

## تهیه مشخصات هندسی سازه قنات و حذف تبخیر با تغییر شیب بستر (منطقه مطالعه شده: روستای سن سن کاشان)

مهدی ضرابی<sup>۱\*</sup>، صدرا محمودی<sup>۲</sup>، یونس نوراللهی<sup>۳</sup>

۱. استادیار دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

۳. دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۲۹؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۱/۲۷)

### چکیده

بنابر برخی تحقیقات، ایران در بیشترین و شدیدترین خشکسالی ۳۰ سال اخیر خود قرار دارد. حوضه آبریز دشت کاشان جزء مناطق بحرانی است که به علت عدم مدیریت مصرف منابع آب زیرزمینی شاهد افت آب و از بین رفتن تدریجی بخش کشاورزی هستیم. از دیرباز یکی از اختراعات مهم ایرانیان که کارکرد مؤثری در مدیریت منابع آب داشته، قنات بوده است. در این پژوهش سعی شد با بررسی قنات منطقه سن سن در اطراف کاشان گامی در جهت مدیریت منابع آب در منطقه برداشت. ابتدا برای شناخت سازه‌های قنات، عمق چاه‌های نمونه به وسیله قوانین حاکم بر سقوط آزاد به دست آمد. نتایج به دست آمده بیان‌کننده اعتبار نداشتن و کاربردی بودن این روش بود و علت آن به طور کامل تشریح شد. دوباره با استفاده از روش طناب و متر طول چاه‌ها و شیب هیدرولیکی قنات به دست آمد. سپس به ترسیم شماتیک کامل قنات در سه بخش آغازین، میانی و نزدیک مظهر اقدام شد که در نوع خود برای نخستین بار بود. نتایج تغییر شیب روی دبی و تلفات تبخیر بررسی شد که امکان افزایش پنج برابری آب شیرین منطقه را نشان می‌داد.

**کلیدواژه‌گان:** تبخیر، سن سن، شیب هیدرولیکی، قنات.

## مقدمه

آب یکی از ارکان اصلی حیات بشری است به طوری که حیات بدون آن برای موجودات زنده به هیچ وجه قابل تصور نیست. اگرچه کل میزان آب جهان ثابت است، توزیع نامناسب آب در سطح جهان و از همه مهم تر فقدان آب سالم در بسیاری از نقاط جهان نگرانی های زیادی را پیش روی بشر قرار داده است [۱]. حدود ۷۰ درصد از سطح زمین را آب فرا گرفته است، ولی متأسفانه بحران آب در بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای کمربند خشک زمین مثل ایران، به عنوان یکی از دغدغه های اصل فراروی آینده جوامع خواهد بود. نمایه های این بحران امروزه به ویژه در شرایط خشکسالی به خوبی نمایان است [۲]. بخش بزرگی از نواحی مرکزی، جنوب و شرق کشور که در گستره پهناور اراضی خشک و نیمه خشک قرار گرفته است به علت برداشت بی رویه از سفره های زیرزمینی با مشکل تعادل نداشتن روبه رو شده است. چنانچه این روند ادامه یابد، نه تنها به تدریج کیفیت آب استحصالی نامطلوب بلکه مسئله کمبود آب و بی آبی نیز تشدید خواهد شد [۳]. اهمیت استراتژیک «آب» - این مایه حیات - هم اینک بر هیچ کس پوشیده نیست. مناقشات دولت ها بر سر «آب» رو به فزونی است و کارشناسان بین المللی، چالش های سیاسی عمده جهانی را در آینده نه چندان دور، حول محور «آب» پیش بینی می کنند. با بروز خشکسالی های وسیع در گوشه و کنار جهان، استراتژیست های کشورها با درک اهمیت و تعیین کنندگی این عنصر در همه ابعاد اقتصادی و غیراقتصادی، در حال تدوین سیاست های بلندمدت و کوتاه مدت کشور خود برای گریز از معضل و چالش اصلی آینده هستند. بدین منظور بیشترین توان و ظرفیت های ملی هر کشور به کار گرفته می شود و نسبت به دستاوردهای چنین حرکتی تردید وجود ندارد. در کشور ما به علت شرایط خاص اقلیمی و کمبود نزولات آسمانی در بخش های وسیعی در مرکز و جنوب کشور، مسئله آب اهمیت بیشتری دارد. از این رو مدیریت این ماده حیاتی باید به گونه ای باشد که نیازهای موجود در آینده را برطرف کند و مانع آن شود که بحران آب به مرحله خطرناک خود نزدیک شود. بحران آب یک بحران مدیریتی است [۴].

پرسشی که با مطرح ساختن مسئله بی آبی یا کم آبی در ایران، به خصوص در گستره نجد مرکزی، به ذهن می رسد این است که آیا در گذشته باستانی ایران نیز مانند امروزه، همین

مشکل وجود داشته است یا نه؟ بر اساس اسناد معتبر می توان نشان داد اقلیم ایران روی هم رفته در گذشته دور مساعدتر از زمان های بعد و متأخر بوده، اما درجه مساعدت اقلیم و آب و هوای ایران، به خصوص نجد مرکزی، در حدی نیست که بتوان برای تأمین نیاز خود، به آب های جریان یافته بر روی زمین بسنده کرد. یک دلیل بارز و موثق آن، پیشینه دیرینه ابداع و بهره برداری از سازه قنات یا کاریز است که سابقه اش به چند هزار سال پیش از ورود آریایی ها به نجد می رسد. و این چنین عیان می شود که تمدن ایران بیشتر بر پایه آب های ناشی از سرچشمه های زیرزمینی و از طریق بنای منحصراً ایرانی قنات پایه گذاری شده بود، بنابراین عنوان «تمدن کاریزی» شایسته آن است [۵]. بنابراین، احیای سرمایه ملی قنات می تواند در حل بحران کنونی آب مؤثر واقع شود. گام اولیه برای رسیدن به این مهم، شناخت و بررسی قنات است. هدف کلی این تحقیق شناخت برخی از ویژگی های ساختاری قنات به منظور بهبود کارکرد آن است.

## پیشینه تحقیق

در مطالعه های قلعه نی و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی آبخوان های ساوه و اراک پرداختند. در این تحقیق از نرم افزار در GIS برای ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی تراز و کیفیت آب زیرزمینی استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد متوسط افت سطح آب زیرزمینی طی هفت سال در ۵۷ حلقه چاه محدوده دشت اراک برابر ۳/۳۸ متر و در ۶۳ حلقه چاه مطالعه شده در آبخوان ساوه برابر ۱۰/۱۹ متر بوده است. براساس روش ویلکاکس کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، آبخوان ساوه به چهار دسته و آبخوان اراک به سه دسته طبقه بندی شدند. به طوری که حدود ۱۶ درصد از کل مساحت محدوده ساوه در کلاس C<sub>4</sub>-S<sub>2</sub>، ۴۶ درصد در کلاس C<sub>4</sub>-S<sub>1</sub> و ۳۰ درصد در کلاس C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> و ۸ درصد در کلاس C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> قرار گرفت. درباره آبخوان اراک از کل مساحت محدوده ۴۲ درصد در کلاس C<sub>4</sub>-S<sub>1</sub>، ۵۶ درصد در کلاس C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> و ۲ درصد در کلاس C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> قرار گرفت [۶].

در بعضی تحقیقات مرتبط با بحران آب، به قنات پرداخته شده است که از جمله آن می توان به پژوهش جهانگیر و همکارانش (۱۳۹۰) برای افزایش دبی قنات اشاره کرد. در این پژوهش تلفیق سازه های قنات و سد زیرزمینی

شدت خشکی است که در آن مقدار باران سالانه (۱۳/۵) کمتر از میزان متوسط دمای سالانه به سانتی‌گراد ۱۹/۷ است. h نشان‌دهنده این است که متوسط دمای سالانه بیش از ۱۸ درجه سانتی‌گراد است، s علامت بارش باران در فصول سرد سال یا زمستان است و a می‌گوید که دمای گرم‌ترین ماه سال از ۲۲ درجه سانتی‌گراد بیشتر است. بر پایه روش تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن که بر پایه ضریب خشکی است و دو عامل مهم دما و باران را مد نظر دارد، چون ضریب خشکی کاشان ۴/۵ است بر اساس ضریب دومارتن، کاشان آب و هوای خشک دارد.

مواد مورد نیاز به‌منظور بازدید و بررسی محل که بخشی از تصویر هوایی آن در شکل ۲ آمده است، عبارت‌اند از: دستگاه gps و ابزار مخصوص هر روش که در ادامه شرح داده خواهد شد. مختصات جغرافیایی با استفاده از دستگاه gps ثبت شد که به شرح برخی نقاط ثبت‌شده پرداخته و در نرم‌افزار google earth مکان چاه‌ها را روی تصاویر ماهواره‌ای نشان داده می‌شود.

بعد ارتفاعی قنات برای به‌دست‌آوردن مشخصات هندسی بررسی شد. طبق قاعده اولین چاه قنات عمیق‌ترین چاه است و با عنوان «مادرچاه» از آن نام برده می‌شود. بدین ترتیب در ادامه و در مسیر جهت جریان آب از عمق چاه‌ها کاسته می‌شود. چاه‌هایی از قنات به‌منظور به‌دست‌آوردن شماتیک مقطع جانبی قنات، به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. به‌منظور ترسیم دقیق قنات باید شیب هیدرولیکی از رابطه ۱ محاسبه شود:

$$(1) \quad \text{تغییر ارتفاع کف} \\ \text{فاصله}$$

به‌منظور مشخص شدن دقیق‌تر نقاط چاه، استفاده از ارتفاع آنها از سطح آب‌های آزاد ضروری است. از رابطه ۲ برای سنجیدن ارتفاع کف چاه از سطح دریا بهره برده خواهد شد.

$$(2) \quad \text{ارتفاع کف چاه از سطح آب‌های آزاد} = \text{عمق چاه} - \text{ارتفاع چاه از سطح آب‌های آزاد}$$

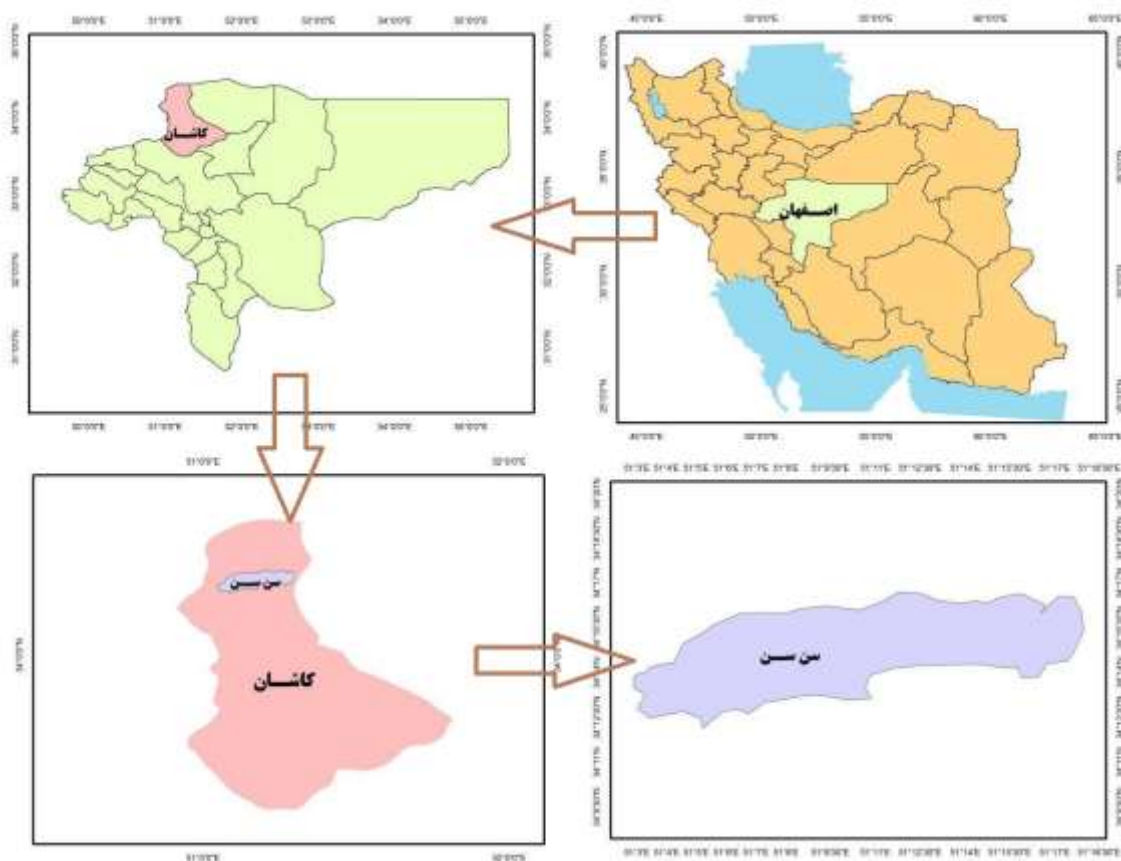
بدین‌منظور به‌دست‌آوردن ارتفاع چاه‌ها ضروری است. برای به‌دست‌آوردن ارتفاع قنات‌ها از دو روش زیر استفاده شده است.

به‌عنوان روشی مناسب برای افزایش آبدهی در قنات جمال واقع در استان خراسان جنوبی پیشنهاد و مدل شد. بدین‌صورت که سازه سد در مرز تره‌کار- خشکه‌کار و عمود بر محور کوره قنات جانمایی شده است تا آب زیرسطحی ذخیره‌شده در مخزن سد توسط کوره قنات تخلیه و به مظهر قنات هدایت شود. با توجه به میزان بارندگی، بررسی هواشناسی و هیدرولوژی و تهیه نقشه‌های حوضه بالادست قنات در محیط GIS پیشینه سیلاب خروجی از حوضه مشخص شد. همچنین جریان آب زیرزمینی در بالادست دیواره سد در محیط نرم‌افزاری مدل شد. نتایج نشان داد اجرای این مدل سبب افزایش آبدهی قنات مطالعه‌شده به میزان ۴۵/۴ درصد شده است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت ویژه‌ای دارد [۷]. در مطالعه دیگری که محمود رضایی و روشنگ رحیمیان (۱۳۹۴) روی احیای قنات‌های محله یوسف‌آباد تهران در پاسخ به نیازهای جدید شهری انجام داده‌اند، داده‌ها به روش دلفی تحلیل شده است و گردآوری اطلاعات به دو روش کتابخانه‌ای و میدانی صورت گرفته است. درنهایت، برای حفظ، احیا و زنده کردن دوباره قنات‌ها وضع و اجرای قوانینی مثل رعایت حریم قنات‌ها، جلوگیری از حفر چاه‌های عمیق و... پیشنهاد شده است [۸].

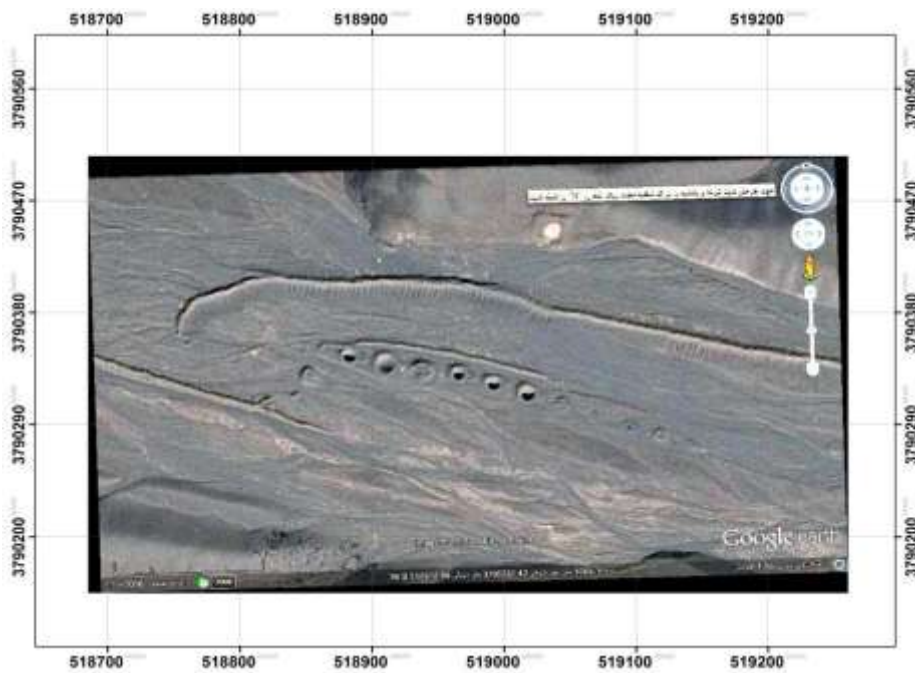
در مطالعات خارجی مرتبط با قنات می‌توان به پدرو مارتینز‌سانتوس و همکارانش (۲۰۱۴) اشاره کرد که به تهیه نقشه برای قنات تاریخی آمیل پرداختند [۹]. همچنین بلیف و همکارانش (۲۰۱۵) رسوبات قنات آراگون اسپانیا را بررسی کردند و روش (OSL) لومینانس شبیه‌سازی‌شده نوری را برای تعیین تاریخ رسوب‌گذاری به‌کار بردند [۱۰].

### مواد و روش‌ها

همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است منطقه مطالعه‌شده، روستای سن‌سن در اطراف کاشان در استان اصفهان است. روستای سن‌سن در ۳۶ کیلومتری شهر قرار دارد و براساس سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۰، جمعیت آن ۱۷۱۸ نفر (۵۱۴ خانوار) بوده است. طبق سیستم کوپن در تقسیم‌بندی اقلیمی، اقلیم کاشان از نوع BWhsa است و آب و هوای گرم و بیابانی دارد. در این فرمول B خشک بودن را نشان می‌دهد، W نشان‌دهنده



شکل ۱. موقعیت کلی منطقه مطالعه شده روی نقشه



شکل ۲. قنات سن سن روی نقشه گوگل

## روش زمان سقوط

g: شتاب گرانش زمین به طور تقریبی برابر ۹/۸ متر بر  
مجدور ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

t: مدت زمان سقوط

## روش طناب و متر

این روش سخت‌تر و طولانی‌تر، اما کاربردی و مطمئن‌تر است. در این روش مواد اختصاصی عبارت‌اند از: طناب، سنگ و متر. برای به‌دست‌آوردن ارتفاع کافی است سنگ به انتهای طناب بسته و طناب به داخل چاه هدایت شود. پس از اینکه کاهش وزن محسوسی در طناب و سنگ ایجاد شد، نشان از برخورد سنگ به آب است و متر از طناب وارد شده برابر با عمق چاه خواهد بود.

## یافته‌ها

## روش زمان سقوط

ابتدا از روش زمان سقوط استفاده شد. نتایجی از این مرحله در زیر آمده است:

جدول ۱. برآورد مشخصات چاه‌های قنات با استفاده از روش زمان سقوط

| فاصله | ارتفاع کف چاه | ارتفاع سر چاه | عمق  | زمان | ردیف     |
|-------|---------------|---------------|------|------|----------|
| ۰     | ۱۰۳۸/۹        | ۱۰۹۰          | ۵۱/۱ | ۳/۲۳ | ۱        |
| ۱۶۵/۵ | ۱۰۴۵/۷        | ۱۰۸۳          | ۳۷/۳ | ۲/۷۶ | ۲        |
| ۴۵۱   | ۱۰۴۹/۲        | ۱۰۶۶          | ۱۶/۸ | ۱/۸۵ | ۳        |
| ۱۰۱   | ۱۰۴۷/۸        | ۱۰۶۲          | ۱۴/۲ | ۱/۷  | ۴        |
| ۲۲۴   | ۱۰۴۷/۴        | ۱۰۵۳          | ۵/۵  | ۱/۰۶ | ۵        |
| ۸۰    | ۱۰۴۸/۱        | ۱۰۵۰          | ۱/۹  | ۰/۶۳ | ۶        |
| ۳۲    | ۱۰۴۹          | ۱۰۴۹          | ۰    | ۰    | ۷ (مظهر) |

حرکت آب به سمت بالا است در حالی که مکانیزم قنات نیروی ثقلی است. برای بررسی عوامل خطا به منشأ خطا در ثبت زمان سقوط است که در این زمینه دو نوع خطا می‌تواند وجود داشته باشد.

جدول ۲. شیب هیدرولیکی در بین دو چاه متوالی بررسی شده

| شیب هیدرولیکی | ردیف |
|---------------|------|
| -۰/۰۴۱        | ۱    |
| -۰/۰۰۷        | ۲    |
| ۰/۰۱۴         | ۳    |
| ۰/۰۰۲         | ۴    |
| -۰/۰۰۷        | ۵    |
| -۰/۰۰۳        | ۶    |

در وهله اول با استفاده از این روش و با محاسبه مدت زمان سقوط سنگ در قنات نسبت به تعیین ارتفاع چاه‌ها اقدام می‌شود. مواد اختصاصی مورد نیاز این روش عبارت‌اند از سنگ و ثانیه‌شمار. روش کار بدین‌صورت است که هم‌زمان با رهاکردن سنگ از ورودی چاه در سطح زمین، ثانیه‌شمار فعال می‌شود و پس از شنیده شدن صدای برخورد سنگ با آب، ثانیه‌شمار متوقف و زمان به‌دست‌آمده ثبت می‌شود. سپس عمق چاه با استفاده از زمان سقوط ثبت شده و به‌وسیله معادلات مکان زمان سقوط بدون سرعت اولیه که در زیر آمده است، محاسبه می‌شود. پایه این فرمول قوانین نیوتون است.

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad (3)$$

در این رابطه:

h: طول مسیر طی شده از لحظه رهاشدن جسم تا رسیدن به زمین (در اینجا = عمق چاه)

در جدول ۱، مظهر قنات به‌همراه شش چاه از ابتدا تا انتهای قنات انتخاب شده است. ستون دوم مدت زمان رسیدن سنگ را نشان می‌دهد. و در نتیجه عمق چاه با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شده است. با در نظر داشتن ارتفاع سر چاه از سطح آب‌های آزاد با استفاده از رابطه ۲ ارتفاع کف چاه از سطح آب‌های آزاد محاسبه شده است. در نهایت، با استفاده از ارتفاع کف چاه از سطح آب‌های آزاد و فاصله چاه‌ها از یکدیگر به‌وسیله رابطه ۱ نسبت به محاسبه شیب‌های هیدرولیکی بین چاه‌ها مطابق جدول ۲ اقدام شد.

همان‌طور که دیده می‌شود به‌جز دو قسمت، باقی شیب‌ها مقداری منفی دارند که نشان‌دهنده درست‌نبودن محاسبات است. به بیان دیگر، شیب منفی نشان‌دهنده

## عوامل خطا

## الف) خطای واکنش

اگر تفاوت زمان شنیده شدن صدا و واکنش در چاه‌های مختلف متفاوت باشد، خطا یکنواخت نیست که به طبع می‌تواند موجب به دست آوردن جواب غلط و تغییرات ارتفاعی نامطلوب شود، اما حتی اگر واکنش انسان و سرعت او نسبت به شنیده شدن صدا در چاه‌های مختلف یکسان باشد، در این صورت نیز محاسبات دچار مشکل خواهند بود زیرا اثر خطا در زمان روی ارتفاع، خطی نیست. اگر فاصله میان واکنش و شنیدن صدای برخورد با ته چاه در همه اندازه‌گیری‌ها برابر ۰/۲ ثانیه فرض شود و آن را از داده‌های قبلی کنیم، جدول ۳ به دست می‌آید.

همان طور که مشاهده می‌شود با کاهش عمق از ۵۰ متر به ۲ متر، اختلاف به دست آمده هم از ۶ متر به ۱ متر تغییر کرده است.

همچنین شایان یادآوری است مدت زمان واقعی سقوط قدری با مدت زمان ثبت شده تفاوت دارد. در واقع حتی در صورت واکنش دقیق، زمان شنیدن صدای رسیدن سنگ به ته چاه، دقیقاً زمانی نیست که سنگ به انتهای چاه رسیده باشد بلکه مدت زمانی هم صرف رسیدن امواج صوت به سر چاه شده است. با توجه به سرعت تقریبی صوت یعنی حدود ۳۴۰ متر در ثانیه و اینکه چاه‌ها در عمیق‌ترین حالت حدود ۵۰ متر عمق دارند در نهایت خطایی حدود  $\frac{1}{7}$  ثانیه (۰/۱۴ ثانیه) وجود خواهد داشت که این خطا در یک چاه ۱۰ متری

به ۱۰/۳۴۰ ثانیه (۰/۰۳ ثانیه) می‌رسد که البته این مقدار خطا قابل صرف نظر و از نوع خطای (الف) خواهد بود.

## ب) خطا در برخورد سنگ با انتهای چاه در چاه‌های آغازین و مادرچاه

این روش برای چاه‌های بسیار عمیق به دو دلیل کارایی ندارد: ۱. برخورد سنگ با دیواره چاه در پایان راه که در این حالت سنگ در پایان راه خود قبل از اینکه به کف برسد با دیواره برخورد می‌کند. چنین رخدادی کاملاً محتمل است. یک انحراف کوچک در آغاز کار می‌تواند به برخورد با دیواره در انتها منتج شود. نبود نور در انتهای چاه‌های عمیق و ضعیف شدن صدا به دلیل طی کردن مسافت زیاد نیز بر ابهام بیشتر و سخت کردن کار تشخیص می‌افزاید. ۲. نرسیدن صدا در چاه‌های عمیق با توجه به طولانی بودن مسیر امواج صوتی محتمل است. اگرچه در این تحقیق چنین حالتی به وجود نیامد، در ایران قنات‌هایی هستند که عمق در چاه آنها از ۳۰۰ متر هم بیشتر است که در این صورت چنین مشکلی موضوعیت دارد.

## روش طناب و متر

مطابق با آنچه در توضیح این روش گفته شد، دوباره نقاطی از قنات که موقعیت آنها در شکل ۳ به نمایش درآمده است طبق جدول ۴ انتخاب شدند.

با توجه به ارقام ارتفاعی و عمق‌های به دست آمده مطابق روش توضیح داده شده، شیب هیدرولیکی چاه‌ها از ابتدا تا مظهر طبق جدول ۵ محاسبه شد و شمای قنات مطابق با شکل ۴ به دست آمد.

جدول ۳. عمق و زمان چاه‌ها با کسر زمان واکنش و شنیدن صدا

| ردیف | عمق محاسبه شده | عمق با در نظر گرفتن خطا | اختلاف عمق |
|------|----------------|-------------------------|------------|
| ۱    | ۵۱/۱           | ۴۵                      | ۶/۱        |
| ۲    | ۳۷/۳           | ۳۲                      | ۵/۲        |
| ۳    | ۱۶/۸           | ۱۳                      | ۳/۴        |
| ۴    | ۱۴/۲           | ۱۱                      | ۳/۱        |
| ۵    | ۵/۵            | ۳/۶                     | ۱/۹        |
| ۶    | ۱/۹            | ۰/۹                     | ۱          |

جدول ۴. موقعیت و عمق چاه‌های مطالعه شده

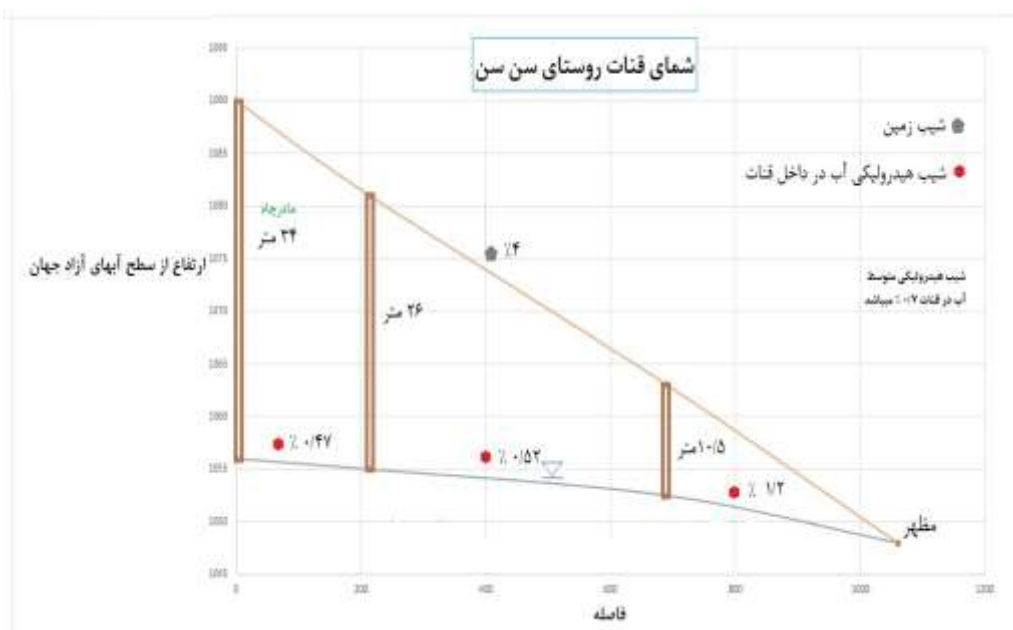
| ردیف | E      | N       | عمق  |
|------|--------|---------|------|
| ۱    | ۵۱۸۳۵۰ | ۳۷۹۰۵۴۸ | ۳۴   |
| ۲    | ۵۱۸۵۶۲ | ۳۷۹۰۴۸۳ | ۲۶   |
| ۳    | ۵۱۹۰۱۸ | ۳۷۹۰۳۳۲ | ۱۰/۵ |
| ۴    | ۵۱۹۳۷۵ | ۳۷۹۰۲۶۰ | ۰    |



شکل ۳. موقعیت چاه‌ها روی نقشه گوگل

جدول ۵. شیب هیدرولیکی بین چاه‌های مطالعه‌شده در کانال قنات

| شیب هیدرولیکی     | محدوده         |
|-------------------|----------------|
| ۰/۰۰۴۷            | مادر چاه ۱ - ۲ |
| ۰/۰۰۵۲            | ۲ - ۳          |
| ۰/۰۱۲             | ۳ - ۴ (مظهر)   |
| ۰/۰۰۷ (شیب متوسط) | ۱ - ۴ (مظهر)   |



شکل ۴. شمای کلی و ترسیم دقیق نسبی قنات سن سن

الف) بهبود کمی تعداد قنات‌ها که شامل دو راه می‌شود:

۱. شناسایی مکان‌های مساعد و احداث قنات جدید

۲. افزایش حلقه‌های قنات‌های موجود

ب) بهبود کیفی سازه قنات: در این رویکرد باید تأثیر مشخصه‌های قنات شناخته شود. بنابراین، در تحقیق حاضر با ابزارها و فاکتورهای مهندسی امروزه، این سازه قدیمی بررسی شد.

برای بررسی حالت‌های دیگر حفر قنات و مشخص شدن نقطه مظهر به معادله سطح زمین در منطقه نیاز است. بنابراین، در شکل ۶ معادله سطح زمین با استفاده از نرم‌افزارهای گوگل ارث و اکسل شبیه‌سازی شده است.

شیب‌های مقطعی ۰/۴۷، ۰/۵۲ و ۱/۲ درصد و شیب متوسط قنات برابر ۰/۷ درصد به دست آمد.

### تبخیر

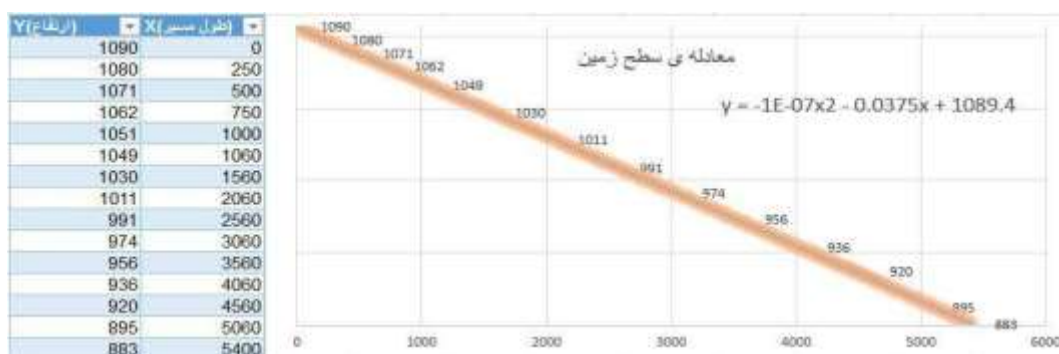
دست‌آورد دیگری که علاوه بر شمای قنات به دست آمد، تبخیر و نتایج حذف آن بود. با توجه به داده‌های تبخیر منطقه و مساحت تقریبی برآورد شده سطح روباز قنات تا رسیدن به مزارع پایین دست که مسیری حدود ۴/۲ کیلومتری است (شکل ۵)، مقداری تقریبی حدود ۰/۱ لیتر در ثانیه به دست آمد.

### شیب بستر

برای توسعه کمی و کیفی تکنولوژی قنات برای بهره‌برداری هر چه بیشتر آب در شرایط خشکسالی و بدون استفاده از پمپ الکتریکی دو رویکرد وجود دارد:



شکل ۵. مسیر پیمودن آب تا رسیدن به محل مصرف در روستای سن سن



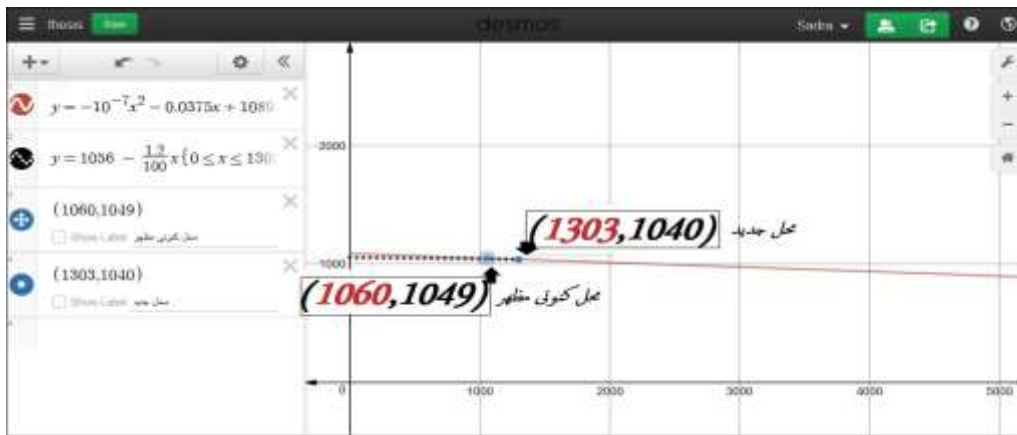
شکل ۶. تخمین معادله سطح زمین در نرم‌افزار اکسل با استفاده از ترازهای ارتفاعی و مسافت‌های به دست آمده از نرم‌افزار گوگل ارث



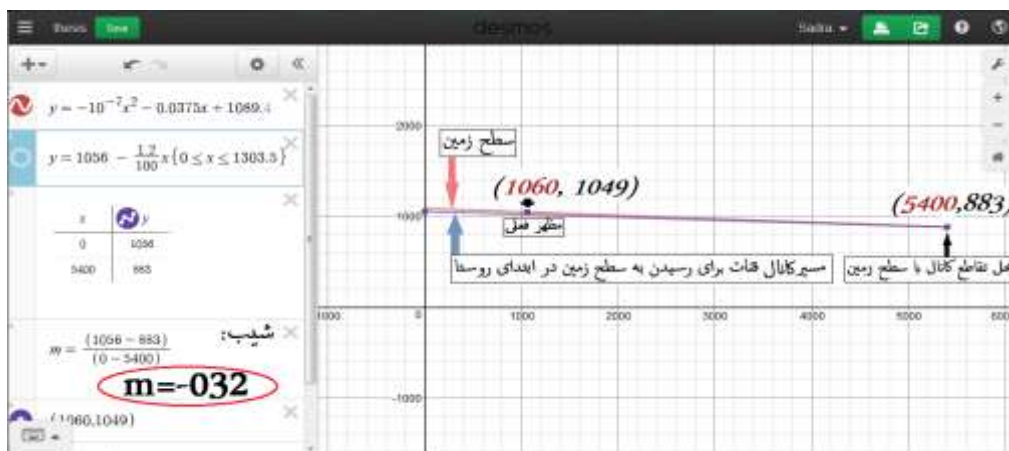
شود؛ زیرا مطابق شکل ۸، شیب خط متصل از انتهای مادرچاه تا سطح زمین در ابتدای روستا حدود ۳/۲ درصد به دست آمد. نتایج ناشی از افزایش سطح مقطع تماس با سفره آب زیرزمینی در این حالت می‌تواند چشمگیر باشد و به دلیل افزایش ۵ برابری طول کانال قنات، احتمال افزایش دبی در شرایط مساعد تا ۵ برابر مقدار کنونی را ممکن می‌سازد. گذشته از آن، هم تعداد حلقه چاه‌ها بیشتر شده و هم در حلقه‌های موجود پس از مادرچاه، میزان عمق به‌مرور بیشتر و بیشتر می‌شود که امکان نفوذ بیشتر در سفره آب زیرزمینی را فراهم می‌کند. بنابراین، در شرایط استثنایی، احتمال افزایش دبی بیشتر از ۵ برابر هم وجود دارد. بنابراین، بدون استفاده از چاه عمیق و خسارت به آیندگان، با تغییر ساختار قنات نیز می‌توان با کمبود آب مقابله کرد.

بررسی انجام‌شده در زمینه بهبود کیفی سازه قنات نشان می‌دهد اگر از ابتدای قنات، از شیب قسمت پایانی که بیشترین شیب و برابر ۱/۲ درصد بوده است، حفاری می‌شد، مظهر حدود ۲۵۰ متر جلوتر از موقعیت کنونی ایجاد می‌شد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، در این حالت طول قنات از ۱۰۶۰ متر به ۱۳۰۳ متر رسیده است.

افزایش سطح تماس دیواره‌های چاه و تونل قنات با سفره آب زیرزمینی و نفوذ در عمق بیشتر که پس از مادرچاه می‌توان شاهد آن بود امکان افزایش سطح مقاطع آبد قنات و در نتیجه آن، افزایش دبی قنات را در نتیجه این شیب جدید فراهم می‌آورد و همچنین کافی است تا حدود ۲ درصد بر این شیب افزوده شود تا از ۴ کیلومتر حرکت آب بر سطح زمین و تلفات تبخیر و... جلوگیری



شکل ۷. تفاوت رسیدن به سطح زمین در صورت داشتن شیب انتهایی از مادرچاه



شکل ۸. محاسبات انجام‌شده برای کاهش تبخیر در قنات مطالعه‌شده

## نتیجه‌گیری

مظهر قنات روستای سن‌سن حدود ۴ کیلومتر از محل مصرف آن فاصله دارد. این فاصله، حدود ۰/۱ لیتر بر ثانیه تبخیر آب در کانال روباز از مظهر تا زمین‌های کشاورزی را ایجاد می‌کند. برای حذف این تبخیر، شیب کانال قنات، ۳/۲ درصد به‌دست آمد. همچنین این شیب، احتمال افزایش آب تا بیش از ۵ برابر مقدار موجود را برای قنات سن‌سن به‌وجود می‌آورد. بستن چاه‌های پایین‌دست می‌تواند به جبران این افزایش برداشت و در نهایت رفع مشکل کمی و کیفی منطقه منجر شود.

## منابع

- [4].Madani Larijani K, water resource management strategy to the current crisis in Iran, the tenth Conference of Civil Engineering, Tehran - Amir Kabir University (Tehran Polytechnic), Civil , [http://www.civilica.com/Paper-CESC10-306\\_2424609607.html](http://www.civilica.com/Paper-CESC10-306_2424609607.html), 1382, persian
- [5].Barahmand G, Introduction to the history of subterranean phenomena and the role of civilization on the Iranian plateau, Moskooyeh, 1387:2(8):7-32, persian
- [6].Mohammadi G, Ebrahimi K, Araghinejad SH, Qualitative and quantitative assessment of groundwater resources (Case study: Saveh, Arak aquifer), Knowledge of soil and, 1390:21(2):93-108. persian
- [7].Jahangir M, Jahangir A, Mustafa Zadeh J, Tavakoli R, the increase in water aqueducts using a combination of subsurface dams and canals, traditional knowledge International Conference on Water Resources Management, Yazd, International Centre for historical canals and water structures, 1390, persian.
- [8].Rahmanian R, Rezaei, M. Thesis: restoration and rehabilitation of the aqueduct Yousef Abad neighborhood of Tehran in response to the new needs of the city. Defense Date: 1394-04-24, persian
- [9].Martinez-Santos P, Martinez-Alfaro P, A priori mapping of historical water-supply galleries based on archive records and sparse material remains. An application to the Amaniel qanat (Madrid, Spain). Journal of Cultural Heritage 15 (2014) 656–664
- [10]. Bailiff I.K, Gerrard C.M, Gutierrez A, Snape-Kennedy L.M, Wilkinson K.N, "Luminescence Dating Of Irrigation Systems: Application To A Qanat In Aragón, Spain" Quaternary geochronology, 2015 : 30 (B) : 452-459.
- [1].Moqimi Fardqiry M, zoning groundwater quality using geostatistical methods Marmtalh case Mobarakabad Plain, Agricultural and Environmental Sciences Conference, Shiraz, [http://www.civilica.com/Paper-FNCAES01-FNCAES01\\_314.html](http://www.civilica.com/Paper-FNCAES01-FNCAES01_314.html), 1392, persian
- [2].Mirasi, A, Asudar M, the factors affecting the management of natural resources and strategies to deal with drought and water scarcity, First National Conference on Agriculture in difficult environmental conditions, Rāmhormoz - Islamic Azad University Rāmhormoz, 1391, persian
- [3].Jahandideh O, Habibullah B, Zydaly B, hezarjoreibi A, the use of underground dams in arid and semi-arid ecosystems, the first Congress of the development and promotion of Agricultural Sciences, Natural Resources and the Environment, [http://www.civilica.com/Paper-PDCONF01-PDCONF01\\_360.html](http://www.civilica.com/Paper-PDCONF01-PDCONF01_360.html), 1394, persian