



Structure Analysis and Determination of The Catchment Area of Gonabad Salaseh Qanat

Atefeh Jafarzadeh¹, Yousef Ramezani², Hojat Mirani Moghadam³

1. MSc Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. PhD Graduate in Hydrogeology, Khorasan Razavi Regional Water Company, Mashhad, Iran.

✉Corresponding Author: y.ramezani@birjand.ac.ir

Submit Date
13 September 2025

Revise Date
13 October 2025

Accept Date
03 November 2025

Keywords:

*Catchment,
Mother well,
Qanat,
Water bearing.*

Extended abstract

Introduction

The Qanat is composed of a series of vertical wells that are linked by a gently sloping gallery, and groundwater is extracted through it utilizing gravitational force. The Qanat tunnel is divided into two sections: the water-bearing zone and the water-carrying zone. In the water-bearing zone, the Qanat tunnel penetrates the saturated layer of the aquifer, where groundwater is drained. Currently, there are 26 extensive and deep qanats located in the Gonabad Plain, from which approximately 19 million cubic meters of groundwater are extracted annually. Among the most notable qanats in the Gonabad Plain is the Salaseh Qanat, which features a mother well and has one water-bearing zone that is divided into three branches downstream. This qanat has historically provided water to three significant villages in Gonabad City. The route of the qanat within the plain is not clearly defined, the depths of its mother wells remain unknown, and the lengths of its water-bearing zones have not been established. Additionally, the boundaries of its watershed have yet to be determined. Identifying these factors is essential for the protection and maintenance of the qanat, as well as for planning measures to prevent its deterioration. The objective of this research is to investigate the structure of the Salaseh Qanat and to identify the boundaries of its catchment area.

Cite this article: Jafarzadeh, A., Ramezani, Y. & Mirani Moghadam, H. (2025). Structure Analysis and Determination of The Catchment Area of Gonabad Salaseh Qanat. *Journal of Aquifer and Qanat*, 6 (2), 61-76. DOI: 10.22077/jaaq.2025.10084.1125.



Copyright: © 2025 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Materials and Methods

To achieve this objective, the paths of the qanat's branches in the plain were identified and mapped using satellite images and field surveys. Additionally, the depths of the mother wells for the main and subsidiary branches of the qanat were estimated by analyzing topographic maps of the region, measuring the slope of the qanat tunnel, and utilizing water level data from observation wells in the plain. The lengths of the water-bearing zones of the qanats were calculated by comparing the groundwater depth in the plain with the depth of the qanat tunnels. The starting point of the water-bearing zones was determined where the depths of the groundwater and the tunnel intersect, continuing to the endpoint of the tunnel. Ultimately, the boundaries of the qanat's catchment area were defined by considering the length of the qanat's water-bearing zone, the water-bearing zones of adjacent qanats, the hydrogeology and hydrology upstream of the qanat, and other hydrological parameters. The boundary of the qanat catchment begins at the edge of the qanat watershed and extends to the sides and upstream, following the groundwater dividing line in relation to the water-bearing zones of neighboring qanats and the surface watershed basin.

Results and Discussion

The Salaseh Qanat comprises three main branches and one secondary branch, with a total length of 36 kilometers and 514 wells, as shown in Figure 1. The elevations of the outlet and the top of the mother well of the Salaseh Qanat are measured to be 1070 and 1218 meters above sea level, respectively. Based on the length of approximately 13 kilometers between the outlet and the mother well, along with the slope of the qanat tunnel (0.001), the elevation of the mother well floor is estimated to be about 13 meters higher than that of the outlet, resulting in an estimated elevation of about 1083 meters. The difference between the top and bottom elevations of the mother well corresponds to the depth of the qanat's mother well. The depths of the mother wells for the main and subsidiary branches of the qanat are estimated to be approximately 135 and 116 meters, respectively. The groundwater level at the main branch's mother well is estimated to be at 131 meters, while the subsidiary branch's mother well is estimated to be at about 119 meters, indicating that the subsidiary branch has remained dry for several years. The intersection point of the qanat tunnel with the groundwater level, which marks the beginning of the water-bearing zone, was determined using a groundwater depth map of the plain and the depth of the qanat tunnel along its path. The length of the qanat's water-bearing zone is estimated to be about 550 meters. The catchment area of the qanat is estimated to cover approximately 43 square kilometers, as depicted in Figure 1. The total water flow of the qanat is projected to be 41 liters per second in 2025, resulting in an annual discharge volume of 1,292,976 cubic meters. The average annual rainfall in the qanat catchment is approximately 150 mm, with the amount of infiltration from rainfall and aquifer recharge estimated to be around 20 percent. Accordingly, the annual recharge volume in the qanat catchment is calculated to be 1,290,000 cubic meters. The annual recharge and discharge volumes of the qanat are in alignment, indicating a high level of accuracy in the established boundaries of the qanat catchment.

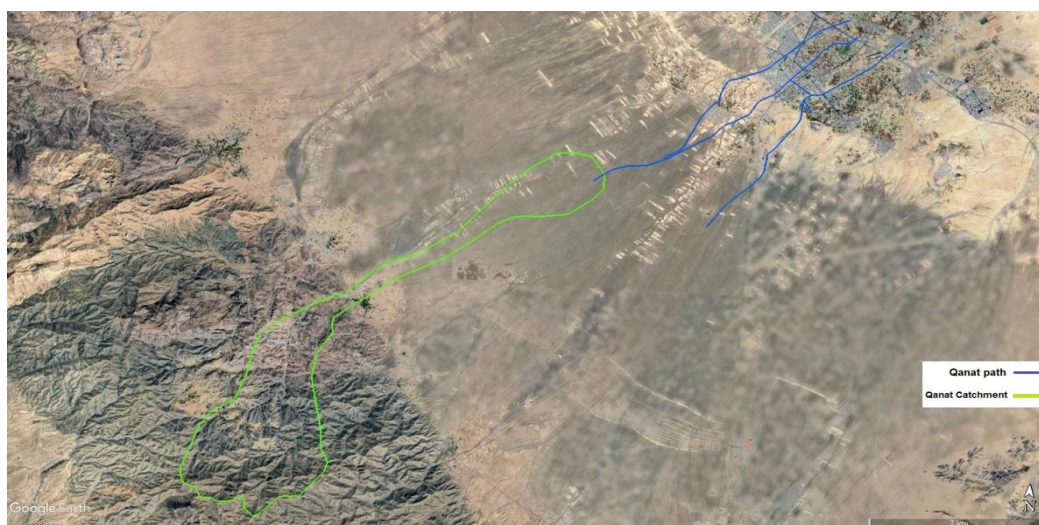


Fig 1. Salaseh Qanat path and its catchment area in Gonabad Plain

Conclusion

The length of the water-bearing zone of the qanat was estimated to be approximately 550 meters of its total length. It is anticipated that the drop in groundwater levels in the plain will result in a reduction of the qanat's water-bearing zone and its water yield in the future. To address this issue, it is recommended that the tunnel of the qanat be excavated upward from the mother well to increase the water-bearing zone. Additionally, the control of groundwater extraction by wells in the plain should be enforced, periodic monitoring of the groundwater level in the plain should be conducted using modern technologies, artificial recharge and flood spreading projects should be implemented upstream of the qanat's mother well, and the tradition of qanat diggers, along with periodic dredging of the qanat, should be revived. Furthermore, any development in the basin that would lead to increased exploitation of water resources or operations that could diminish rainfall infiltration in the basin, such as mining activities, should be prohibited to ensure the preservation and maintenance of this qanat.



تحلیل ساختمان و تعیین حوضه آگیر قنات ثلاثه گناباد

عاطفه جعفرزاده^۱ | یوسف رمضانی^۲ | حجت میرانی مقدم^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳. دانش‌آموخته دکتری هیدروژئولوژی، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد، ایران.

✉ نویسنده مسئول: y.ramezani@birjand.ac.ir

چکیده

یکی از منحصربه‌فردترین قنات‌های دشت گناباد، قنات ثلاثه است. قناتی که دارای یک مادرچاه و منطقه تره‌کار بوده و به سمت پایین دست به ۳ رشته تقسیم می‌گردد. هدف این تحقیق، مطالعه ساختمان و تعیین حدود حوضه آگیر قنات است. به این منظور، بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش‌های صحرایی، مسیر رشته‌های قنات در دشت شناسایی و ترسیم شد. همچنین با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه، اندازه‌گیری شیب کوره قنات و اطلاعات سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای دشت، عمق مادرچاه رشته اصلی و فرعی برآورد و طول قسمت آبگون قنات برآورد گردید. در نهایت با توجه به طول بخش تره‌کار قنات و مسیر تره‌کار قنات‌های اطراف، هیدروژئولوژی و هیدروژئولوژی بالادست قنات، حدود حوضه آگیر قنات تعیین شد. قنات دارای سه رشته اصلی و یک رشته فرعی به طول کلی ۳۶ کیلومتر و ۵۱۴ حلقه چاه است. عمق مادرچاه رشته اصلی و فرعی به ترتیب حدود ۱۳۵ و ۱۱۶ متر برآورد گردید. عمق سطح آب زیرزمینی در محل مادرچاه رشته اصلی ۱۳۱ متر و در محل مادرچاه رشته فرعی حدود ۱۱۹ متر برآورد گردید بنابراین رشته فرعی چندین سال است که خشک شده است. قسمت آبگون قنات حدود ۵۵۰ متر و وسعت حوضه آگیر آن حدود ۴۳ کیلومترمربع برآورد گردید. با افت سطح آب زیرزمینی در دشت و کاهش طول تره‌کار قنات، آبدهی آن در آینده کاهش خواهد یافت. لذا برای جلوگیری از این موضوع، علاوه بر کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی و اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی آبخوان، ادامه پیشکار قنات پیشنهاد می‌گردد. به منظور حفظ و نگهداری این قنات، از هر گونه توسعه در حوضه آگیر که منجر به افزایش بهره‌برداری از منابع آب و همچنین اقداماتی که سبب کاهش میزان نفوذ بارش در حوضه می‌گردد (مانند عملیات معدن‌کاری)، باید جلوگیری شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲

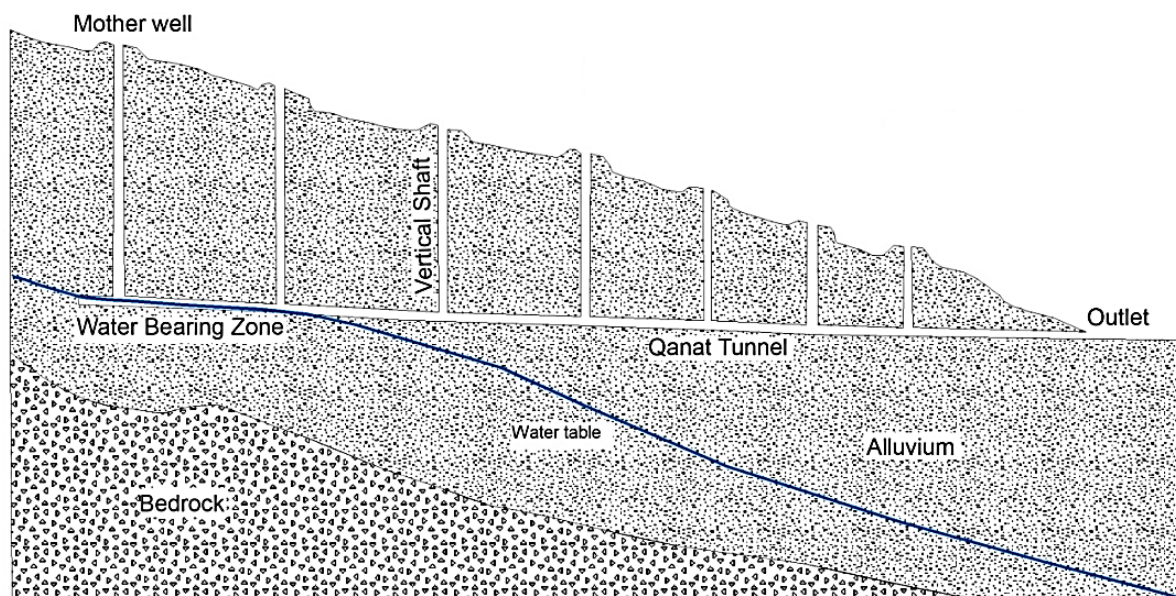
کلیدواژه‌ها:

آبگون،
حوضه آگیر،
قنات،
مادرچاه.

مقدمه

یکی از چشمگیرترین دستاوردهای تکنولوژیکی جهان برای به دست آوردن آب که تقریباً ۳۰۰۰ سال پیش در ایران ابداع شده است، قنات است (Beaumont, 1971). قنات یک روش دوستدار محیط زیست برای استخراج آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک با حداقل بارش مانند ایران، مصر و سوریه است. قنات آب تجدیدپذیر سفره آب زیرزمینی را استخراج نموده و بیلان طبیعی آبخوان را حفظ می‌کند؛ بنابراین باعث توسعه پایدار می‌گردد (MiraniMoghadam et al., 2019). چنانکه در ایران از حدود ۳۰۰۰ سال پیش با ابداع آن تمدن کاریزی به وجود آمده و تاکنون ادامه داشته است ولی در چند دهه گذشته با حفر چاه‌های عمیق و خشک شدن قنات‌ها، این توسعه پایدار از بین رفته و تمدن کاریزی در خطر نابودی قرار گرفته است (MiraniMoghadam et al., 2021).

قنات، کانال زیرزمینی با شیب کم و تعدادی میله چاه است که داخل آبخوان حفر شده و آب زیرزمینی را از نواحی با ارتفاع زیاد توسط گرانش به سمت مناطق پایین دست جاری می‌سازد (Todd and Mays, 2005). کانال زیرزمینی قنات، کوره نام داشته و شامل دو قسمت تره‌کار و خشکه‌کار است. در قسمت تره‌کار، کوره داخل بخش اشباع آبخوان قرار دارد و آب زهکشی شده از این قسمت توسط خشکه‌کار کوره به طرف مظهر قنات هدایت می‌گردد. آخرین و عمیق‌ترین میله چاه قنات، مادرچاه نام دارد (شکل ۱). تره‌کار یا آبگون قنات زهکش آب زیرزمینی بوده و سطح آب زیرزمینی در محل کوره قنات تقریباً هم عمق کف کوره قنات است (Mirani-Moghadam et al., 2025). قنات آب زیرزمینی را در محدوده تره‌کار (گسترش سطحی زیاد و نفوذ عمقی کم در بخش اشباع آبخوان) زهکشی نموده و مانند چاه‌ها که آب را از یک نقطه با نفوذ عمقی زیاد در بخش اشباع آبخوان برداشت می‌نمایند، سبب افت زیاد و آسیب به آبخوان نمی‌گردد.



شکل ۱. طرحواره برش طولی سیستم قنات (Todd and Mays, 2005)

Fig 1. Schematic of the longitudinal cross-section of the Qanat system (Todd and Mays, 2005).

جهت افزایش آبدهی قنات‌های بیرجند، روش‌های بیولوژیک و بیومکانیک به خصوص کف بندها که باعث افزایش زمان تمرکز و کاهش اثر شیب و افزایش نفوذپذیری آب در خاک حوضه آبخیز می‌شود پیشنهاد شده است (Jafari et al., 2025).

برای حفاظت از قنات‌ها رویکرد چند بخشی که ترکیبی از قانون‌گذاری، آموزش، پژوهش علمی، مشارکت محلی و بهره‌گیری از فناوری است باید اتخاذ گردد (Ferdowsi et al., 2025).

قنات‌ها به عنوان یک استراتژی دوستدار محیط زیست سازگار با تغییر اقلیم به عنوان یک الگوی بومی ایرانی می‌تواند در تاب آوری اقلیمی نقش مهمی ایفا نماید (Farzaneh et al., 2025).

Karami and Honari (۲۰۱۴) حوضه آبرگیر قنات‌های منطقه خور را محاسبه نمودند. آنها مرز حوضه آبرگیر قنات را با توجه شرایط هیدروژئولوژی و هیدرولوژی محل قنات ترسیم و سپس با برآورد حجم تغذیه سالانه قنات در این حوضه با توجه به مقدار بارش سالانه حوضه و درصد تغذیه آن و مقایسه آن با حجم تخلیه سالانه قنات، صحت حدود حوضه آبرگیر برآورد شده را بررسی نمودند.

تا به امروز، مطالعات متعددی در سطح جهان در مورد مورفولوژی، ساختار و توزیع قنات‌ها انجام شده است (Cressey, 1958; Crouch, 1993; English, 1998; Motiee et al., 2006; Barshan, 2007; Weingartner, 2007; Hussain et al., 2008; Jomehpour, 2009; Kowsar, 2012; Martínez-Santos and Martínez-Alfaro, 2014; Ciftci and Leventeli, 2017).

در حوضه آبریز گناباد تعداد ۳۰۰ رشته قنات وجود دارد که سالانه حدود ۳۰ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی از طریق آن‌ها استخراج می‌شود. از این تعداد ۲۶ رشته قنات طویل و عمیق در دشت گناباد قرار دارد. مقدار استخراج از آب‌های زیرزمینی در دشت گناباد توسط قنات‌ها و چاه‌ها

قنات براساس مشخصاتی همچون طول رشته، دبی، مکان قرارگیری و ساختار قنات گروه‌بندی می‌گردند. Behnia (۲۰۰۰) قنات‌ها را براساس طول رشته، دبی و عمق مادرچاه تقسیم بندی نموده است. قنات‌ها براساس طول به دو دسته کوتاه و بلند رشته تقسیم می‌گردند. طول قنات بستگی به آب و هوای منطقه دارد. در نواحی پربارش که عمق سطح آب زیرزمینی کم است قنات طول کوتاه دارند. در حالی که قنات در نواحی با بارش کم که عمق سطح آب زیرزمینی زیاد است طول زیادی دارند.

در گروه‌بندی براساس دبی، قنات به دو دسته با دبی ثابت و دبی متغیر گروه‌بندی می‌گردند. قناتی که دبی ثابت دارند در دشت‌ها قرار داشته و طول رشته و عمق مادرچاه زیادی دارند. قناتی که دبی متغیر دارند در بستر مسیل‌ها و سیلاب دشت‌ها قرار دارند.

Boustani (۲۰۰۸) هدف از ساخت قنات را تأمین آب شیرین در مناطق خشک، امکان زندگی انسان در مناطق کویری، امکان توسعه اراضی شور و قلیائی و هماهنگی جمعیت در مناطق خشک و نیمه خشک عنوان می‌کند. مشخص نمودن حریم ظاهری و حوضه‌ای قنات، تهیه نقشه جامع قنات کشور و تخصیص اعتبار براساس تعداد، اهمیت و حساسیت قنات و تنظیم دستورالعمل ایمنی و حفاظتی مختص قنات و مصوب نمودن آن از طریق وزارتخانه زیربط و مجلس، رویکردهای مدیریتی مناسب جهت بهره‌برداری بهینه از قنات است (Masudian et al., 2022).

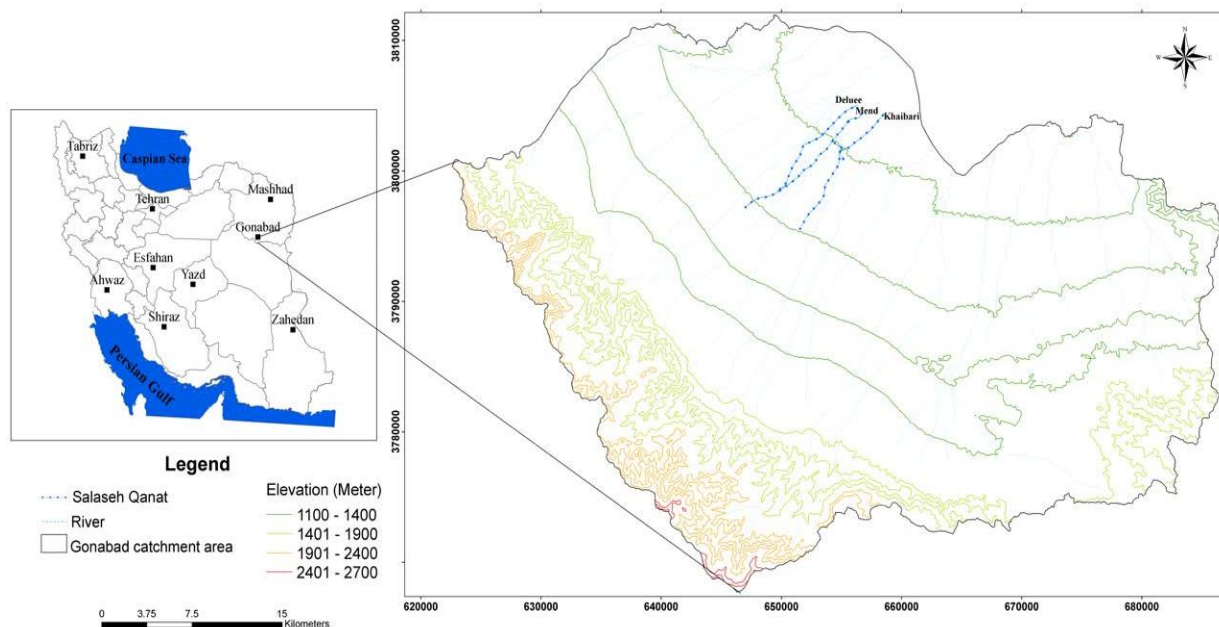
ترسیم سیستم‌های قنات و جمع‌آوری اطلاعات در مورد آن‌ها برای تدوین استراتژی‌ها و برنامه‌های مدیریت مؤثر منابع آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق کم آب که از این فناوری استفاده می‌شود، ضروری است (Mjemahet al., 2009; Pulido-Bosch et al., 1999; Mollema et al., 2013).

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز گناباد در شرق کشور و جنوب استان خراسان رضوی واقع شده است (شکل ۲). کل حوضه آبریز گناباد ۱۸۷۲ کیلومتر مربع وسعت داشته که ۹۳۹ کیلومتر مربع آن ارتفاعات و ۹۳۳ کیلومتر مربع دشت است. مرتفع‌ترین نقطه این حوضه ۲۷۷۰ متر و پست‌ترین نقطه آن کمتر از ۹۹۰ متر از سطح دریاست. شرق، جنوب و غرب دشت گناباد توسط ارتفاعات احاطه شده است. مسیل‌های هدایت کننده رواناب شامل چندین مسیل موازی از سمت جنوب به شمال است که از ارتفاعات جنوبی حوضه شروع شده، وارد دشت گناباد شده و از قسمت خروجی حوضه در شمال آن خارج می‌شوند. اقلیم حوضه مورد مطالعه خشک تا نیمه خشک است. دوره تر از آذر تا اردیبهشت ماه و دوره خشک از خرداد تا آبان ماه می‌باشد. میانگین بارش در دشت ۱۴۵ میلی‌متر و در ارتفاعات حوضه ۲۶۴ میلی‌متر در سال است. پتانسیل تبخیر حوضه زیاد بوده چنانکه در دشت ۲۷۵۴ میلی‌متر در سال و در ارتفاعات حوضه ۲۳۳۹ میلی‌متر در سال است. متوسط دما در ارتفاعات حوضه ۱۸ درجه سانتی‌گراد و در دشت ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. سردترین ماه سال دی ماه (متوسط دمای حداکثر ماهانه، ۹ درجه سانتی‌گراد) و گرمترین ماه سال تیر (متوسط دمای حداکثر ماهانه، ۳۶ درجه سانتی‌گراد) است (آمار ایستگاه‌های باران سنجی و تبخیرسنجی محدوده گناباد، آب منطقه‌ای خراسان رضوی). نفوذ مستقیم بارش در واحدهای سنگی ارتفاعات و آبرفت‌های درشت دانه حاشیه ارتفاعات نقش مهمی در تغذیه قنات‌ها دارد. چنانکه رواناب سطحی ناشی از بارش در ارتفاعات، در طی مسیر جریان در مخروط‌های آبرفتی حاشیه ارتفاعات و نیز در بستر مسیل‌ها نفوذ می‌کند.

به ترتیب ۱۹/۵ و ۱۱/۸ میلیون مترمکعب در سال است (MiraniMoghadam et al., 2021).

عمیق‌ترین قنات‌های ایران در گناباد قرار دارند. بطوریکه عمق آن ۱۰۰۰ فوت و آنقدر بزرگ است که می‌توان داخل آن اسب راند (Cressey, 1958). Boustani (۲۰۰۸) عمق قنات کیخسرو گناباد را ۴۰۰ متر اعلام نموده است. با توجه به قدمت قنات‌های دشت گناباد، از بین رفتن مقننیا و افراد خبره قدیمی، تعدد رشته‌های قنات در دشت و از بین رفتن خاکریز برخی از میله‌چاه‌های قنات‌ها در اثر عوامل طبیعی مانند سیل و عوامل انسانی، مسیر قنات‌ها در دشت نامعلوم است. همچنین در گذشته جهت جلوگیری از آسیب قنات‌ها، درب چاه‌های آن‌ها در چندین نقطه بسته شده است و جز در موارد خاصی جهت انجام عملیات قنایی باز نشده است. بنابراین عمق مادرچاه قنات‌ها قابل اندازه‌گیری نبوده و نامشخص است. یکی از قنات‌های منحصر به فرد دشت گناباد قنات ثلاثه است. قناتی که دارای یک مادرچاه بوده و در پایین‌دست به سه رشته خیبری، دلوئی و مند تقسیم می‌شود. هدف این تحقیق مطالعه ساختمان و تعیین حوضه آبریز قنات ثلاثه است. مسیر رشته‌های قنات در دشت نامشخص بوده، عمق مادرچاه‌های آن نامعلوم و طول قسمت آبگون آن نیز نامشخص است. همچنین حدود حوضه آبریز آن نیز تعیین نشده است. تعیین موارد مذکور جهت حفاظت و نگهداری قنات، همچنین پیش‌بینی اقدامات لازم جهت جلوگیری از نابودی آن لازم و ضروری است. این موارد تاکنون در خصوص این قنات انجام نگرفته است. تعیین طول قسمت آبگون قنات و حوضه آبریز آن و همچنین ارائه راهکارهای مدیریتی جهت حفظ این قنات، نوآوری تحقیق حاضر است.



شکل ۲. موقعیت حوضه آبریز گناباد و قنات ثلاثه در ایران

Fig 2. Location Map of The Gonabad Catchment and Salaseh Qanat in Iran.

در این تحقیق به منظور مطالعه ساختمان قنات ثلاثه گناباد، ابتدا مسیر قنات در دشت شناسایی و در نقشه ترسیم شد. برای این منظور از تصاویر هوایی گوگل ارث طی سال‌های ۱۳۸۵ تاکنون و نیز تصاویر هوایی سال ۱۳۴۷ منطقه استفاده شد. همچنین به همراه مالکین قنات از رشته‌های قنات و مادرچاه آن در دشت بازدید به عمل آمد. در بازدیدهای به عمل آمده از قنات، درب مادرچاه قنات بسته و امکان اندازه‌گیری عمق آن وجود نداشت. بنابراین، عمق مادرچاه قنات با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، تراز ارتفاعی مظهر و مادرچاه و شیب کوره قنات برآورد شد.

لازمه حرکت آب در کوره در اثر نیروی گرانش، شیب کف کوره است. میزان این شیب باید ملایم بوده تا سبب فرسایش کف و دیواره‌های کوره قنات نشود. میزان شیب کوره در چند قنات دشت گناباد اندازه‌گیری شده و در حدود ۱ در هزار بوده است. در این قنات نیز شیب کف کوره به همان میزان برآورد شد. این میزان شیب بیانگر این است که به ازای هر هزار متر فاصله از مظهر قنات در

ضخامت رسوبات آبرفتی در بخش شرقی دشت گناباد کمترین مقدار (حدود ۲۰ متر) و در نواحی جنوبی دشت (شمال شهر کاخک) بیشترین مقدار (حدود ۳۰۰ متر) می‌باشد. فروافتادگی سنگ کف باعث انباشه شدن رسوبات آبرفتی در نواحی جنوبی دشت به میزان بیش از ۳۰۰ متر شده است. مادرچاه قنات‌ها (آخرین و عمیق‌ترین چاه قنات) در نواحی جنوب و جنوب غرب دشت قرار داشته و مظهرشان در نواحی شمالی دشت (شهر گناباد و روستاهای اطراف) قرار دارد. جریانات زیرزمینی در دشت تقریباً همسو با جهت جریانات سطحی و از ارتفاعات جنوب و جنوب غرب به سمت شمال شرق حوضه می‌باشد. عمق سطح آب زیرزمینی در دشت تحت تأثیر توپوگرافی سطح زمین است. بیشترین میزان عمق سطح آب زیرزمینی در نواحی جنوب آبخوان به میزان ۱۶۰ متر اندازه‌گیری گردیده است. در نواحی شرق، شمال شرق و شمال غرب دشت، عمق سطح آب زیرزمینی کاهش یافته و به کمتر از ۶۰ متر در شمال آبخوان، کمتر از ۲۵ متر در شمال شرق و شمال غرب آبخوان می‌رسد.

همچنین حوضه آبرگیر قنات با توجه به طول قسمت آبگون قنات، هیدروژئولوژی و هیدرولوژی بالادست قنات مشخص گردید. حد حوضه آبرگیر قنات از ابتدای قسمت آبگون قنات شروع شده و با توجه به خط تقسیم آب با آبگون قنات‌های مجاور، جریان آب زیرزمینی محلی و منطقه‌ای و حوضه آبرگیر سطحی، به طرفین و بالادست گسترش می‌یابد. تغذیه سالانه در حوضه آبرگیر با توجه به وسعت حوضه، میزان بارش سالانه حوضه و درصد نفوذ بارش برآورد گردیده و حدود حوضه آبرگیر با توجه به تغذیه سالانه در حوضه آبرگیر قنات و تخلیه سالانه قنات صحت‌سنجی شد.

نتایج و بحث

قنات ثلاثه گناباد یکی از مهمترین قنات‌های موجود در دشت گناباد است. با از بین رفتن مقنیان و متخصصان قدیمی، حفر چاه‌های عمیق و کاهش بارش‌ها، قنات‌ها در معرض نابودی قرار گرفته‌اند. حفظ و نگهداری قنات‌ها جهت حفظ تمدن کاریزی مستلزم انجام مطالعات در خصوص آن‌ها است. در این مطالعه، شناسایی مسیر قنات، برآورد عمق مادرچاه، تعیین طول قسمت آبگون و مشخص نمودن حوضه آبرگیر قنات ثلاثه گناباد مد نظر است.

تعداد رشته‌های قنات

همانطور که قبلاً بیان شد در دشت گناباد ۲۶ رشته قنات طویل و عمیق وجود دارد که برخی از آن‌ها ۲ یا چند رشته‌ای هستند. چنانکه در شکل مشاهده می‌شود رشته قنات‌ها در دشت از مجاورت هم می‌گذرند و در مواردی همدیگر را قطع می‌نمایند (شکل ۳). این موضوع تشخیص مسیر و میله چاه‌های قنات‌ها را در دشت دشوار نموده است.

طول کوره، ارتفاع کف کوره ۱ متر از ارتفاع کف کانال در محل مظهر بالاتر است. بنابراین، چنانچه تراز ارتفاعی کوره قنات در محل مظهر از نقشه توپوگرافی استخراج گردد، تراز ارتفاعی کف کوره قنات در محل مادرچاه با توجه به فاصله آن تا مظهر و شیب کوره قابل محاسبه است. تراز ارتفاعی دهانه مادرچاه نیز از نقشه توپوگرافی قابل استخراج است. اختلاف تراز ارتفاعی دهانه و کف کوره در محل مادرچاه برابر عمق مادرچاه قنات است.

تره‌کار قنات، قسمتی از کوره قنات است که در بخش اشباع آبخوان نفوذ کرده و آب زیرزمینی را زهکشی می‌نماید. با افت سطح آب زیرزمینی در دشت، طول تره‌کار نیز کاهش یافته و در دراز مدت افت سطح آب زیرزمینی، سبب خارج شدن کوره قنات از بخش اشباع و خشک شدن آن خواهد شد. بنابراین، تخمین طول تره‌کار قنات به منظور برنامه‌ریزی اقدامات و راهکارهایی جهت حفاظت و نگهداری قنات در آینده بسیار مهم است. براساس سطح آب اندازه‌گیری شده در چاه‌های مشاهده‌ای دشت در تیرماه سال ۱۴۰۴، نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی دشت ترسیم گردید. با استفاده از نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی ترسیم شده، عمق سطح آب زیرزمینی در محل مادرچاه اصلی قنات و رشته فرعی قنات خیبری برآورد گردید. عمق کف کوره قنات در هر نقطه از مسیر قنات، با توجه به تراز ارتفاعی مظهر و شیب کوره و فاصله نقطه مورد نظر تا مظهر قابل برآورد است. نقطه‌ای که عمق سطح آب زیرزمینی در دشت و عمق کوره قنات برابر باشد، نقطه شروع تره‌کار بوده که تا مادرچاه قنات ادامه دارد. بر این اساس طول قسمت آبگون (تره‌کار) قنات محاسبه و در نقشه مشخص گردید.

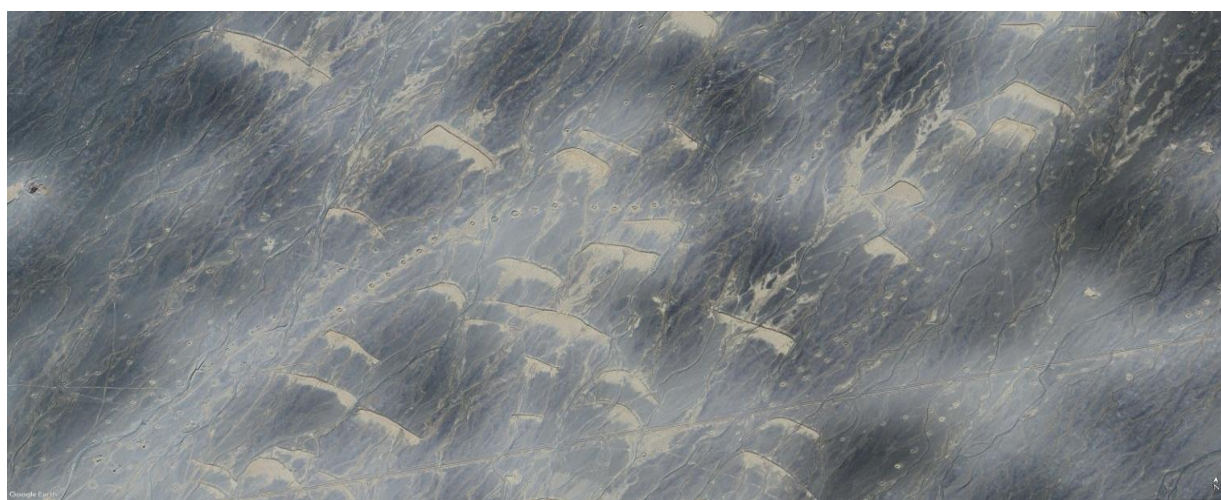


شکل ۳. وجود چندین رشته قنات مجاور هم در دشت گناباد

Fig 3. The Existence of Several Adjacent Qanats in The Gonabad Plain.

قسمت آن به سمت دلوئی و ۳ قسمت دیگر به سمت دو رشته دیگر (مند و خیبری) جریان می‌یابد. رشته مند در وسط ۳ رشته قرار دارد. رشته خیبری شرقی‌ترین رشته بوده و فاصله مظهر رشته خیبری تا مظهر رشته دلوئی حدود ۲۱۰۰ متر است. قنات خیبری یک رشته فرعی دیگر نیز دارد که طول آن حدود ۷/۵ کیلومتر است. آبدهی قنات به ترتیب در رشته‌های خیبری، مند و دلوئی در اردیبهشت ۱۴۰۴ به میزان ۱۰، ۱۱ و ۲۰ لیتر در ثانیه اندازه‌گیری شده است (داده‌های شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی).

مسیر قنات ثلاثه در دشت با استفاده از تصاویر هوایی و بازدیدهای میدانی در دشت مشخص و در شکل ۴ ترسیم گردید. قنات ثلاثه گناباد دارای یک مادرچاه اصلی می‌باشد. این قنات در پایین دست به ۳ رشته تقسیم شده و هر رشته به سمت یک روستا رفته و آب مورد نیاز روستاها را از گذشته‌های دور تأمین می‌نماید (شکل ۴). از سمت مادرچاه اصلی و در فاصله ۳ کیلومتری پایین‌دست آن اولین رشته قنات به نام دلوئی منشعب می‌شود. رشته دلوئی غربی‌ترین رشته قنات است و تقسیم آب در زیر زمین به صورتی است که از ۵ قسمت سهم آب قنات، ۲



شکل ۴. مسیر قنات ثلاثه در دشت گناباد

Fig 4. Salaseh Qanat Path in Gonabad Plain.

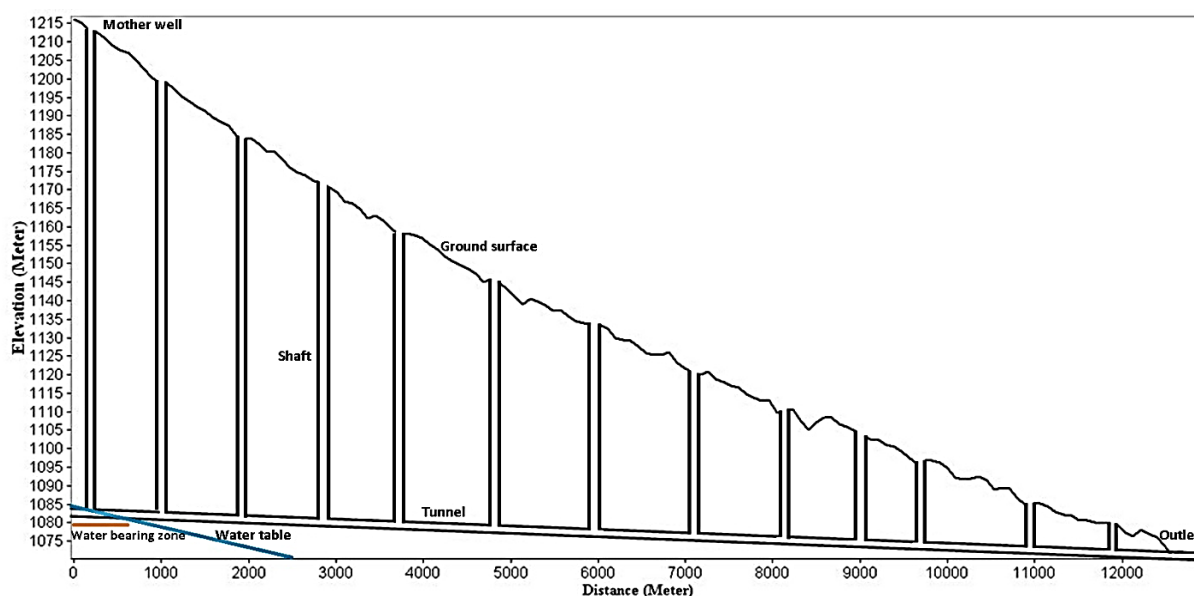
برآورد عمق مادرچاه قنات

با توجه به قدمت بسیار زیاد قنات‌های دشت گناباد، درب مادرچاه قنات‌ها بسته بوده و امکان اندازه‌گیری عمق دقیق آن‌ها وجود ندارد. با توجه به اختلاف ارتفاع محل مادرچاه و مظهر قنات، شیب کف و طول کوره قنات، می‌توان عمق مادر چاه قنات‌ها را برآورد نمود. شیب کف کانال افقی یا کوره قنات، ملایم و به طور متوسط در چند قنات که مورد اندازه‌گیری قرار گرفته حدود ۱ در هزار است. ارتفاع مظهر و دهانه مادرچاه نیز از نقشه توپوگرافی منطقه استخراج گردید.

ارتفاع مظهر و دهانه مادرچاه قنات ثلاثه به ترتیب ۱۰۷۰ و ۱۲۱۸ متر از سطح دریاست. با توجه به طول کوره قنات بین مظهر و مادرچاه که حدود ۱۳ کیلومتر بوده و شیب ۱ در هزار کف کوره، ارتفاع کف مادرچاه حدود ۱۳ متر از ارتفاع مظهر قنات بالاتر و حدود ۱۰۸۳ متر برآورد گردید. اختلاف بین دهانه و کف مادرچاه، برابر عمق مادرچاه قنات است که برابر ۱۳۵ متر محاسبه گردید (شکل ۵). ارتفاع مظهر و دهانه مادرچاه رشته فرعی خیبری قنات ثلاثه به ترتیب ۱۰۶۸ و ۱۱۹۵ متر از سطح دریا برآورد

گردید. طول کوره قنات بین مظهر و مادرچاه رشته فرعی حدود ۱۱ کیلومتر بوده و با توجه به شیب ۱ در هزار کف کوره، ارتفاع کف مادرچاه حدود ۱۱ متر بالاتر از ارتفاع مظهر قنات و حدود ۱۰۷۹ متر است. اختلاف این دو ارتفاع برابر عمق مادرچاه رشته مذکور و حدود ۱۱۶ متر برآورد می‌گردد. ارتفاع دهانه چاهی که اولین تقسیم آب در آن صورت می‌گیرد ۱۱۷۳ متر است. همچنین محل تقسیم در فاصله ۱۰ کیلومتری بالادست مظهر رشته دلوئی و ارتفاع مظهر رشته دلوئی نیز ۱۰۷۰ متر است. با توجه به شیب کف کوره قنات، عمق محل اولین تقسیم آب قنات برابر ۹۳ متر محاسبه می‌گردد.

دومین تقسیم آب قنات در فاصله ۶ کیلومتری پایین‌دست مادرچاه قرار دارد. در این محل که در داخل شهر گناباد قرار دارد، آب قنات به دو قسمت مساوی تقسیم و به سمت روستاهای مند و خیبری جریان می‌یابد. همچنین دومین محل تقسیم آب در ۳/۵ کیلومتری بالادست رشته مند با ارتفاع مظهر ۱۰۷۲ متر قرار دارد. ارتفاع دهانه چاه محل تقسیم آب نیز حدود ۱۱۰۳ متر است. بر این اساس عمق محل تقسیم آب حدود ۲۸ متر برآورد می‌شود.



شکل ۵. طرح واره برش طولی قنات ثلاثه

Fig 5. Schematic longitudinal cross-section of the Salaseh Qanat.

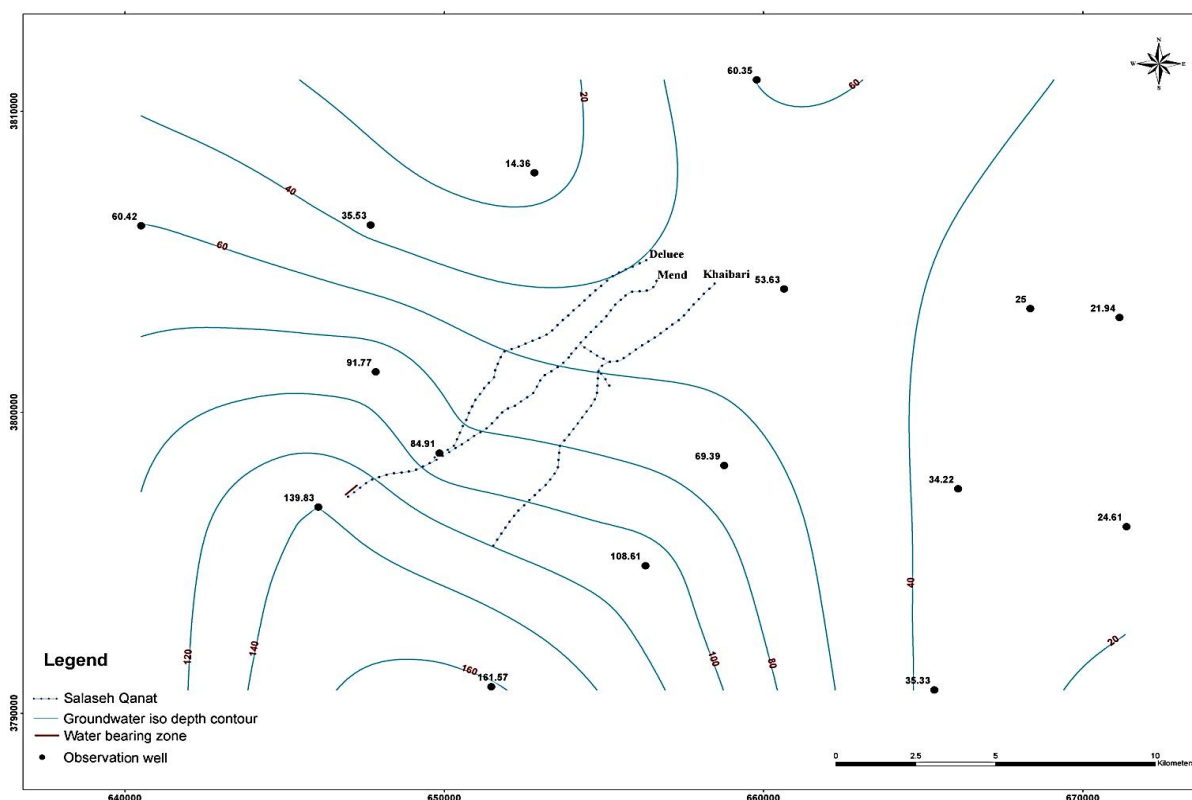
تعداد میله چاه‌های قنات

میله چاه‌های قنات، شافت‌های قائم هستند که جهت خارج کردن مواد حاصل از حفاری کوره قنات حفر می‌گردند. فاصله چاه‌های قنات در ابتدای قنات کم و در حدود ۲۰ متر است. به سمت مادرچاه، با افزایش عمق چاه‌ها، فاصله آن‌ها نیز افزایش یافته و به ۱۲۰ متر هم می‌رسد. طول کل قنات برابر ۳۶ کیلومتر است. چنانچه فاصله بین چاه‌های قنات به طور متوسط ۷۰ متر در نظر گرفته شود، با تقسیم طول قنات بر فاصله متوسط، تعداد میله چاه‌های قنات حدود ۵۱۴ حلقه چاه برآورد می‌شود.

برآورد طول قسمت آبگون یا تره‌کار قنات

تره‌کار یا آبگون قنات، قسمتی از کوره قنات است که در زون اشباع آبخوان قرار داشته و زهکش آب زیرزمینی می‌باشد. آب این ناحیه توسط بقیه طول کوره (خشکه‌کار)

به سمت مظهر قنات هدایت می‌گردد. طول تره‌کار رابطه مستقیمی با آبدهی قنات داشته و هر چه بیشتر باشد، قنات نیز آبدهی بیشتری خواهد داشت. با استفاده از نقشه هم عمق آب زیرزمینی دشت (شکل ۶) و عمق کوره در طول قنات براساس شیب 0.001 کف کوره از مظهر تا مادرچاه، نقطه تقاطع کوره قنات با سطح آب زیرزمینی مشخص و طول تره‌کار قنات به میزان ۵۵۰ متر محاسبه گردید که در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین عمق سطح آب زیرزمینی در محل مادرچاه رشته اصلی حدود ۱۳۱ متر برآورد می‌گردد و حدود ۴ متر ضخامت اشباع در اطراف مادرچاه قنات وجود دارد. عمق سطح آب زیرزمینی در محل مادرچاه رشته فرعی خیبری نیز حدود ۱۱۹ متر برآورد می‌گردد. این رشته در حال حاضر خشک بوده و چندین سال از خشک شدن آن نیز می‌گذرد.



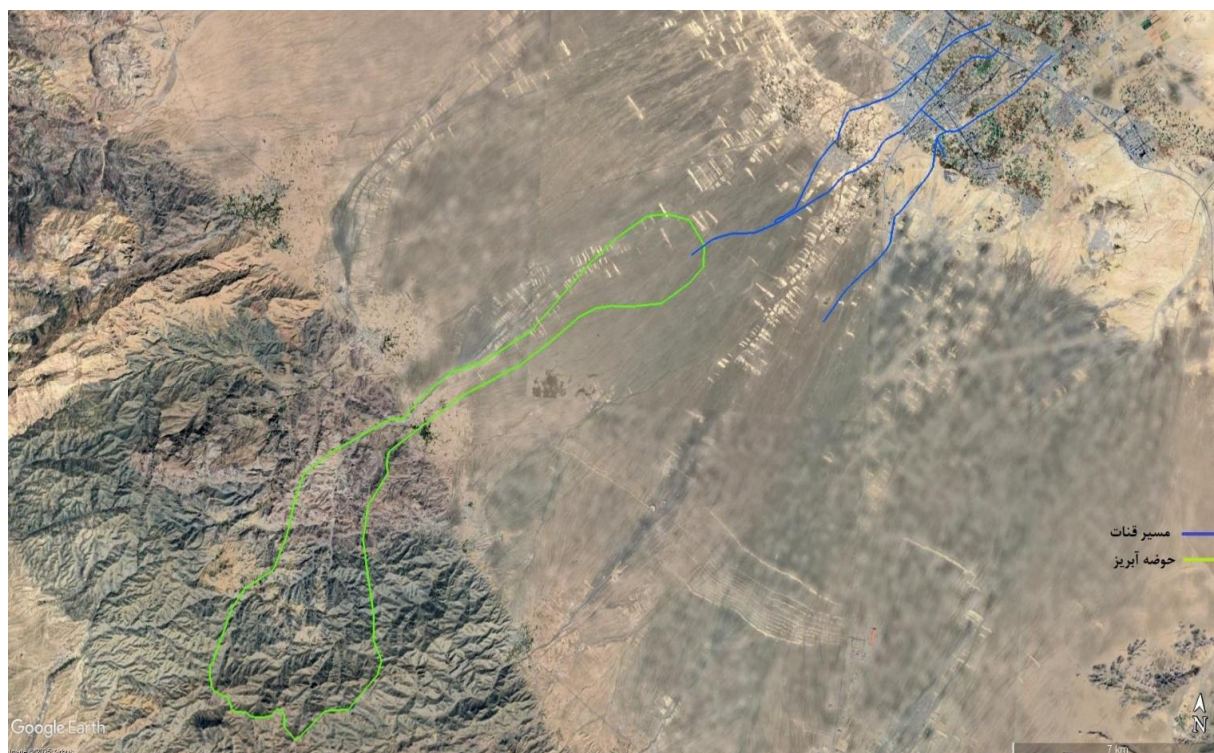
شکل ۶. نقشه عمق آب زیرزمینی در دشت گناباد، قنات ثلاثه و بخش تره‌کار آن

Fig 6. Groundwater Depth Contour Map in The Gonabad Plain, Salaseh Qanat, and Its Water-bearing Zone.

برآورد حوزه آبخیز قنات

مطالعه حوزه آبخیز قنات برای فهم بهتر منبع آب قنات، کیفیت آب و پایداری آن بسیار مهم است. با شناخت حوزه آبخیز می‌توان منابع آلاینده و عوامل تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت آب قنات را شناسایی و مدیریت کرد. خصوصیات حوزه آبخیز قنات از جمله وسعت، پوشش گیاهی و تشکیلات زمین‌شناسی آن از عوامل موثر بر آبدهی قنات است. برای تعیین حوزه آبخیز یک قنات، معمولاً از روش‌های مختلفی مانند مطالعات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و بررسی‌های میدانی استفاده می‌شود. با برآورد حدود حوزه آبخیز و مشخص نمودن وسعت آن و با توجه به میزان بارش حوزه و درصد نفوذ بارش در حوزه، حجم تغذیه سالانه قنات برآورد می‌گردد. با محاسبه حجم تخلیه سالانه قنات و قیاس با حجم تغذیه سالانه آن، در خصوص صحت حدود حوزه آبخیز برآورد شده می‌توان اظهار نظر نمود.

حوزه آبخیز قنات ثلاثه در شکل ۷ مشخص و ترسیم شده است. حوزه آبخیز قنات از ابتدای تره‌کار قنات شروع و به سمت بالادست تا خط‌الراس ارتفاعات حوزه گسترش می‌یابد. مرز حوزه در دشت با توجه به آبگون قنات‌های مجاور و خط تقسیم آب بین آبگون دو قنات ترسیم شده است. مساحت حوزه آبخیز قنات حدود ۴۳ کیلومترمربع است. میانگین بارش سالانه در حوزه آبخیز قنات حدود ۱۵۰ میلی‌متر، مقدار نفوذ از بارش و تغذیه آبخوان حدود ۲۰ درصد برآورد شده و بر این اساس حجم تغذیه سالانه برابر ۱۲۹۰۰۰۰ مترمکعب و حجم تخلیه سالانه قنات برابر ۱۲۹۲۹۷۶ مترمکعب محاسبه می‌گردد. با توجه به این که حجم تغذیه و تخلیه سالانه قنات همخوانی خوبی با یکدیگر دارند، این موضوع نشان دهنده دقت بالای حدود تعیین شده حوزه آبخیز است.



شکل ۷. محدوده حوزه آبخیز قنات ثلاثه گناباد

Fig 7. The Catchment Area of Salaseh Qanat.

نتیجه‌گیری

قنات، تنها روش استخراج آب‌های زیرزمینی است که باعث توسعه پایدار می‌گردد. بدون نیاز به انرژی، آب را از اعماق به سطح زمین آورده و چون آب را از یک محدوده سطحی (تره‌کار) برداشت می‌نماید، تعادل آبخوان را نیز بر هم نمی‌زند. ضخامت زون اشباع در اطراف مادرچاه قنات، طول قسمت آبگون و حدود حوضه آبگیر قنات ثلثه تعیین شد. با توجه به ضخامت زون اشباع در اطراف مادرچاه قنات ثلثه و طول قسمت آبگون قنات (تنها ۵۵۰ متر از ۱۳ کیلومتر طول کوره)، جهت جلوگیری از کاهش آبدهی قنات و خشک شدن آن در سال‌های آتی، ادامه پیشکار قنات (حفر چاه و ادامه کوره در بالادست مادرچاه)، کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی توسط چاه‌ها و پایش دوره‌ای سطح آب زیرزمینی دشت با استفاده از فناوری‌های نوین، اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب در بالادست مادرچاه قنات و احیای سنت مقنی‌گری و لایروبی دوره‌ای قنات پیشنهاد می‌گردد. همچنین حوضه آبگیر قنات حدود ۴۳ کیلومترمربع وسعت دارد. جهت حفاظت از قنات لازم است از اجرای هر گونه توسعه کشاورزی و صنعت که منجر به افزایش در بهره‌برداری از منابع آب حوضه آبگیر قنات می‌گردد و همچنین عملیاتی که سبب کاهش نفوذ آب در ارتفاعات و بستر مسیل‌های حوضه می‌گردد (مانند عملیات معدن کاری و برداشت شن از بستر مسیل‌ها)، خودداری شود.

منابع

- Behnia, A. (2000). Qanat construction and Qanat Maintenance. Tehran: Tehran University Publishing Center Press. (In Persian).
- Boustani, F. (2008). Sustainable Water utilization in the arid region of Iran by Qanat. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Social., 45, 213- 216 <https://doi.org/10.5281/zenodo.1080378>.
- Ciftci, I., Leventeli, Y. (2017). Example of Qanats for the Sustainability of Groundwater Usage. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, Antalya-Turkey. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/2/022027>.
- Cressey, G.B. (1958). Qanats, Karez, and foggaras. Geographical Review, 48 (1), 27-44. <https://doi.org/10.2307/211700>.
- Crouch, D.A. (1993). Water Management in Ancient Greek Cities. New York: Oxford University Press.
- English, P.W. (1998). Qanats and life worlds in Iranian plateau villages. Yale F. & E.S. Bull, 103, 187-205. <https://bisses-valais.ch/media/qanats-and-lifeworlds-in-iranian-plateau-villages/>.
- Farzaneh, M. and Banimostafaarab, F. (2025). Qanat and climate resilience: Investigating the climate legislations in developing countries from a disaster risk management perspective. Journal of Aquifer and Qanat, 6(1), 67-86. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/jaaq.2025.8869.1097>.
- Ferdowsi, S., Saderi Osguie, H., and Shokripour, H. (2025). Qanat: Geocultural Heritage in the Geotourism Industry. Journal of Aquifer and Qanat, 6(1), 51-66. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/jaaq.2025.9651.1117>.
- Honari, F., Karami, G. H. (2014). Assessment of the hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of the qanats of the Khor region. Master's thesis, Shahrood University of Technology. (In Persian).
- Hussain, I., Abu-Rizaiza, O.S., Habib, M.A.A., Ashfaq M. (2008). Revitalizing a traditional dry land water supply system: the karezes in Afghanistan, Iran, Pakistan, and the Kingdom of Saudi Arabia. Water International., 33(3), 333-349. <https://doi.org/10.1080/02508060802255890>.
- Jafari, A., Chezgi, J., Memarian, H., and Rostampour, M. (2025). Studying the effect of hydromorphological characteristics of the watershed on the discharge of qanats (Study area: Bagheran Rural District, Birjand County). Journal of Aquifer and Qanat, 6(1), 21-40. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/jaaq.2025.9038.1103>.
- Jomehpour, M. (2009). Qanat irrigation systems as an important and ingenious agricultural heritage: case study of the Qanats of Kashan, Iran. International Journal of Environmental Studies, 66(3), 297-315. <https://doi.org/10.1080/00207230902752629>.
- Barshan, M. (2007). qanat Transitions, Technology and civilization from the past up to now, International History Seminar on Irrigation and Drainage, Tehran-Iran. (In Persian). <https://civilica.com/doc/14848>.
- Beaumont, B.A. (1971). Qanat system in Iran. Hydrological Sciences Journal., 16(1), 39-50. <https://doi.org/10.1080/02626667109493031>.

- Popoli-Yazdi, M. H., Vosughi, F., Jalali, A., Labaf-Khaniki, M., Labaf-Khaniki, R. A. (2000). The Gonabad Qasabeh Qanat is a myth. Mashhad, Papoli book press. (In Persian).
- Pulido-Bosch, A., Tahiri, A., Vallejos, A. (1999). Hydrogeochemical characteristics of processes in the Temara Aquifer in Northwestern Morocco. *Water Air Soil Pollut*, 114, 323–337. <https://doi.org/10.1023/A:1005167223071>.
- Salih, A. (2006). Qanats: a Unique Groundwater Management Tool in the Arid Region, The case of Bam Region in Iran. International Symposium on Groundwater Sustainability, 24-27 January, Alicante, Spain. <https://www.semanticscholar.org/paper/Qanats-a-Unique-Groundwater-Management-Tool-in-Arid-Salih/3de176e182e25774825b8d08a14bf3021125a441>.
- Taghavijeloudar, M., Han, M., Davoudi, M. and Kim., M. (2013). Review of Ancient Wisdom of Qanat and Suggestions for Future Water Management. *Environmental engineering research*, 18(2), 57-63. <https://doi.org/10.4491/eer.2013.18.2.057>
- Todd, D.K. and Mays, L.W. (2005). *Groundwater Hydrology*. New York, John Wiley and Sons.
- Weingartner, H. (2007). Water Supply by Qanats: A Contribution to Water Shortage in Mediterranean Areas. In *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology*, 5-7 September, Greece. https://www.academia.edu/11504394/Water_supply_by_qanats_A_contribution_to_water_short_age_in_Mediterranean_areas.
- Kowsar, S. A., Kowsar, S. S. (2012). Karaji: Mathematician and Qanat Master. *Groundwater*, 50(5), 812-817. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2012.00966.x>.
- Martínez-Santos, P., Martínez-Alfaro, P.E. (2014). A priori mapping of historical water-supply galleries based on archive records and sparse material remains. An application to the Amanuel qanat (Madrid, Spain). *Cultural Heritage*, 15, 656-664. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.12.003>.
- Masudi-Ashtiani, M., Sharafati, A., KardanMoghadam, H. (2023). Evaluation of the Pathology of Using the Aqueduct for the Potential of Water Supply with the Fishbone Theory Approach. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13(1), 239-257. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.352703.1039>.
- MiraniMoghadam, H., Bagheri, R., Karami, G.H., Jafari, H. (2019). Groundwater origin in qanats, chemo-isotopic and hydrogeological evidence. *Groundwater*, 58(5), 771-776. <https://doi.org/10.1111/gwat.12975>.
- MiraniMoghadam, H., Karami, G.H., Bagheri, R. (2019). Hydrogeology and chemo-isotopic characteristics of the deepest qanat in the World. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 236-254. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2022.120630>.
- MiraniMoghadam, H., Karami, G.H., Bagheri, R., Barati, R. (2021). Death time estimation of water heritages in Gonabad Plain, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 80(127). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09424-w>.
- MiraniMoghadam, H., Karami, G. H., and Barati, R. (2025). Introducing an Approach to Draw a Groundwater Levels Map in an Aquifer, Including Qanats. *Water Harvesting Research*, 8(1), 68-77. <https://doi.org/10.22077/jwhr.2025.8950.1168>.
- Mjemah, I.C., Van Camp, M., Walraevens, K. (2009). Groundwater exploitation and hydraulic parameter estimation for a Quaternary aquifer in Dar-es-Salaam, Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*, 55, 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2009.03.009>.
- Mollema, P.N., Antonellini, M., Dinelli, E., Gabbianelli, G., Greggio, N., Stuyfzand, P.J. (2013). Hydrochemical and physical processes influencing salinization and freshening in Mediterranean low-lying coastal environments. *Applied Geochemistry*, 34, 207–221. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.03.017>.
- Motiee, H., McBean, E., Semsar, A., Gharabaghi, B., Ghomashchi, V. (2006). Assessment of the Contributions of Traditional Qanats in Sustainable Water Resources Management. *International Journal of Water Resources Development*, 22(4), 575-588. <https://doi.org/10.1080/07900620600551304>.

