

مدل افزایش آب قنات با استفاده از تلفیق سد زیرزمینی و قنات

مهدی جهانگیر^۱، علیرضا جهانگیر^۲، مصطفی یعقوبزاده^۳، رضا توکلی^۴

همراه: ۰۹۱۵۳۶۲۰۹۲۴ - Mehdi Jahangeer@yahoo.com

چکیده

قنات با قدمت بیشتر از هزار سال روشی آسان، کم‌هزینه و با کیفیت برای استحصال آب زیرزمینی است. امروزه افزایش جمعیت، کاهش نزولات جوی، بروز پدیده خشکسالی و استفاده بی‌رویه از فناوریهای پیشرفته استخراج چون حفر چاه باعث شده آبدهی این سازه آبی به شدت کاهش یافته و در بسیاری از موارد خشک گردد. نظر به اهمیت قنات و نقش حیاتی آن در اقلیم خشک و نیمه خشک بویژه خراسان جنوبی، در این پژوهش تلفیق سازه‌های قنات و سد زیرزمینی به عنوان روشی مناسب برای افزایش آبدهی در قنات جمال واقع در استان خراسان جنوبی مدل گردید. بدین صورت که سازه سد در مرز تره‌کار-خشکه‌کار و عمود بر محور کوره قنات جانمایی شده تا آب زیرسطحی ذخیره شده در مخزن سد توسط کوره قنات تخلیه و به مظهر قنات هدایت گردد. با توجه به میزان بارندگی، بررسی هواشناسی و هیدرولوژی و تهیه نقشه‌های حوضه بالادست قنات در محیط GIS پیشینه سیلاب خروجی از حوضه مشخص گردید. همچنین جریان آب زیرزمینی در بالادست دیواره سد در محیط نرم‌افزاری مدل گردید. نتایج نشان داد اجرای این مدل سبب افزایش آبدهی قنات مورد مطالعه به میزان ۴۵/۴ درصد شده که در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

کلمات کلیدی: قنات، سد زیرزمینی، GIS، MODFLOW

۱ - مقدمه

با افزایش جمعیت و پیشرفت تمدن در ایران باستان، ایرانیان برای اینکه دیگر فقط در محیط تنگ و محدود دره‌ها و پای چشمه‌سارها، به امید بارانهای اتفاقی و یا آبهای جاری موقتی نمانند در چندین هزار سال قبل دست به ابتکار جدیدی زده که آن را «قنات یا کهریز» نام گذارده‌اند. با این اختراع که در نوع خود در جهان تاکنون بی‌نظیر است می‌توان مقدار قابل توجهی از آبهای زیرزمینی را بدون استفاده از نیروهای خارجی و تنها بکمک نیروی ثقل در تمام طول سال به سطح زمین رساند. قنات با قدمت هزارساله‌اش هنوز هم مهمترین و مطلوب‌ترین روش استحصال آب زیرزمینی در روستاها و مناطق مسکونی برای مصارف مختلف می‌باشد که با وجود عواملی چون افزایش جمعیت بهره‌بردار، کم شدن نزولات جوی، خشکسالی‌های پی‌درپی و همچنین استفاده از فناوریهای پیشرفته سنوات اخیر در زمینه استخراج آبهای زیرزمینی، آبدهی آن به شدت تحت تأثیر قرار گرفته و در برخی قنات موجب خشک شدن آب آن گردیده است. لذا نیاز به توجه جدی و ارائه راهکارهای مناسب و نواز سوی کارشناسان امر دارد چرا که سرسبزی و طراوت روستا وابسته به حیات و آبادانی قنات است. در این پژوهش روش تلفیق و استفاده از سازه «سد زیرزمینی» در مسیر قنات و عمود بر جهت جریان آب آبراهه به منظور افزایش میزان آبدهی قنات پیشنهاد شده و مورد بحث قرار می‌گیرد.

- ۱ - کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی و کارشناس شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی
- ۲ - کارشناس ارشد سازه‌های آبی و عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور بیرجند
- ۳ - کارشناس ارشد سازه‌های آبی
- ۴ - کارشناس ارشد منابع آب و کارشناس شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی

۱-۲- سد زیرزمینی

بطور کلی سد زیرزمینی به مانعی اطلاق می‌شود که در مسیر جریان آب درون لایه آبدار طبیعی یا مصنوعی و بمنظور ذخیره یا انتقال آب زیرزمینی ایجاد می‌گردد. در نوشته‌های تخصصی، سد زیرزمینی با نام‌های Subsurface Groundwater Dam، Sand-Storage Dam و Underground Dam، که بیشتر در کشورهای واقع در مناطق گرم و خشک، بخصوص کمربند استوایی و نیمکره جنوبی، با مصالح گوناگون و اهداف مختلف با موفقیت اجرا گردیده و سالهای متمادی است که بهره‌برداری می‌شود.

سد زیرزمینی شامل اجزا و تأسیسات زیر می‌باشد:

- دیواره: بخش اصلی سازه و عامل ممانعت از جریان، ذخیره‌سازی و هدایت به سمت زهکش بوده و روی سنگ بستر یا لایه غیرقابل نفوذ زیرین اجرا می‌شود.

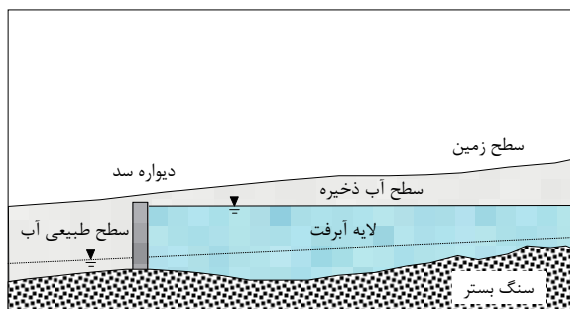
- تجهیزات استخراج آب: عملیات استخراج آب به دو صورت ثقلی و حفر چاه انجام می‌شود. در روش ثقلی با لوله‌ای که از دیواره سد می‌گذرد، آب با نیروی ثقل به مناطق پایین دست هدایت می‌شود. در روش دیگر، استخراج آب توسط چاهی که در مخزن سد قرار دارد انجام شده که برای جلوگیری از تخریب آن توسط سیلاب در کناره رودخانه حفر می‌شود.

- سرریز: بمنظور کنترل بهتر جریان از روی دیواره در فصول پرآب تعبیه شده که بعضاً بصورت یک کانال هدایت کننده در حدفاصل تاج و سطح طبیعی زمین ایجاد می‌گردد.

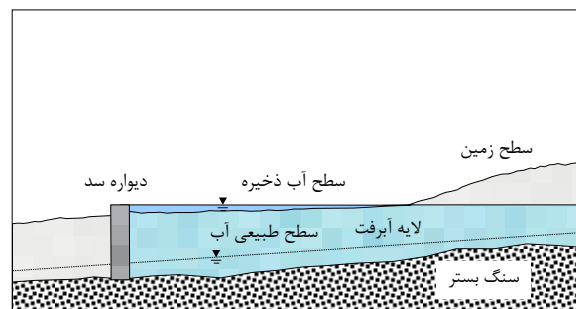
سد زیرزمینی بر اساس موقعیت تاج سد نسبت به سطح طبیعی زمین به دو گونه تفکیک می‌شود:

- سدهای نیمه‌مدفون یا معلق (Submersible Dam): با توجه به شکل (۳)، دیواره بالاتر از سطح زمین نیز امتداد یافته و علاوه بر ذخیره آب در آبرفت بالادست، ایجاد مخزن موقت سطحی نیز می‌نماید، از اینرو برای مقاصد کنترل سیلاب نیز قابل توجه می‌باشد.

- سدهای مدفون یا مستغرق (Submerged Dam): دیواره کاملاً داخل زمین واقع شده و تاج سد پایین‌تر از سطح زمین است بگونه‌ای که آب قادر است بطور زیرسطحی از روی آن عبور نماید. با توجه به شکل (۴)، در این نوع آب فقط در آبرفت بالادست ذخیره خواهد شد.



شکل ۴- برش عرضی سد زیرزمینی مدفون



شکل ۳- برش عرضی سد زیرزمینی نیمه مدفون

مکان یابی محل اجرای سد

با توجه به اینکه احداث سد زیرزمینی در هر نقطه‌ای امکان ندارند، منطقه مورد نظر از نظر اقلیمی باید دارای اقلیم خشک یا نیمه خشک و بارندگی نامنظم یا کم باشد. سد زیرزمینی باید با کمترین هزینه، بیشترین حجم مخزن و نشت کمتری را

داشته باشد. معمولاً با ارتفاعی بین ۳ تا ۶ متر و در محلی که شیب زمین کمتر از ۵٪ است ساخته می شود که این خصوصیت بیشتر در دره ها یا رودخانه های باریک و یکدست یافت می شود. در مواردی شرایط مناسب طبیعی خود مانند یک سد زیرزمینی عمل می کند و اثر سد کنندگی موانع طبیعی (مانند برآمدگی لایه نفوذ ناپذیر بستر) می تواند نقش به سزایی در مکانیابی و صرفه جویی در هزینه ها داشته باشد.

علاوه بر موارد بالا، زمین باید دارای بستر نفوذناپذیر به فاصله کمی از سطح زمین، لایه هایی با خلل و فرج زیاد و ضخامت کافی برای ذخیره مناسب و هر چه بیشتر آب، کمترین فاصله تا محل مصرف، عدم آلودگی آب ذخیره شده توسط فعالیت های انسانی، عدم وجود لایه های نمکی و غیره نیز باشد.

مطالعات مورد نیاز

مقدماتی: در این مرحله از طریق عکسهای هوایی، نقشه های توپوگرافی و زمین شناسی و نقشه های مربوط به حوضه و زیرحوضه ها و دیگر عوارض بهمراه مشخصات حوضه، اطلاعات مورد نیاز حاصل می شود که خود پایه و اساس مطالعات بعدی می باشد. توپوگرافی حوضه باید ترجیحاً دارای یک معبر خروجی آب باشد تا با احداث سد شیب هیدرولیکی و جهت جریان تغییر نکرده و از معبر دیگری خارج نگردد. همچنین کل آب خروجی حوضه به سمت مورد نظر هدایت شود. مطالعه زمین شناسی شامل لیتولوژی (در دو قسمت سنگ کف و دیواره های مخزن برای اطمینان از عدم فرار و گریز آب و از طریق حفر گمانه و انجام آزمایشات صحرائی)، تکتونیک (برای اطمینان از عدم وجود گسل و دیگر گسستگیها و همچنین وضعیت زمین ساختی از طریق آزمایشات ژئوفیزیک) و بررسی آبرفت محل سد (بیشتر ویژگیهای هیدرولیکی شامل ضخامت و جنس لایه با حفر گمانه، سطح آب زیرزمینی در فصول مختلف، آورد سالانه آب زیرزمینی، پیش بینی سیلابهای احتمالی با بررسی بارش و تبخیر حوضه) می باشد.

تکمیلی: همان کنترل نهایی فاکتورهای انتخاب محل اجرای طرح است که شامل بررسی دقیق آب در چاهها و نوسانات فصلی آن - انجام عملیات حفاری با فواصل معین جهت تعیین عمق و خصوصیات سنگ بستر، ضخامت آبرفت و تهیه پروفیل طولی و عرضی آبراهها - آزمایشات پمپاژ و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی T, S, K - تعیین نفوذپذیری دقیق سنگ کف و ضخامت لایه با گرفتن نمونه - بررسی آب بندی دیواره با کف و تکیه گاهها - پیش بینی سیستم استخراج آب است.

روند اجرای سد

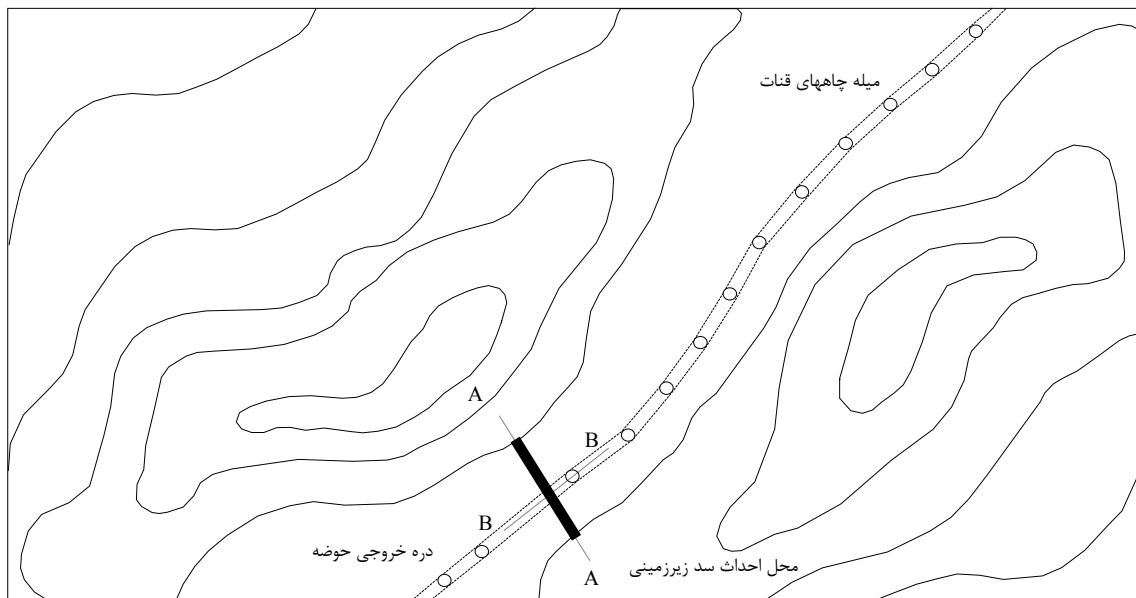
اولین قدم در احداث سد، حفر گودالی عمود بر راه زهکشی یا بستر رودخانه است که به علت عمق کم عملیات اجرایی آن توسط نیروی انسانی انجام می شود. در آبرفت های ماسه ای خشک با خاصیت چسبندگی کم و مناطق شنی به علت ناپایداری شیب ها امکان فروریزی دیواره ترانشه ها وجود دارد و حفاری را با مشکل مواجه می کند با این وجود آبرفت های ماسه ای برای مکان سد مطلوب هستند چون سطح آب زیر زمینی براحتی در آنها دیده می شود. معمولاً زمان احداث سد زیرزمینی در پایان فصل خشک می باشد که سطح آب زیر زمینی پایین می باشد و عملیات اجرایی با سهولت بیشتری همراه خواهد بود. مصالح مصرفی در احداث سد با توجه به منابع قرضه موجود در منطقه، هزینه های مصرفی و سهولت انجام کار تعیین می شود. هر چند از مواد ساختمانی مختلفی برای احداث می توان استفاده کرد و تنها احتیاج به آب بند کردن دیواره سد می باشد. بسته به مصالح مورد استفاده، دیواره به گونه های بتنی، مصالح بنایی (آجر یا سنگ بهمراه ملات)، گابیونی با پوشش رسی، گابیونی با هسته رسی، سنگی با پوشش بتنی، سنگ چین، سپرکوبی، پرده تزریق، لایه های رس متراکم، صفحات پلاستیکی PVC یا پلی اتیلن و غیره قابل اجرا می باشد (Satoshi and et al, 2011)، (Mohamed, M. and et al., 2007)، (طباطبایی یزدی، ۱۳۸۱) و (سیامردی، ۱۳۸۸).

در این پژوهش مدلی با تلفیق دو سازه «سد زیرزمینی و قنات» و احداث سد زیرزمینی در مسیر قنات و عمود بر جهت جریان آب آبراهه خروجی حوضه به منظور افزایش میزان آبدهی قنات ارائه و نتایج آن مورد بررسی قرار می گیرد.

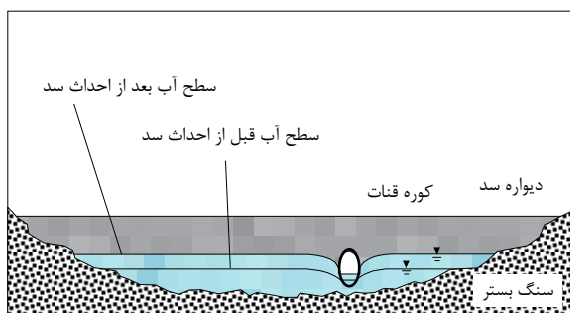
۲- مواد و روشها

۲-۱- مدل پیشنهادی

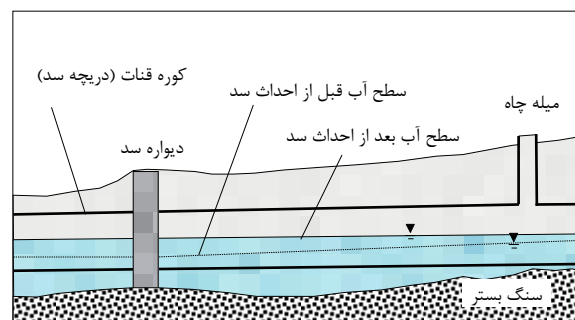
نظر به اینکه آب موجود در یک حوضه آبریز محصول بارشهای منطقه است و قسمت بیشتر آن بصورت جریانهای سطحی و زیرسطحی از مسیر آبراهه اصلی از حوضه بیرون می رود. که ایده احداث قنات در موقعیت دهانه خروجی حوضه می باشد. از طرفی با وجود عواملی چون واقع شدن کوره قنات بالاتر از سنگ بستر، مفهوم حریم قنات و همچنین عرض زیاد آبراهه اصلی، کوره قنات که نقش زهکش حوضه را دارد، فقط تا فاصله مشخصی بر آب خروجی حوضه تأثیر می گذارد. این فاصله به مراتب کمتر از عرض آبراهه می باشد. در این پژوهش، با استفاده از تلفیق سد زیرزمینی به عنوان سازه ذخیره کننده آب زیرزمینی و قنات به عنوان تاسیسات استخراج آب بالادست سد، مدلی ارائه گردید. بدین صورت که یک سد زیرزمینی در قسمت انتهایی ترکار قنات واقع در خروجی حوضه و عمود بر جهت جریان احداث می گردد. این امر سبب جمع آوری، ذخیره و هدایت آبهای بلااستفاده خارج از حریم قنات می شود. افزایش سطح آب زیرزمینی در پشت سد و زیاد شدن هد فشاری موجب افزایش میزان آب زهکشی شده توسط کوره قنات می شود. آب تخلیه شده از طریق کوره به مظهر قنات منتقل شده تا برای مصرفهای مختلف مانند کشاورزی و شرب استفاده گردد. شکل های (۵، ۶ و ۷) نما و برش طولی و عرضی مدل تلفیق سد زیرزمینی و قنات را نشان می دهند.



شکل ۵- نمای موقعیت قنات و سد زیرزمینی



شکل ۷- برش مقطع A-A نمای شکل ۵



شکل ۶- برش مقطع B-B نمای شکل ۵

۲-۲- مطالعه موردی

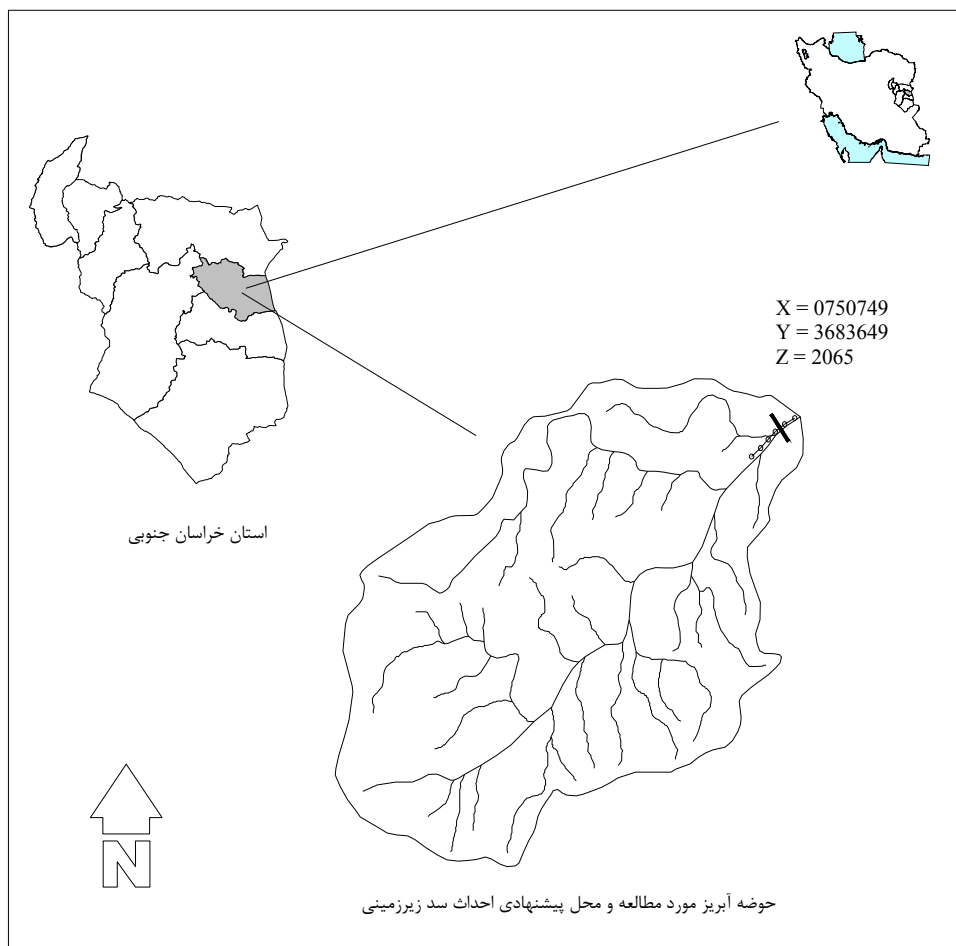
منطقه مورد مطالعه، قنات جمال واقع در شهرستان درمیان از توابع استان خراسان جنوبی می باشد. در اراضی پایین دست این قنات قسمت بیشتر محصولات برداشت شده از نوع باغی و شامل زرشک، بادام و گردو با سطح زیر کشت حدود ۱۲ هکتار می باشد. در جدول (۱) مشخصات فیزیکی سازه قنات مورد مطالعه ارائه شده است:

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سازه قنات مورد مطالعه

طول قنات (متر)	تعداد میله چاه (حلقه)	عمق مادرچاه (متر)	دبی (لیتر بر ثانیه)	سطح زیر کشت (هکتار)
۲۳۶	۸	۱۶	۱/۶۵	۱۲

مشخصات حوضه آبریز

در شکل (۹) نمای حوضه آبریز بالادست قنات و محل پیشنهادی احداث سد زیرزمینی نشان داده شده است.



شکل ۹- نمای حوضه آبریز، قنات و محل سد زیرزمینی مدل پیشنهادی

هواشناسی و هیدرولوژی حوضه آبریز

با توجه به اینکه در این حوضه هیچ گونه ایستگاه باران سنجی و همدیدی وجود ندارد، متوسط آمار درجه حرارت و بارندگی حوضه با توجه به ارتفاع آن و معادله گرادیان دما و بارندگی نسبت به ارتفاع حاصل از ایستگاههای مجاور محاسبه گردیده است. با احتساب متوسط ارتفاع ۲۱۹۵ متر برای این حوضه، میزان بارندگی ۱۵۱ میلی متر و دما ۱۶ درجه سانتیگراد برآورد گردیده که در جدول (۲) به همراه مشخصات فیزیکی آمده است.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی حوضه آبریز مورد مطالعه

مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	حداکثر ارتفاع (متر)	حداقل ارتفاع (متر)	متوسط بارش سالانه (میلیمتر)	متوسط دمای سالانه (درجه سامتیگراد)
۴/۲۳	۲۳۰۴	۲۰۸۶	۱۵۱	۱۶

برای برآورد رواناب سالانه خروجی حوضه با توجه به عدم وجود ایستگاه اندازه گیری آب از روش تجربی جاستین استفاده گردید که بر اساس عملکرد مشابه حوضه ها استوار است. در این روش از آمار حوضه های مجاور ضریب جاستین محاسبه می شود که در این پژوهش با استفاده از محاسبات انجام شده برای مناطق مجاور ضریب ۰/۳ در نظر گرفته شد. با در دست داشتن ارتفاع حداقل و حداکثر حوضه، متوسط بارش و درجه حرارت سالانه حوضه و روابط حاکم بر این روش می توان ارتفاع و حجم رواناب را محاسبه نمود.

$$S = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

$$R = \frac{K.S^{0.155}.P^2}{(1.8T + 32)} \quad (2)$$

$$W = R.K \quad (3)$$

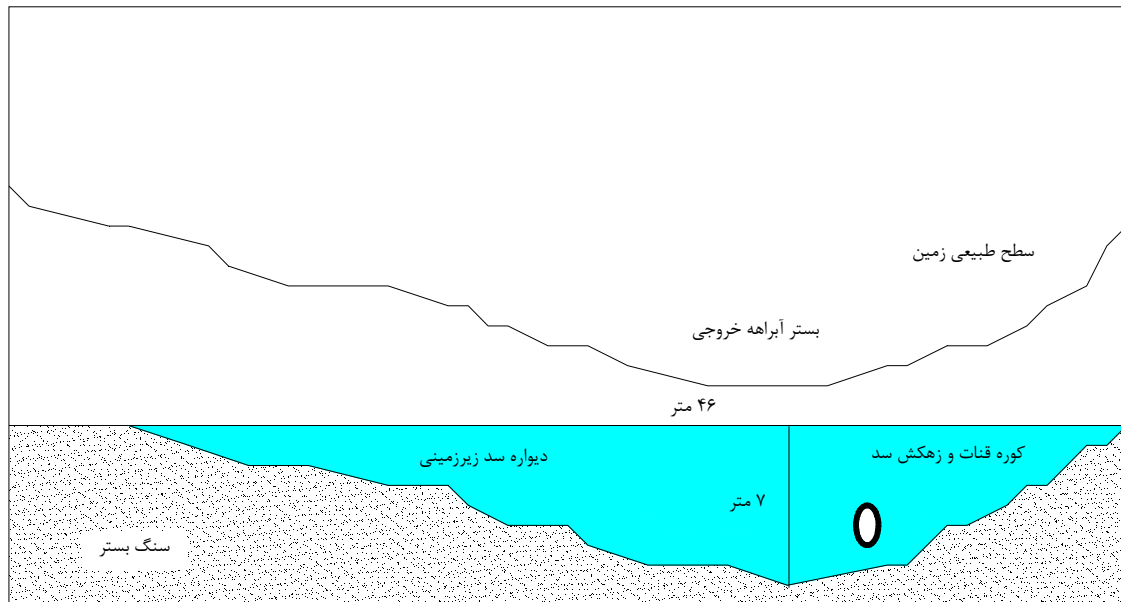
در روابط بالا S متوسط شیب حوضه، R ارتفاع و W حجم رواناب سالانه، P متوسط بارش سالانه، T متوسط دمای سالانه و A مساحت حوضه می باشد.

با توجه به مشخصات فیزیکی حوضه مندرج در جدول (۲)، استفاده از نقشه های آن در محیط ArcGIS و بکارگیری روابط ذکر شده بالا، پارامترهای هیدرولوژی محاسبه و برآورد گردید. در این حوضه رواناب سطحی و زیرسطحی حوضه بالغ بر ۹۵۳۲۲ مترمکعب در سال تخمین زده شد. با توجه به آبدهی فعلی قنات، ظرفیت تخلیه آب حوضه از طریق مظهر آن حجمی معادل ۵۲۰۳۴ متر مکعب در سال می باشد. با وجود شرایط پیشنهاد شده در این مدل بدلیل تخمین برخی از پارامترها، افزایش حداقل ۴۵/۴ درصد آبدهی قنات قابل پیش بینی بوده که در جدول (۳) قابل مشاهده می باشد. زیاد شدن ظرفیت استحصال آب از قنات، سبب افزایش حداقل دو برابری سطح زیر کشت اراضی پایاب می گردد که در خشکسالیهای اخیر از اهمیت ویژه ای برخوردار است (علیزاده، ۱۳۸۹).

جدول ۳- پارامترهای فیزیکی و هیدرولوژی حوضه آبریز مورد مطالعه

متوسط شیب حوضه (درصد)	ارتفاع رواناب (میلیمتر)	ضریب جاستین	حجم رواناب سطحی و زیرسطحی سالانه (مترمکعب)	ظرفیت تخلیه قنات (متر مکعب)	افزایش آبدهی قنات (درصد)
۱۰/۶	۱۱/۳	۰/۳	۹۵۳۲۲	۵۲۰۳۴	۴۵/۴

محل پیشنهادی سد زیرزمینی در دهانه آبراهه خروجی حوضه حدود ۴۶ متر عرض دارد و در این مکان سطح طبیعی زمین از سنگ بستر ۷ متر عمق دارد. شکل (۱۰) برش عرضی آبراهه در موقعیت پیشنهادی احداث سد زیرزمینی را نشان می دهد.



شکل ۱۰- برش عرضی آبراهه در موقعیت پیشنهادی احداث سد زیرزمینی

رفتار هیدرولیکی مدل پیشنهادی نیز با استفاده از نرم افزار MODFLOW با احداث یک حلقه چاه مجازی بجای گالری موجود (کوره قنات) مورد بررسی قرار گرفت که نشان از صحت آمار فوق می باشد (مرآتی و همکاران، ۱۳۸۹).

۳- نتیجه گیری

عامل اصلی تخریب ساختمان اکثر قناتها، واقع شدن آنها در مسیر سیلابهای حوضه بالادست است. احداث سد زیرزمینی و تلفیق آن با قنات، علاوه بر ایجاد منطقه ای امن برای ساختمان قنات می تواند باعث کنترل، جذب و هدایت آنها به منظور استفاده در قنات نیز گردد.

با توجه به سادگی اجرا، پایداری قابل ملاحظه، کم هزینه و اقتصادی بودن این سازه بلحاظ استفاده از مصالح و نیروی انسانی موجود در محل، اجرای آن بخصوص در نواحی خشک و نیمه خشک گرم ضروری بنظر می رسد.

محل پیشنهادی اجرای سد زیرزمینی در موقعیت قنات بایستی دارای تخلخل موثر بالا، وجود یک لایه نفوذناپذیر مناسب و حداکثر امکان کم عمق در کف، جریان ورودی کافی و آبگذری ناچیز از مرزهای اطراف آن باشد.

اجرای این مدل و احداث سد زیرزمینی سبب می شود آب بلااستفاده خارج از حریم قنات ذخیره و به سمت زهکش و دریچه خروجی سد (کوره قنات) هدایت شود که از حیث افزایش آبدهی قنات موجود در خروجی حوضه های آبریز قابل توجه می باشد.

بدلیل جلوگیری از هرزآب بخصوص در حوضه های مرزی، اقدامی مهم در راستای سایر طرحهای هیدرولوژی مانند آبخیزداری و آبخوانداری می باشد.

افزایش آبدهی قنات می تواند پیامدهای مثبتی از جمله افزایش سطح زیر کشت، درآمد و رفاه جمعیت زیر پوشش و کاهش مهاجرت به شهر را در پی داشته باشد که از این حیث نیز قابل تأمل است.

۴- مراجع

منزوی، م.، ت.، "آبرسانی شهری"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۸
علیزاده، ا.، "هیدرولوژی کاربردی"، نشر آستان قدس رضوی، ۱۳۸۹
طباطبائی یزدی، ج.، "بهره برداری از جریانات زیرسطحی در آبراهه های فصلی با استفاده از سدهای زیرزمینی"، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارش تحقیقاتی، ۱۳۸۱
مرآتی، ا.، غفوری، م.، لشکری پور، غ.، قهرمانی، ن.، "بررسی سد زیرزمینی ابیورد"، چهارمین همایش زمین شناسی دانشگاه پیام نور، ۱۳۸۹، ص ۱۵۰-۱۵۹
سیامردی، ک.، "بررسی روشهای مختلف طراحی سدهای زیرزمینی برای ذخیره سازی آبهای زیرزمینی"، هشتمین کنگره بین المللی عمران، ۱۳۸۸

Satoshi, Takeo, T., Shuhei, Y., Masayuki, I., (2011), "Sustainable Use of Groundwater with Underground Dams", <http://www.jircas.affrc.go.jp>, pp. 51-61
Mohamed, M., Gobashy, Mansour, A., (2007), " High Resolution Ground Magnetic Survey (HRGM) for Determining the Optimum Location of Subsurface Dam in Wadi Nu'man Makkah Al Mukarammah, KSA", JKAU: Earth Sci., Vol.19, pp: 57-83