	۲/۵٤٦
۱-۱-٤	(٦۳۵۸۳۷/۰۲، ۳۷۷۹٤٦۳/۲۳)	۷۰	۱۱	۵/٦۹۳
۱-۲-٤	(٦۳۵۸٦۲/۷٤، ۳۷۷۹٤۵۲/٤٤)	۹۰/۵	۱٤/۵	۱/٤۰۱
۱-۱-۵	(٦۳۵٤۱۷/۲۰، ۳۷۷۹۱۸۹/۲۰)	۱۲۳/۱۵	۸	۰/۳۸۲
۱-٤-٦	(٦۳٦۳۷۷/۰۹، ۳۷۷۹۰۱۲/٤۲)	۱۰٦/٤	۷/۲۵	۱۱/٤۱٤

با هم ترکیب گردید و بر اساس آن برای هر گروه از معیارهای هر سطح، ماتریس عددی مقایسات زوجی محاسبه و بصورت ماتریس اعداد وارد مدل گردید. برای تعیین وزن نقاط نیز، وزن هر نقطه با استفاده از مقایسه زوجی نسبت به هر معیار سطح بالاتر نقاط محاسبه و وارد مدل گردید. بدین ترتیب پس از وارد کردن هر ماتریس مقایسه زوجی، مدل نموداری از وزن‌ها را به نمایش در آورده و نرخ ناسازگاری را نشان می‌دهد. در حالت کلی اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد ناسازگاری قابل قبول است و در صورتی که بیش ازاین مقدار باشد، باید در قضاوت‌های صورت گرفته بازنگری گردد [٤، ۸، ۲۰].

نتایج

شناسایی و تعیین قنوات و بازه‌های مناسب آنها برای احداث سدهای زیرزمینی

دراین مرحله از طول هر قنات قسمت‌هایی که شرایط در نظر گرفته شده در کلیه لایه‌ها را دارا بودند، شناسایی و هر یک ازاین قسمت‌ها به عنوان یک بازه مناسب جهت احداث سد زیرزمینی تعیین گردید و یک شماره شناسایی بصورت شماره بازه- شماره

جدول ۵- وزن هر یک از معیارها و زیر معیارها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین بهترین محل احداث سد زیرزمینی بر روی قنات در حوزه کارشک

مخزن (۰/۰۶)					
جنس سنگ بستر (۰/۱۲۳)	شیب سطح مخزن (۰/۰۳۲)	تخلخل مواد آبرفتی مخزن (۰/۰۶)	آبدهی ویژه مواد آبرفتی مخزن (۰/۱۸۸)	حجم آب ذخیره قابل استحصال (۰/٤٤٦)	نسبت تخلیه سالانه قنات به حجم آب قابل ذخیره در مخزن (۰/۱۵۲)
محل احداث (۰/۰۹۵)					
آب‌شناختی (۰/۲۵)			زمین ریخت‌شناختی (۰/۷۵)		
نسبت حجم آب سالانه دریافتی حوزه هر سد به مجموع حجم تخلیه سالانه قنوات داخل آن حوزه (۰/۸۵۷)	متوسط شماره منحنی حوزه (۰/۱٤۳)	عرض بستر (۰/۳۳٤)	عمق سنگ بستر (۰/٤۸٦)	مساحت حوزه (۰/۱۱۳)	تراکم زهکشی (۰/۰٦۷)
قنات (۰/۳۷۲)					
متوسط آبدهی سالانه قنات (۰/۱)	متوسط شیب کوره قنات (۰/۰۳۳)	فاصله کف کوره تا سنگ بستر در محل احداث سد (۰/٤۳۸)	نسبت مجموع تخلیه سالانه قنوات داخل حوزه قنات به تخلیه سالانه قنات (۰/۰٤٦)	قابلیت سطح زیرکشت (۰/۱۲۲)	تعداد مالکان (۰/۲۵۹)
اقتصادی- اجتماعی (۰/٤۷۳)					
دسترسی (۰/۲٦۸)		تاثیر بر قنوات (۰/٦۱٤)		سازه (۰/۱۱۷)	
فاصله از جاده (۰/۸)	فاصله از روستا (۰/۲)	تعداد قنوات پایین‌دست (۰/۲)	میزان تاثیر بر قنوات پایین‌دست (۰/۸)	نمایانه ظرفیت آبرفتی (۰/۸)	طول قنات داخل مخزن که باید مقاوم سازی گردد (۰/۲)

قنات به آن داده شد. جدول (۲) بازه‌های مناسب قنوات حوزه کارشک را جهت احداث سد زیرزمینی نشان می دهد.

تعیین محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی بر روی بازه‌های مناسب قنوات

با در نظر گرفتن شرایط بیان شده در مرحله دوم روش پژوهش، در طول‌این ۱۲ بازه، درمجموع ۸ نقطه به عنوان محل‌های پیشنهادی احداث سد زیرزمینی تعیین گردید و به هر نقطه یک شماره شناسایی بصورت شماره نقطه-شماره بازه-شماره قنات داده شد. شکل (۱۰) محل‌های پیشنهادی احداث سد زیرزمینی بر روی قنوات حوزه کارشک را نشان می‌دهد. سپس با توجه به روابط (۱) تا (٤) بیان شده و مشخصات نقاط پیشنهادی تعیین شده مطابق جدول (۳)، مقادیر نمایانه ظرفیت آبرفتی نقاط پیشنهادی تعیین گردید که در جدول (٤) نشان داده شده است. براین اساس متوسط شاخص ظرفیت آبرفتی نقاط، ۷/٤۱۸ است که سه نقطه ۱-۱-۱، ۱-۲-۱ و ۱-٤-٦ نمایانه ظرفیت آبرفتی بالاتری ازاین مقدار دارند و درنتیجه بعنوان نقاط مناسب‌تر از بین نقاط پیشنهادی تعیین شدند. شکل (۱۱) نقشه نقاط مناسب احداث سد زیرزمینی بر روی قنات را در حوزه کارشک نشان می‌دهد.

ساخت مدل سلسله مراتبی بمنظور تعیین بهترین نقطه و اولویت بندی نقاط مناسب

در مرحله سوم جهت تعیین بهترین محل احداث سد زیرزمینی بر روی قنات از بین نقاط مشخص شده در مرحله دوم، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ابتدا مدل سلسله مراتبی‌ایجاد گردید. شکل (۹) مدل سلسله مراتبی و معیارها و زیرمعیارهایی که برای اولویت‌بندی نقاط مناسب جهت احداث سد زیرزمینی بر روی قنوات در نظر گرفته شدند را نشان می دهد.

بررسی نقاط انتخاب شده از طریق قضاوت کارشناسی

وزن معیارها، زیرمعیارها و نقاط مناسب از طریق قضاوت کارشناسی و با استفاده از مقایسات زوجی بیان شده در روش کار

جدول ٦- نتایج نهایی اولویت‌بندی نقاط مناسب احداث سد زیرزمینی جهت تغذیه و کنترل آبدهی قنوات حوزه کارشک با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

اولویت	شماره محل احداث	وزن نهایی	نام قنات	مختصات
۱	۱-٤-٦	۰/٤٤۱	شهاب	(٦٣٦٣٧٧/۰۹، ۳۷۷۹۰۱۲/٤۲)
۲	۱-۱-۱	۰/۳۰٤	محسن آباد ۲	(٦۳٥۲٥٤/۹٥، ۳۷۸۰۳۳٥/۱۷)
۳	۱-۲-۱	۰/۲٥٥	محسن آباد ۲	(٦۳٥۲٤٥/۷٤، ۳۷۸۰۳٤٤/٤٦)

تعیین گردید. جدول (٥) وزن هر یک از معیارها و زیر معیارها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین بهترین محل احداث سد زیرزمینی بر روی قنات در حوزه کارشک را نشان می دهد. سپس وزن نهایی هر نقطه در نرم‌افزار EC (Expert choice) محاسبه گردید و مشخص شد که نقطه ۱-٤-٦ بیشترین وزن را در بین نقاط دارد واین نقطه بعنوان بهترین محل احداث سد زیرزمینی بر روی قنات به‌منظور تغذیه و کنترل آبدهی قنات تعیین گردید. جدول (٦) نتایج نهایی اولویت‌بندی نقاط مناسب احداث سد زیرزمینی به‌منظور تغذیه و کنترل آبدهی قنوات حوزه آبخیز کارشک با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل نشان داد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ابزار مناسبی جهت فرآیند تصمیم‌گیری با معیارهای مختلف است و می‌تواند ابزار مدیریتی مناسبی جهت کمک به تصمیم‌گیری‌ها باشد. به‌ویژه در مواقعی که معیارهای کمی و کیفی متعددی بر تصمیم تاثیرگذار هستند،این ابزار می‌تواند بسیار مفید واقع گردد و به فرآیند تصمیم‌گیری سرعت و دقت بیشتری بخشد. بطوری که دراین پژوهش ٢٤معیار تاثیر گذار بر قنوات و سدهای زیرزمینی جهت تعیین اولویت و وزن نهایی محل‌های مناسب تعیین شده برای احداث سد زیرزمینی در نظر گرفته شد.

نتایج نهایی اولویت بندی نقاط مناسب با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نشان داد محل ۱-٤-٦ بهترین محل جهت احداث است. با مقایسه ویژگی‌های‌این محل با سایر نقاط و در نظر گرفتن حجم آب قابل ذخیره و استحصال و حجم سازه، مشخص شداین محل ازاین نظر در بین نقاط دارای ویژگی خاصی نیست ولی با در نظر گرفتن سایر معیارهای موثر بر آن از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و قضاوت کارشناسی دارای بالاترین اولویت جهت احداث سد زیرزمینی بر روی آن است. بنابراین تنها مسایل اقتصادی در انتخاب نقاط نمی تواند ملاک قرار گیرد بلکه سایر موارد تاثیرگذار و مرتبط بر انها باید جهت برنامه ریزی و تصمیم گیری‌ها در حوزه‌های آبخیز تعیین و در نظر گرفته شوند که دراین راه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می تواند بسیار کارآمد باشد.

همانطور که‌این پژوهش نشان داد مسائل اجتماعی- اقتصادی مربوط به قنات بیشترین وزن را در بین معیارهای موثر بر قنات دارد.این امر به دلیل گستردگی و پیچیدگی مسایل اقتصادی- اجتماعی مربوط به قنات است و اهمیت‌این مسایل را در مناطق دارای قنات نسبت به سایر عوامل نشان می‌دهد.

دراین پژوهش، قنات به عنوان یک معیار اصلی برای مکانیابی سدهای زیرزمینی بکار گرفته شد. نتایج‌این پژوهش نشان می دهد که معیارهای قنات ۳۷/۲ درصد از کل معیارها را به خود اختصاص داده است که نشان دهنده اهمیت قنات و مسایل وابسته به آن را نشان می‌دهد.

یکی از ویژگی‌های‌این روش نسبت به روش‌های ارایه شده برای تعیین محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی، انجام بررسی‌های تفضیلی برای انتخاب نقاط پیشنهادی برای احداث سد زیرزمینی بر روی قنات است. در مطالعه‌ای که فورزیئری و همکاران [٦] برای تعیین محل‌های مناسب احداث سد زیرزمینی انجام داده‌اند، تنها با در نظر گرفتن تغییرات عرض بستر و از طریق عکس‌هوایی، محل‌های پیشنهادی جهت احداث را تعیین نمودند. اما در روشی که دراین پژوهش ارایه گردیده است برای تعیین محل‌های پیشنهادی علاوه بر تغییرات عرض بستر، تغییرات عمق آبرفت، تغییرات شیب سطحی و شیب سنگ بستر و تغییرات ارتفاع کف کوره قنات نسبت به سنگ بستر از طریق سطح مقطع‌های طولی مورد بررسی قرار گرفته است که خود باعث افزایش دقت در انتخاب نقاط پیشنهادی می‌گردد.

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم روش ارایه شده دراین پژوهش نسبت به روش‌های مکان‌یابی احداث سدهای زیرزمینی، دقت بالای مکانی‌این روش است. دراین روش با توجه به عرض قنوات لازم است ابعاد شبکه سلولی ۱ متر در نظر گرفته شود تا امکان تلفیق لایه قنوات با سایر لایه‌ها وجود داشته باشد.این امر باعث افزایش دقت مکانی و تعیین دقیق محل‌های مناسب احداث سد زیرزمینی نسبت به سایر روش‌های مکان‌یابی جهت احداث سد زیرزمینی می‌گردد.

دراین روش سامانه اطلاعات جغرافیایی جهت تهیه، پردازش، تلفیق لایه‌ها و استخراج داده‌ها از لایه‌های تهیه شده، بکار گرفته شده است. نتایج حاصل نشان داد سامانه اطلاعات جغرافیایی ابزاری

مفید و کارآمد در تعیین محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی بر روی قنوات است.

منابع

1- Behnia, A. 2000. Qanat Construction and Qanat Operation, Tehran University press, Second edition, 236 p. (In Persian)

2- Buffington, J.M. Woodsmith, R.D. Booth, D.B. and Montgomery, R. 2003. Fluvial Processes in Puget Sound Rivers and the Pacific Northwest. University of Washington. ISBN: 9780295982953. 46-59 pp.

3- Department of Primary Industries. 2006. Water Efficient Farming. State of Victoria, Australia. 51-62 pp.

4- Drake, P.R. 1998. Using the Analytic Hierarchy Process in Engineering Education. International Journal of Engineering Education. 14(3):191-196.

5- Fenger, Ch. 2006. 40 Green World Actions, 40 manual to improve the environment in rural communities. The GAIA-Movement Trust Living Earth Green World Action. Delhi, India. ISBN: 978-2-9700470-2-5. 36-38 pp.

6- Forzieri, G. Gardenti, M. Caparrini, F. and 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 region of Kidal, Mali. Physics and Chemistry of the Earth. 33:74-85

7- Gezahegne, W. 1986. Sub-Surface flow dams for rural water supply in arid and semi-arid regions of developing countries. M.Sc Thesis. Finland, Tamper University of Technology: Department of Civil Engineering. 77 p.

8- Ghodsipoor, S.H. 2009. Analytic hierarchy process, Amir Kabir Industrial University Press, Fiveth edition, 236 p. (Iin Persian)

9- Iranmanesh, M. 1982. Qanat Reconstruction and rehabilitation and discharge excess, Geological organization press, Third edition, 256 p. (In Persian)

10- Jafari bari, M. 2004. Survey underground dams impress on discharge Qanats. National Conference on Qanat, Gonabad, Abstract. (In Persian)

11- Kardavani, P. 2004. Water Resources and Problems in Iran, First book, surface and Ground Water and their revenue operation problems, Seventh edition, Tehran University Press, 414 p. (In Persian)

12- Kheirkhah Zarkes, M.M. Naseri, H. Davodi, M.H. and Salami, H. 2008. Using analytical hierarchy process for ranking suitable location of groundwater dams construction, case study: Northern slopes of Karkas mountains in Natanz. Pajouhesh & Sazandegi. 79: 93-101. (In Persian)

13- Mohammadi Fatideh, M. 2000. Groundwater extraction, Gilan University press, Second edition, 291 p. (In Persian)

14- Nabipay Lashkarian, S. Tabatabaee Yazdi, J. and Majidi, A. 2006. Water crisis in arid rigoin by use of underground dams, The second conference of water management. Isfahan University of Technology, 1031-1038 pp. (In Persian)

15- Nilsson, A. 1988. Groundwater Dams for small-scale water supply. Intermediate Technology Publications, London. 69 p.

16- Nissen-Petersen, E. 2000. Water from Sand Rivers, A manual on site survey, design, construction, and maintenance of seven types of water structures in riverbeds. Regional Land Management Unit, RELMA/Sida, ICRAF House, Gigiri. Nairobi, Kenya. ISBN: 9966-896-53-8. 42-45 pp.

17- Rosgen, D.L. 2006. River Restoration Using a Geomorphic Approach for Natural Channel Design. Proceeding of the Eighth Federal Interagency Sedimentation Conference. Reno, NV, USA. 1:394-401.

18- Saadati, M. Zolanvar, A. and Asghari, K. 2003. Determine the indices of location to underground dam construction and simulation of flow mathematical model in underground dam. Sixth International Conference on Civil Engineering. Isfahan University of Technology, 369-376 pp. (In Persian)

19- Shafiee, A. and Lashgari, M. 2006. Underground dam a technology to development of Groundwater Resources. The second conference of Applied geology and Environment. EslamShahr Azad University, 411-417 pp. (In Persian)

20- Steiguer, J.E.D. Duberstein, J. and Lopes, V. 2003. The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management. In Proceedings of the First Interagency Conference on Research in the Watersheds, USDA-ARS, Tucson, AZ. 736–740 pp.

21- Tabatabaee Yazdi, J., and Nabipay Lashkarian, S. 2004. Groundwater dams for small – scale water Supply. Tehran. Soil conservation and watershed management

research institute press. 68 pp. (In Persian)

22- Vétérinaires Sans Frontières. 2006. A manual on subsurface dams construction based on an experience of Veterinaires Sans Frontieres in Turkana District, Kenya. Turkana Livestock Development Project. VSF- Belgium. 51 pp.

23- Yazdani, M. Chavooshi, S. Matin, M. and Rahnama, F. 2005. Use of underground dams to recharge a and quifers control of water in qanats, International of Qanat, Kerman, 551-541 pp. (In Persian)