Original Article

Journal of Aquifer and Qanat

Autumn And Winter 2024, Vol. 4, No. 2, pp 67-82

10.22077/jaaq.2024.7340.1065

Investigating The Successful Methods of Reviving The Qanat Through Physical Protection and Artificial Nutrition Case Study; Khamsian Qanat Ashkezar, Mazreano of Dehshir and Dihok Kharanagh

Seyed Mostafa Tabatabaei ✉

Water and sewage network development expert, Yazd Province Water and Wastewater Company, Yazd, Iran.
✉Corresponding Author: Tabatabaei1984@yahoo.com

Received:
22 February 2024

Accepted:
16 March 2024

Published:
19 March 2024

Keywords:

improvement inside the Qanat, underground dam, diversion dam, mountain Qanat, External strengthening of the Qanat.

Extended abstract

Introduction

Qanat is the most sustainable way of providing drinking water and sanitation according to the geographical conditions, it is considered a wide range of dry areas of Iran and in addition to hydrology, it is important for cultural, social, economic, architectural and political aspects. Drinking water quality limits and the proper quality of qanat water due to the placement of the wellhead in the initial area of the alluvial fan, a large number of qanat and the possibility of developing and Improving the performance of the qanat discharge, Sustainability of this method of water supply and proper distribution of qanats in the driest areas and urban and rural settlements of Iran It makes the discharge capacity of the qanat to meet the needs of drinking and health and water scarcity crisis management is always taken into consideration.

Materials and methods

In this article, the successful methods experienced for the protection and restoration of the qanat with three case examples in Yazd province are analysed in a descriptive-analytical way. The water quality of these qanats is suitable for drinking. Each of them, in turn, is located in the lowest water areas of this province, in the areas without aquifers. They provide drinking water to the people of Khamsian villages in Ashkazar, Kharanaq Ardakan and Dehshir Taft.

Cite this article: Tabatabaei, S.M (2024). Investigating the successful methods of reviving the Qanat Through physical protection and artificial Nutrition Case Study; Khamsian Qanat Ashkezar, Mazreano of Dehshir and Dihok Kharanagh. *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 4 (2), 67-82. DOI: http//doi.org/10.22077/jaaq.2024.7340.1065

Copyright: © 2024 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/).

Results

First, the action of physical protection and rate of flow were introduced as the most important methods of protecting and revitalising the Qanat. Physical protection action in three parts A: A set of measures to strengthen well bars and Qanat furnaces to prevent external damage including closing and covering the upper and middle parts of the wells in several areas that were falling and were subject to destruction. Covering the opening of wells located in the river bed. and increasing the height of the collar of the well above the ground level for the wells located on the river bank. Also, the use of in-situ or prefabricated concrete materials, especially in areas where there is a possibility of the furnace falling and the part where the qanat furnace reaches the surface of the earth, which has been exposed to flood hazards and human actions, is one of the most important successful retrofitting methods to increase the Qanat tolerance against the environmental factors discussed in this research. Improvement to prevent disruption in the internal functioning of the qanat which includes the operations of removing debris, dredging, removing calluses, double-folding the qanat in the collapsed area of the roof and C: by building a diversion dam parallel to the qanat and creating a waterway behind it measures have been taken to divert flood flows and protect the Qanat against the risk of flooding. In the second part, A: To increase the water flow of the qanat by the surface feeding method in the Dehshir qanat, an artificial feeding earthen dam has been built in the distance between the two spillways, a channel perpendicular to the main channel and directs the smooth flow without large particles into the reservoir of the dam. For the second branch of the Dihuk Kharanaq Qanat, two earth dams have been built to store runoff and feed the Qanat. The first dam was designed and implemented based on the runoff capacity of a natural waterway. The condition of the second dam is such that, in addition to the capacity of the direct upstream runoff, it can accommodate the flood passing downstream of the underground dam of the first line by directing the flow through a diversion dam. and B: To increase the flow rate of the qanat using the underground feeding method, based on the existing conditions, the construction of an underground dam on the main line of the Dihok Kharanaq qanat has been investigated as an efficient and effective method.

The results showed that with the implementation of these measures, the destroyed qanat of Khamsian was put into operation with a water flow of 0.5 litres per second, and while protecting possible future floods, the stability of the drinking water supply for the people of this village was ensured. Also, an amount of 2.5 litres per second was added to the water capacity of the Dehshir Qanat. While protecting the risk of floods, Dihok Kharanagq qanat, its sustainable water flow increased to 0.5 litres per second in the year of low rainfall and it is expected that with the occurrence of rainfall, the water capacity of this qanat will increase under the influence of the earth dam and the underground dam.

مقاله پژوهشی

مجله
آبخوان و قنات

دوره چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۸۲ - ۶۷

10.22077/jaaq.2024.7340.1065

بررسی روش‌های موفق احیای قنات از طریق حفاظت فیزیکی و تغذیه مصنوعی مطالعه موردی؛ قنات خمسیان اشکذر، مزرعه‌نو دهشیر و دیهوک خرانق

سید مصطفی طباطبایی ✉

کارشناس توسعه شبکه آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان یزد، یزد، ایران.

✉نویسنده مسئول: Tabatabaei1984@yahoo.com

چکیده

قنات پایدارترین شیوه تأمین آب شرب و بهداشت متناسب با شرایط جغرافیایی گستره وسیعی از مناطق خشک ایران محسوب می‌شود. کیفیت مناسب آب قنات به دلیل قرارگیری مادر چاه در منطقه ابتدایی مخروط افکنه، تعداد زیاد رشته قنات‌ها و پراکندگی مناسب آن در خشک‌ترین نواحی ایران لزوم بهسازی و احیای این سرمایه ملی را برای تأمین نیازهای شرب و بهداشت و مدیریت بحران کم آبی ضروری می‌سازد. در این پژوهش روش‌های تجربی موفق حفاظت و احیای قنات با سه مثال موردی در استان یزد مورد بررسی قرار گرفت. این قنات‌ها هر کدام به نوبه خود در کم آب‌ترین مناطق این استان در محدوده‌های فاقد آبخوان تأمین‌کننده آب شرب مردم روستاهای خمسیان شهرستان اشکذر، خرانق اردکان و دهشیر تفت می‌باشند. ابتدا اقدام حفاظت فیزیکی و افزایش آبدهی به عنوان مهم‌ترین روش‌های حفاظت و احیای قنات معرفی شد. اقدام حفاظتی در سه بخش الف: مقاوم‌سازی در مقابل عوامل بیرونی محیطی شامل مجموعه عملیات محافظت از میله چاه و کوره قنات، ب: بهسازی جهت جلوگیری از اختلال در کارکرد داخلی قنات که شامل عملیات ریزش‌برداری، لایروبی، شعه‌شکنی، دوپوشه کردن کوره قنات با کول در ناحیه ریزش کرده سقف و ج: احداث بند انحراف سیلاب تعریف شد. برای افزایش آبدهی به روش سطحی عملیات بند خاکی تغذیه مصنوعی و برای روش زیرزمینی احداث سد زیرزمینی به عنوان روش‌های کارآمد و مؤثر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با اجرای این اقدامات قنات تخریب شده خمسیان با آبدهی ۰/۵ لیتر بر ثانیه وارد مدار بهره‌برداری شد و ضمن محافظت از سیلاب‌های احتمالی آینده تأمین آب شرب مردم این روستا به شیوه‌ای پایدار، تضمین شد. همچنین مقدار ۲/۵ لیتر بر ثانیه به ظرفیت آبدهی قنات مزرعه‌نو دهشیر اضافه شد و قنات دیهوک خرانق ضمن حفاظت از خطر سیلاب، آبدهی پایدار آن در سال آبی کم بارش به ۰/۵ لیتر بر ثانیه افزایش یافت که انتظار می‌رود با وقوع بارندگی ظرفیت آبدهی این قنات تحت تأثیر بند خاکی تغذیه و سد زیرزمینی افزایش یابد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹

کلیدواژه‌ها:
بهسازی داخل قنات،
سد زیرزمینی،
سد انحرافی،
قنات کوهستانی،
مقاوم‌سازی بیرونی قنات.

مقدمه

قنات یکی از مهم‌ترین و عمیق‌ترین اختراعات مهندسی هیدرولیک ایران است و به کار گرفتن این تکنیک دارای مشخصات منحصربه‌فرد فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی، معماری و سیاسی است که آن را از سایر روش‌های استحصال آب متمایز می‌سازد. این شیوه استحصال آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین دستاوردهای بشر برای دستیابی به آب در مناطق کویری شناخته می‌شود (Khozeymehnezhad et al., 2021). قنات با داشتن سیستم سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق خشک یکی از راهکارهای اساسی مقابله با خشک‌سالی، تغییر اقلیم و کم‌آبی است. آمارها نشان می‌دهد حدود ۳۶ هزار رشته قنات فعال در ایران سالیانه حدود هشت میلیارد مترمکعب آب زیرزمینی را در اختیار بخش شرب و کشاورزی قرار می‌دهد (Ranjbar Naeini et al., 2017). در حال حاضر بیشتر از ۱۰ درصد استحصال آب زیرزمینی از طریق قنات انجام می‌شود. اما آبدهی قنات‌ها در سال‌های اخیر تحت تأثیر دو عامل خشک‌سالی و پیامدهای آن و افت سطح آب ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق باعث کاهش آبدهی قنات‌ها شده است. به‌طوری که افت سطح آب در چند دهه اخیر باعث خشک شدن حدود ۴۰۰۰ رشته قنات و کاهش ۹ میلیارد مترمکعبی آبدهی قنات‌ها شده است (Khorsandi Aghaei and Abdollahi, 2007).

به طور کلی قنات‌ها را می‌توان در سه دسته کوهستانی، دشتی (جلگه آبرفتی) و آبگیر از رودخانه تقسیم‌بندی نمود. عمق مادرچاه و طول قنات در مناطق کوهستانی کم بوده و دبی آنها متغیر و تابع نزولات جوی می‌باشد. در این نقاط به دلیل ضخامت کم آبرفت و محدود بودن لایه آبدار و حریم قنات، حفر چاه متداول نبوده و به‌علت کوتاه بودن طول قنات هزینه نگهداری و احیای این نوع قنات کم است. قنات‌های کوهستانی در مقایسه با قنات های دشتی بیشتر در معرض خطر سیلاب قرار دارند (Behnia, 2000). قنات-های کوهستانی معمولاً به چهار گروه دسته‌بندی می‌شوند. قنات‌های در مسیر دره ها که طرز قرار گرفتن قنات‌ها در این حالت به گونه‌ای است که معمولاً قنات بالادست قنات پایین دست را تغذیه می‌کند. معمولاً این نوع قنات‌ها طول کوتاه دارند (Ghayour, 1991). گاهی در مسیر دره یا مسیل سدهایی احداث می‌شود که باعث تغذیه قنات می‌شود که به آن قنات سدی می‌گویند (Mahdavi, 1993). دوم قنات‌های دامنه کوه و تپه‌ها که این نوع قنات در دامنه کوه و تپه‌های مشرف به دشت حفر می‌شود و شامل رسوبات سیلابی و واریزه‌های کوه و تپه‌ها بوده و منطقه نفوذ آب زیرزمینی و انتقال به سفره آب زیرزمینی می‌باشد (Ghayour, 1991). پیشکار این قنات در جهت مادرچاه غالباً به ریشه کوه برخورد نموده و به همین علت طول کوتاهی دارند. حتی ممکن است عمق مادرچاه این نوع قنات زیاد باشد اما معمولا دبی آن کم و متغیر می‌باشد. در مناطق خشک ایران این نوع قنات معمولاً به صورت کوهپایه‌ای و در رسوبات از نوع مخروط افکنه‌ای از تیپ رخساره‌های جریان‌های خرده دار مشاهده می‌شود و یا در رسوبات مخروط افکنه دشتی با تیپ دشت سیلابی و آبرفتی حفر شده‌اند (Arzani, 2013). سوم قنات‌های آبگیر از چشمه زیرزمینی یا چشمه قنات که گاهی در عمق دره‌های مرتبط به کوه‌های آهکی یا حد فاصل این کوه‌ها با دشت و یا در محل شکستگی متعلق به این نوع از کوه ها، چشمه‌هایی وجود دارد که روی این چشمه‌ها را معمولاً واریزه‌های کوه‌ها یا آبرفت پوشانده است و با حفر قنات در این محل‌ها می‌توان از آب این چشمه‌ها بهره برد. آبدهی این نوع قنات با طول و عمق آن تناسب چندانی ندارد و دبی ثابتی دارد و بیشترین قسمت طول کوره را خشکه کار تشکیل می‌دهد. چهارم قنات‌های سنگی که این نوع قنات در نواحی کوهستانی حفر می‌شود و معمولاً طول کوتاهی دارند و دبی آنها معمولاً کم و ثابت است. آب این قنات‌ها اغلب از درز و شکاف سنگ‌ها تأمین می‌شود. مکان‌یابی این نوع قنات محدودیت زیادی دارد و به‌ندرت ساختمان این نوع قنات تخریب می‌شود (Behnia, 2000). در ادامه برخی از مطالعات انجام شده پیرامون این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

عبدی (Abdi, 2013) در بررسی وضعیت قنات‌های استان زنجان، دلایل خشک و متروکه شدن قنات‌ها را خشک‌سالی و افت سطح ایستابی، عدم انجام مرمت و لایروبی، مهاجرت بهره‌برداران و بدون استفاده ماندن

قنات، حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در حریم قنات ها دانسته و راهکارهای افزایش بهره‌وری را کنترل و مهار آب سطحی در حوضه‌های بالادست قنات و تغذیه آن به داخل زمین به صورت پخش سیلاب، انجام عملیات مرمت و لایروبی مستمر، ممنوعیت حفر چاه های عمیق و نیمه عمیق در حریم قنات و آموزش بهره برداران دانسته است. مهدی‌پور و همکاران (Mehdipour et al., 2014) به بررسی تأثیر بندهای خاکی بر افزایش آبدهی قنات‌ها پرداختند. نتایج آنها نشان داد بندهای خاکی بر افزایش آبدهی قنات‌های پایین دست به طور مستقیم تأثیر گذار می‌باشد. فورزیری و همکاران (Forziri et al., 2008) در پژوهشی، روش انتخاب نقاط مناسب برای احداث سد زیرزمینی کوچک در مناطق خشک را با یک مطالعه موردی در منطقه کیدال کشور مالی بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد این روش برای تعیین نقاط مناسب جهت احداث سدهای زیرزمینی یک روش کلی بوده و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های بزرگ مقیاس ابزارهای با ارزشی برای آنالیز زمینی مقدماتی و ویژگی های تکتونیکی می‌باشد. عشقی زاده و نورا (Eshghizadeh and Noura, 2010) تعیین محل مناسب احداث سد زیرزمینی بر روی قنات دهن‌چنار کلات شهرستان گناباد را مورد بررسی قرار دادند. آنها ابتدا بازه‌های دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی را شناسایی کردند و سپس در طول بازه‌های مناسب تعیین شده نقاطی که شرایط لازم برای احداث سد زیرزمینی بر روی قنات دارا بود را به عنوان نقاط پیشنهادی مشخص نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد از حدود ۱۰۰۰ متر طول قنات تحت بررسی تنها دو نقطه جهت احداث سد زیرزمینی وجود دارد که با استفاده از شاخص ظرفیت آبرفتی می‌توان بهترین محل را انتخاب نمود. نادری و عباسی (Naderi and Abbasi, 2017) وضعیت قنات‌های استان سمنان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد کمبود منابع مالی، ریزش کوره و میله چاه‌ها به دلیل عدم تجهیز مناسب، عدم استفاده از مصالح و پوشش‌های لازم، عدم نگهداری صحیح و مناسب قنات‌ها، عدم ایجاد تمهیدات لازم برای جلوگیری از ورود سیلاب به داخل قنات، تعدد مالکین و بروز مشکل در هماهنگی آنها از مهم‌ترین عوامل کاهش آبدهی و تخریب قنات‌های منطقه بوده است. سلمان‌پور (Salmanpour, 2022) ایده اصلاح قنات با استفاده از سد زیرزمینی را به عنوان راهکاری برای تنظیم دبی خروجی از آن مطابق با نیاز آبی مورد بررسی قرار داد. نتایج وی نشان دهنده توانایی فوق العاده ایده اصلاح قنات در افزایش دبی آن و بهبود بیلان آبی دشت بود. طباطبایی و خزیمه‌نژاد (Tabatabaei and Khozeymehnezhad, 2022) در پژوهش خود با هدف ارزیابی روش‌های حفاظتی و افزایش آبدهی قنوات، ضمن دسته‌بندی قنوات بر اساس معیارهای مختلف و بررسی مزایا و معایب استحصال آب از طریق قنات، به بررسی راهکارهای تغذیه سطحی و زیرزمینی قنات‌ها پرداختند و راهکارهای سازه‌ای حفاظت از قنات و روش‌های حفاظتی بخش خشکه‌کار و روش‌های افزایش آبدهی تره‌کار قنات را به صورت طبقه‌بندی شده ارائه نمودند. دشتی برمکی و همکاران (Dashti Barmaki et al., 2023) در پژوهش خود با هدف تأمین آب معدن سنگ آهن سنگان خواف با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی و تحلیل سلسله مراتبی به مکان یابی سد زیرزمینی پرداختند. آن‌ها پس از تهیه نقشه ابتدایی، نقشه نهایی را با اعمال ملاحظات هندسی، آب سطحی و مسائل زیست محیطی در دو نقطه با اولویت متوسط و بالا برای احداث سد زیرزمینی ارائه نمودند.

این مقاله به‌منظور ترویج روش‌های مدیریتی و سازه ای موفق احیای قنات بر روی سه قنات خمسیان اشکذر، مزرعه‌نو دهشیر و دیهوک خرانق در استان یزد که از یک سوء به‌شدت در معرض مخاطرات طبیعی مانند خشک‌سالی، سیلاب و رسوب‌گذاری شدید در کوره قرار دارند و از سوی دیگر تأمین کننده نیاز آب شرب و مصارف خانگی مردمان در مناطق به‌شدت کم آب و خشک استان یزد که حتی تجربه حفر چاه در این مناطق به دلیل عدم وجود آبخوان، پتانسیل آبدهی ضعیف لایه آبدار، کیفیت نامناسب آب، شولاتی بودن لایه آبدار و وجود سازند شیل با محدودیت جدی مواجه است به صورت توصیفی- تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است.

معرفی و اهمیت قنات‌های مورد مطالعه

در منابع متعدد از آبدهی مداوم قنات به عنوان یکی از مهم‌ترین ضعف‌های سیستم قنات یاد شده است. در

واقع این مسئله از این جهت مطرح است که چون اغلب آب قنات‌ها مصرف کشاورزی دارند و در فصل سرد سال با تناقض عرضه و تقاضا به دلیل اینکه از یک طرف نیاز آبی کشاورزی کم است و از سوی دیگر آبدهی قنات به دلیل بارش‌های فصلی افزایش می‌یابد به عنوان ضعف بیان شده است. این مسئله در مورد قنات‌هایی که مصرف شرب دارند مطرح نمی‌باشد. لذا می‌توان این‌گونه استنباط نمود که انجام اقدامات حفاظتی و افزایش آبدهی برای قنات‌های با مصرف شرب توجیه بیشتری دارد.

قنات خمسیان اشکذر در دسته دوم قنات‌های کوهستانی از نوع قنات‌های دامنه کوه و تپه قرار دارد و در بستر رودخانه به طول ۱۵۰ متر امتداد یافته است. دبی این قنات در حال حاضر ۰/۵ لیتر بر ثانیه و بدون نوسان و مناسب برای شرب می‌باشد. محدودیت‌هایی مانند عدم وجود آبخوان در منطقه، هزینه تمام شده زیاد در صورت آبرسانی سیار به دلیل فاصله طولی زیاد تا مرکز شهرستان و مسیر پرپیچ و خم با شیب تند، اهمیت حفاظت و احیای قنات در این روستا را برجسته می‌سازد. قنات دیهوک خرانق به‌مانند قنات خمسیان اشکذر در دسته دوم قنات‌های کوهستانی از نوع دامنه کوه و تپه قرار دارد و تأمین کننده آب شرب و مصارف خانگی مردم روستای تاریخی خرانق می‌باشد. در واقع قنات دیهوک خرانق دو رشته قنات عمود بر هم می‌باشد که مظهر آن در یک حوضچه با یکدیگر تلاقی نموده و آب از طریق خط انتقال به صورت ثقلی به مخزن هدایت می‌شود. رشته اول ۱۴۰ متر طول دارد و در بالا دست مادر چاه آن بند خاکی تغذیه مصنوعی احداث شده است. رشته دوم عمود بر رشته اول در بستر رودخانه به‌سمت کوهپایه به طول ۳۵۰ متر امتداد یافته و در نزدیکی مادرچاه سد تغذیه زیرزمینی (با مصالح سنگ و سیمان) احداث شده و در دو طرف این سد دو چاه جهت ایجاد دسترسی و امکان بهره‌برداری از آب ذخیره‌شده حفر شده است. وجود این قنات در منطقه به‌جهت کیفیت خیلی خوب آن برای شرب و وجود سازند شیل سیاه که حتی حفر چاه را با محدودیت مواجه ساخته است اهمیت بیشتری دارد. در شکل(۱) دو نمونه از حفر چاه ناموفق که مکان آن توسط خبره محلی شناسایی و مورد تایید کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای قرار گرفته است نشان داده شده است. قنات مزرعه‌نو دهشیر به طول ۸۲۰ متر در دسته قنات‌های دشتی قرار دارد. دبی این قنات تحت تأثیر بارندگی و عملیات بهسازی در بازه ۰/۵ تا ۶ لیتر بر ثانیه نوسان دارد. در بالادست مادر چاه این قنات بند خاکی تغذیه مصنوعی احداث شده است که در آبدهی قنات نقش مؤثری ایفا می‌نماید. کیفیت آب این قنات برای شرب مناسب بوده و تامین کننده بخشی از نیاز آب شرب و مصارف خانگی شهر دهشیر می‌باشد. این قنات به دلیل پتانسیل آبدهی ضعیف و کیفیت نامناسب آب چاه‌های شرب موجود، در منطقه دهشیر اهمیت زیادی دارد.

الف)

a)

ب)

b)

شکل ۱. الف) برخورد به شیل ذغالی در محدوده چاه متک خرانق و ب) برخورد به شیل ذغالی در بالادست روستای خرانق.

Fig 1. a) Encountering coal shale in the area of Matak Kharanagh well and b) Encountering coal shale upstream of Kharanagh village.

نتایج و بحث

۱-حفاظت فیزیکی

۱-۱-مقاوم‌سازی در مقابل عوامل محیطی

تجربه نشان داده است ایجاد کنوار در اطراف میله چاه های قنات که اغلب در حاشیه آبراهه‌ها واقع شده‌اند، سرگیر و کمرگیر کردن میله چاه‌هایی که بخش فوقانی میله چاه ریزشی بوده و یا در بستر رودخانه یا مسیل قرار دارند، دورچینی و افزایش ارتفاع طوقه بالاتر از سطح زمین معمولاً برای میله چاه‌هایی که در حاشیه رودخانه و مناطقی که سیلاب حاوی مواد معلق درشت دانه نباشد و یا مناطقی که مواد معلق درشت دانه سیلاب در بالادست نهشته شده باشد، مجموعه اقدامات حفاظت از آسیب‌های بیرونی کوره قنات مانند استفاده از مصالح بتنی مقاوم درجا یا پیش ساخته مخصوصاً در مناطقی که احتمال ریزش کوره وجود دارد و بخش نزدیک به مظهر و هرنج قنات که در معرض مخاطرات سیلاب و اقدامات انسانی قرار دارد از مهم‌ترین روش های مقاوم‌سازی جهت افزایش تحمل‌پذیری قنات در مقابل عوامل محیطی محسوب می‌شود. مجموعه اقدامات مؤثر نام برده که در قنات‌های مورد بحث این پژوهش مورد استفاده موفق قرار گرفته است در شکل های (۲) و (۳) نشان داده شده است.

الف)

a)

ب)

b)

شکل ۲. الف) مقاومت میله چاه محافظت شده با سنگ و سیمان و ب) مقاومت میله چاه کمرگیر و سرگیر شده قنات خمسیان اشکذر.

Fig 2. a) the resistance of the well rod protected with stone and cement and b) the resistance of the well-reinforced well rod of the Khamsian Ashkezar Qanat.

الف)

a)

ب)

b)

شکل ۳. الف) مقاومت کوره محافظت‌شده قنات دیهوک خرانق و ب) مقاومت میله چاه محافظت‌شده قنات دیهوک خرانق در برابر سیلاب.

Fig 3. a) The resistance of the protected furnace of Dihok Kharanagh Qanat and b) The resistance of the protected well rod of Dihok Kharanagh Qanat against flooding.

بهسازی جهت جلوگیری از اختلال در کارکرد داخلی قنات

کف و دیواره کوره قنات ممکن است با رسوبات آهکی پر شده و یا درون مادر چاه و چاه‌های تره کار با رسوبات کانیائی پوشیده شود که در این صورت باعث کاهش تراوش آب از سفره گردد (Lightfoot, 1996). اصطلاحاً به این نوع رسوب‌گذاری شعه‌بندی یا شعه‌گذاری گویند و عملیات کندن و حذف شعه، شعه شکنی نام دارد. ایجاد شعه در قسمت خشکه کار قنات در حد یک لایه سطحی می‌تواند در جلوگیری از تلفات آب در مسیر مفید واقع شود. اما ادامه رسوب‌گذاری باعث ایجاد تغییر در ابعاد و یا شیب کوره قنات می‌شود و هیدرولیک جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از عواملی که موجب تشدید ایجاد شعه در کوره قنات می‌شود ریشه-های ریز برخی گیاهان می‌باشد. در قنات مزرعه‌نو دهشیر ریشه گیاه خارشتر نقش مؤثری در کاهش سرعت جریان آب و تشدید شعه گذاری ایفا نموده است (شکل ۴). تصویری از نمونه شعه شکنی قنات مزرعه‌نو دهشیر که ریشه گیاه خارشتر در تشدید آن نقش مؤثری داشته است در شکل (۵) نشان داده شده است.

شکل ۴. گیاه خارشتر و توسعه ریشه آن در قنات مزرعه‌نو دهشیر به عنوان عامل کاهش سرعت جریان و تشدید شعه‌گذاری.

Fig 4. The scurvy plant and its root development in the Qanat of Mazreano of Dehshir is a factor in reducing the flow rate and intensifying the irradiation.

شکل ۵. نمونه شعه‌شکنی در قنات مزرعه‌نو دهشیر.

Fig 5. An example of breaking poetry is the Qanat of Mazreano of Dehshir.

در قنات‌های کم عمق که در سطح زمین نیز بارگذاری وجود دارد اگر خاک ضعیف باشد خطر ریزش بیشتر از قنات‌های عمیق است. هر چه قطر میله چاه‌ها و کوره قنات بزرگ‌تر باشد احتمال ریزش بیشتر خواهد بود. ریحانی و النگار (Reyhani and Elengar, 2007) عوامل هندسه قنات، بارگذاری در نتیجه ساختمان‌های در سطح، سطح آب زیرزمینی و خواص ژئوتکنیکی خاک (مانند چگالی، مدول برشی، مدول یانگ و مدول بالک) را مهم‌ترین پارامترهای پایداری و مقاومت ساختمان قنات نام برده است. در شکل(۶) ریزش‌برداری در محل نفوذ سیلاب از یک میله چاه قنات خمسیان اشکذر نشان داده شده است. در این بخش از قنات در اثر شدت سیلاب طوقه سنگی میله به طور کامل به داخل چاه ریزش کرده و وارد کوره قنات شده است. در اثر تداوم جریان سیلاب به داخل قنات سنگ و شن و لای در کوره قنات به سمت پایین دست پیشروی کرده است و کوره قنات را در یک مقطعی مسدود نموده است به‌طوری که در ادامه آن فقط جریان گل‌آلود ریزدانه حاوی رس توانسته در کوره قنات پیشروی کند. ادامه ورود سیلاب موجب پر شدن مقطعی از کوره قنات و ریزش سقف فوقانی کوره به داخل را به‌همراه داشته است. لذا حفاظت فیزیکی از طریق مقاوم سازی میله چاه قنات در برابر سیلاب از خسارت به قنات جلوگیری به عمل می‌آورد.

شکل ۶. ریزش برداری از محل ورود سیلاب به داخل قنات خمسیان اشکذر.

Fig 6. Falling from the place of flood entering into the Khamsian Qanat of Ashkezar.

طبق نظر بهنیا (Behnia, 2000) به عملیات بیرون آوردن گل و لای و رسوبات جمع شده در قنات لایروبی گفته می‌شود و اگر ارتفاع گل و لای زیاد باشد به آن گل‌کشی اطلاق می شود. لایروبی هم در کوره قنات دارای کول و هم بدون کول انجام می‌شود. وجود کول باعث تنگی مجرا شده و کار کردن در آن دشوار است. در شکل (۷) لایروبی انجام شده در قنات خمسیان اشکذر که مورد تهدید و خسارت سیلاب واقع شده نشان داده شده است.

شکل ۷. عملیات لایروبی قنات خمسیان اشکذر.

Fig 7. Dredging operation of Khamsian Ashkezar Qanat.

لایروبی در کوره‌های بدون کول به دلیل وجود فضای بیشتر آسان‌تر است و این کوره‌ها نیاز به لایروبی دوره‌ای دارند. لایروبی در کوره‌های دارای کول معمولاً پس از عملیات ادامه پیشکار و توسعه قنات ضرورت پیدا می‌کند (شکل ۸ ب). کول گذاری اغلب در بخش خشکه کار قنات به دلیل جلوگیری از تلفات آب در مسیر و جلوگیری از مسدود شدن کوره در اثر ریزش اجرا می‌شود. در مناطقی که کوره قنات از رسوبات شنی نرم عبور می‌کند می‌توان از کول برای پشتیبانی از دیواره و سقف استفاده نمود (Sankaran Nair, 2004). کول‌گذاری علاوه بر جلوگیری از ریزش دیواره و سقف از نفوذ آب در بخش خشکه کار جلوگیری می‌نماید. بنابراین در مناطقی که آب اهمیت بیشتری داشته و جنس کف کوره قنات نفوذپذیر باشد می‌توان با شفته‌ریزی در کف و کول‌گذاری تلفات آب در خشکه کار قنات را به حداقل رساند. در قنات خمسیان اشکذر پس از نفوذ سیلاب به داخل کوره بخش سقف بازه ای از کوره قنات ریزش کرده که در عملیات بهسازی ابتدا عملیات ریزش برداری عملیات کول‌گذاری انجام شد. در بخش سقف این بازه کوره که حدود ۱۵ متر طول داشت ارتفاع کوره متفاوت و ارتفاع کوره در اثر ریزش به پنج متر هم می‌رسید. در این شرایط بر روی کول یک لایه ملات ماسه سیمان جهت تسطیح اجرا و بر روی آن یک کول دیگر مطابق شکل (۸ ب) اجرا شده و انتهای آن به دلیل جلوگیری از ورود حجم بار ریزشی در صورت ریزش با ملات سنگ و سیمان بسته شده است. در ادامه عملیات بهسازی میله چاه مورد نظر با سنگ و سیمان تا سطح زمین انجام شد و میله مورد نظر در دو ناحیه کمرگیر شد (شکل ۹).

الف) ب)

a) b)

شکل ۸. الف) دوپوشه کردن کوره قنات خمسیان اشکذر و ب) کوره دارای کول نیاز به لایروبی.

Fig 8. a) Double-walling of the Khamsian Ashkezar Qanat furnace and b) furnace with a hole that needs dredging.

شکل ۹. عملیات بهسازی میله هواکش در محل ورود سیلاب به داخل قنات خمسیان اشکذر.

Figure 9. The operation of improving the aerator rod at the place of flood entering the Khumsian Qanat of Ashkazar.

سایر میله چاه‌هایی که در معرض خطر قرار داشتند کول گذاری شده و با سنگ و سیمان تا سطح خط داغاب رودخانه از سطح زمین بالا آمد (شکل ۱۰). هرنج قنات پس از ریزبرداری و لایروبی اولیه با درپوش بتی و سیمان مقاوم سازی شد (شکل ۱۱).

شکل ۱۰. عملیات بهسازی میله هواکش قنات خمسیان اشکذر.

Fig 10. The operation of improving the aerator rod of the Khamsian Ashkezar Qanat.

شکل ۱۱. تخلیه و بهسازی هرنج قنات خمسیان اشکذر.

Fig 11. Evacuation and improvement of Khamsian Qanat of Ashkezar.

بنابراین، اگر اجزای اصلی قنات را میله چاه هواکش و کوره زیرزمینی هدایت کننده جریان به پایین دست در نظر گرفته شود، هر عامل داخلی یا خارجی که روند جریان آب به پایین دست را با اخلال مواجه سازد، قنات کارایی خود را از دست می‌دهد. از جمله این عوامل را می‌توان ایجاد لای، شعه‌بندی و تغییر شیب کف کوره، ریزش دیواره و سقف میله و کوره به دلایل تغییر شرایط داخل و عوامل محیطی بیرونی نام برد. لذا بهسازی قنات را می‌توان مشتمل بر شعه شکنی، ریزش برداری، لایروبی، مجموعه اقدامات جلوگیری از ریزش به داخل کوره و میله چاه و تنظیم شیب کف کوره جهت هدایت جریان آب تا مظهر دانست.

۳-۱- احداث بند انحراف سیلاب

خدیو جم (Khadiv Jam, 1994) از سیلاب به عنوان مهم‌ترین عامل تهدید قنات نام برده و بیان داشته است که برای حل این مشکل در فصل زمستان دهانه قنات را با آجر و تخته سنگ مسدود می‌نمایند. البته در زمان حفر قنات دهانه میله چاه‌های در معرض آسیب را با آجر و گل از سطح زمین بالاتر می‌آورند و خاک حاصل از حفاری را به‌دور آن به صورت دیواری دایره شکل جمع می‌کنند تا از داخل سیلاب به داخل قنات جلوگیری شود. این امکان وجود دارد که قنات در وسط دره یا مسیل واقع شده باشد و هنگام سیل آب از روی دهانه چاه بگذرد که در این

صورت میله چاه را نیمه مسدود و روی آن گل می‌ریزند. در سال ۱۴۰۱ نفوذ سیلاب به داخل قنات خمسیان اشکذر از طریق یکی از میله‌های هواکش باعث تخریب و پر شدن بخش عمده‌ای از این قنات شد و تصاویر و توضیحات پیرامون آن در بخش قبل ارائه شد. پس از بهسازی و مقاوم‌سازی این قنات برای انحراف جریان‌های سیلابی و محافظت قنات از خطر سیلاب با احداث بند انحرافی به موازات قنات و ایجاد آبراهه در پشت آن اقدام شد (شکل ۱۲).

شکل ۱۲. عملیات احداث بند انحرافی و ایجاد آبراهه برای محافظت از قنات خمسیان اشکذر.

Fig 13. The operation of constructing a diversion dam and creating a waterway to protect the Khamsian Qanat of Ashkezar.

۲- تغذیه مصنوعی

۲-۱- تغذیه مصنوعی سطحی

کردوانی (Kordavani, 1995) مهم‌ترین روش‌های سطحی تغذیه مصنوعی را ایجاد حوضچه و استخر تغذیه، ذخیره آب در منطقه بالاتر از مادرچاه، ایجاد آب‌بند و احداث سدهای خاکی در مسیل‌های اطراف قنات، پخش سیلاب، گسترش پوشش گیاهی و کرت‌بندی در طول تره کار قنات عنوان کرده است. سد تغذیه‌ای را می‌توان یک تک حوضچه بزرگ تلقی نمود، به‌طوری که از مخزن آن برای مهار و ذخیره سیلاب و از محدوده مخزن و پی سد برای نفوذ استفاده شود. این سدها معمولاً در محل‌هایی که جنس زمین نفوذپذیری مناسب و ضخامت آبرفت قابل توجه باشد عملکرد بهتری دارد. پی این سدها عموماً فاقد سیستم آب‌بندی است و اجرای طرح‌های آبخیزداری و کنترل رسوب در بالادست حوضه در عملکرد این روش تأثیرگذار است.

قنات مزرعه‌نو دهشیر و دیهوک خرانق از سیستم بند خاکی تغذیه‌ای به دو شیوه متفاوت بهره‌مند هستند. مطابق شکل (۱۴) برای قنات مزرعه‌نو دهشیر در فاصله بین دو سرریز کانالی عمود بر مسیل اصلی منشعب شده و جریان آرام بدون ذرات درشت را به داخل مخزن بند هدایت می‌نماید. در شکل (۱۵) مخزن بند خاکی بالادست قنات مزرعه‌نو دهشیر در حالت قبل و بعد بارندگی نشان داده شده است. در بالادست مادر چاه رشته دوم قنات دیهوک خرانق دو بند خاکی تغذیه به صورت متوالی احداث شده است (شکل ۱۶). بند اول بر اساس ظرفیت سیلاب از یک مسیل طراحی و اجرا شده است. شرایط بند دوم به‌گونه‌ای است که علاوه بر ظرفیت رواناب مستقیم بالادست، می‌تواند سیلاب عبوری از پایین دست سد زیرزمینی رشته اول را با هدایت جریان از طریق یک بند انحرافی در خود جا دهد. لذا احداث بند خاکی در بالادست رشته دوم قنات دیهوک خرانق علاوه بر جلوگیری از خسارات ناشی از سیلاب مستقیم، زمینه را برای تغذیه این رشته قنات فراهم می‌آورد. از جمله محاسن کاربرد این روش می‌توان سادگی تعمیر و نگهداری و توان ذخیره حجم قابل توجه آب را نام برد.

شکل ۱۳. کانال آبگیر منشعب از مسیل اصلی واقع بین دو سرریز.

Fig 14. The drainage channel branched from the main channel located between two spillways.

شکل ۱۴. وضعیت مخزن بند خاکی قنات مزرعه‌نو دهشیر قبل و بعد از بارندگی.

Fig 15. The condition of the reservoir of the earthen dam of the Qanat of Mazreano of Dehshir field before and after the rain.

شکل ۱۵. بند خاکی تغذیه مصنوعی قنات دیهوک خرانق.

Fig 16. Earth dam for artificial feeding of Dihok Kharanagh Qanat.

۲-۲- تغذیه مصنوعی زیرزمینی

در صورتی که زمین مناسب برای اجرای تغذیه سطحی وجود نداشته باشد قیمت زمین بالا باشد، منطقه مسکونی باشد و یا در بالای لایه آبدار لایه غیرقابل نفوذ باشد و به هر دلیل دیگر امکان تغذیه سطحی وجود نداشته باشد از روش های تغذیه زیرزمینی استفاده می‌شود. بهنیا (Behnia, 2000) تغذیه به‌وسیله چاه، توأم کردن چاه‌های عمیق با قنات، تغذیه واداری و سد زیرزمینی را به عنوان مهم‌ترین روش‌های تغذیه زیرزمینی بیان کرده است. اما به هر حال مکان یابی مناسب این گونه سازه‌ها به‌دلیل قرارگیری حجم مخزن در زیر زمین و نبود داده مشکل است چرا که عوامل و معیارهای زیادی شامل معیارهای اجتماعی، اقتصادی، زمین شناسی و هیدرولوژی در مکان‌یابی مناسب آنها دخیل می باشند (Chezgi et al., 2020).

در محل تره کار شاخه امتداد یافته در امتداد مسیل قنات دیهوک خرانق سد زیرزمینی به طول ۱۰۰ متر احداث شده است و مادرچاه این قنات در چند متر بالاتر از این سد زیرزمینی واقع شده است. در محل نزدیک دیواره سد در دو طرف این بند دو چاه جهت جمع آوری آب حفر شده است و از طریق آن آب به قنات منتقل می‌شود (شکل ۱۷). در واقع سدهای زیرزمینی یک روش ساده و کاربردی برای جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. این سدها در بستر رودخانه‌ها و ترجیحاً مسیل‌ها احداث می شوند و معمولاً تا سنگ بستر نفوذناپذیر ادامه می‌یابند. با به کارگیری این روش جریان‌های زیرسطحی رودخانه توسط سد متوقف شده و در مخزن آبرفتی بستر رودخانه تشکیل یک سفره آب زیرزمینی محدود می‌دهد (Nilsson, 1998). ترکیب فناوری سدهای زیرزمینی با قنات می‌تواند از هدر رفت جریان‌های کم آب زیرزمینی از داخل آبرفت‌های کم عمق جلوگیری کرده و به داخل قنات هدایت کند (Jafari Bari, 2004). با ذخیره آب قنات در آبرفت پشت سد می‌توان از هدر رفت جریان‌های آب زیرزمینی در طول فصل بارندگی جلوگیری نموده و سفره آب زیرزمینی تغذیه کننده قنات را از نظر کمی بهبود بخشید (Karami, 2013). عدم اشغال بخشی از زمین برای مخزن، عدم تبخیر آب ذخیره‌شده، عدم آسیب سازه در اثر سیلاب، احتمال کمتر آلودگی آب ذخیره‌شده و هزینه کم ساخت از مهم‌ترین مزایای این روش نسبت به روش سطحی می‌باشد.

شکل ۱۷. نمایی از سد زیرزمینی قنات دیهوک خرانق.

Fig 17. A view of the underground dam of Dihok Kharanagh Qanat.

نتیجه‌گیری

در منابع متعدد از آبدهی مداوم قنات به عنوان یکی از مهم‌ترین ضعف‌های سیستم قنات یاد شده است. در واقع این مسئله از این جهت مطرح است که چون اغلب آب قنات‌ها مصرف کشاورزی دارند و در فصل سرد سال با تناقض عرضه و تقاضا به دلیل اینکه از یک طرف نیاز آبی کشاورزی کم است و از سوی دیگر آبدهی قنات به دلیل بارش‌های فصلی افزایش می‌یابد به عنوان ضعف بیان شده است. این مسئله در مورد قنات‌هایی که مصرف شرب دارند مطرح نمی‌باشد. لذا می‌توان این‌گونه استنباط نمود

که انجام اقدامات حفاظتی و افزایش آبدهی برای قنات‌های با مصرف شرب توجیه بیشتری دارد. در این مقاله به بررسی روش‌های تجربی موفق حفاظت و احیای قنات با سه مثال موردی در استان یزد که هر کدام به نوبه خود در کم آب‌ترین منطقه فاقد آبخوان، تأمین کننده آب شرب مردم روستاهای خمسیان شهرستان اشکذر، خرانق اردکان و دهشیر تفت می‌باشند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با اجرای این اقدامات قنات تخریب شده خمسیان با آبدهی ۰/۵ لیتر بر ثانیه وارد مدار بهره‌برداری شد و ضمن محافظت از سیلاب‌های احتمالی آینده، تأمین آب شرب مردم این روستا به شیوه‌ای پایدار، تضمین شد. همچنین مقدار ۲/۵ لیتر بر ثانیه به ظرفیت آبدهی قنات مزرعه‌نو دهشیر اضافه شد و قنات دیهوک خرانق ضمن حفاظت از خطرات سیلاب، آبدهی پایدار قنات در سال کم بارش به مقدار ۰/۵ لیتر بر ثانیه افزایش یافت که انتظار می‌رود با وقوع بارندگی ظرفیت آبدهی این قنات تحت تأثیر بند خاکی تغذیه و سد زیرزمینی افزایش یابد.

منابع

Abdi, P.(2013*). Investigating the condition of the canals of Zanjan province and providing solutions to improve its exploitation, protection and restoration*. Qanat National Conference, Gonabad. [In Persian].

Arzani, N. (2013). *Foothills and plains alluvial cone sediments and their role in controlling canals. A study from Abarkuh Plain (west of Yazd province).* Qanat National Conference, Gonabad. [In Persian].

Behnia, A. (2000). *Qanat construction and Qanat management.* Publications of the University of Tehran Academic Publishing Center. 236 p. [In Persian].

Chezgi, J., Arab Khazaeli, E., & Heshmat pour, A. (2020). Suitable Site Selection of The Underground Dam Construction for Water Resources Management in Arid and Semi-Arid Lands. *Desert Management*, 8(15), 73-84. [In Persian].

Dashti Barmaki, M., Yazdani Noori, Z., & Moradinejad, T. (2023). Locating an underground dam to supply water to the iron ore mine of Sangan, Khaf. *Journal of Auifer and Qanat*, 4(1), 117-137. [In Persian].

Eshghizadeh, M., & Noura, N. (2010). Determining The Suitable Site For Underground Dam Construction On Qanat A Case Of Study, Dahanchenar Qanat Of Kalat Watershed In Gonabad. *Journal Of Water And Soil Conservation (Journal Of Agricultural Sciences And Natural Resources)*, 17(3), 45-64. [In Persian].

Forziri, G., Gardenti, M., Caparrini, F., & 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*, Parts A/B/C, 33(1-2), 74-85.

Ghayour, H. (1991). A new perspective on the aqueduct in Iran and how it is distributed in different geographical areas. *Geographical Research Quarterly*. 6(23), 116-132. [In Persian].

Jafari Bari, M. (2004). *Investigating the role of underground dams on the irrigation of Qanats*. National Conference of Qanats, Gonabad. [In Persian].

Karami, Gh. (2013). *Small aqueducts in mountain waterways: features and how to prevent water wastage in cold months*, National Conference of Qanats, Gonabad. [In Persian].

Khadiv Jam, h. (1994). *Extraction of underground water*. Publications of the UNESCO National Commission in Iran, Tehran. [In Persian].

Khorsandi Aghaei, A., Abdollahi, M. (2007). *Kariz or Qanat; A case study of Qanats in Tehran*, Shahrnagar Publication, 7(40), 54-60. [In Persian].

Khozeymehnezhad, H. Nazeri Tehrodi, M. & Tabatabai, S.M. (2021). *Qanat water structure*. University of Birjand Press. 242 p. [In Persian].

Kordavani, P. (1995). *Geohydrology in geography*. Tehran University Publications. 368 p. [In Persian].

Lightfoot, D. R. (1996). Moroccan khettara: traditional irrigation and progressive desiccation. *Geoforum*, 27(2), 261-273.

Mahdavi, M. (1993). *Investigation and geographical recognition of water resources in Iranian villages.* Academic Jahad Publications. 218 p. [In Persian].

Mehdipour, A., Bani Asadi, M. & Ghaem Maghamian, Sh. (2014). *Investigating the effect of earth dams on increasing the water flow of aqueducts.* Qanat International Conference, Kerman. [In Persian] .

Naderi, N. & Abbasi, F.(2017). Study of the status of the qanats and irrigation in their agricultural lands in Semnan province. *Journal of Water Research in Agriculture*. 31(3): 413-424.

Nilsson, Å. (1988*). Groundwater Dams For Small-Scale Water Supply* (Pp. Xi+-69pp) .

Ranjbar Naeini, S., Garshsbi, P., & Chatrsimab, Z. (2017). Study on the Effects of Qanats, wells and springs on the evacuation of groundwater resources in the main watershed of Iran. *Journal of Auifer and Qanat*, 1(1), 38-49. [In Persian].

Reyhani, M. H., & Elengar, M. H. (2007). Collapse hazard zonation of qanats in greater Tehran area. *Geotechnical and Geological Engineering*, 25, 327-338. [In Persian].

Salmanpour, A. (2022). *Construction of an underground dam in the aqueduct to revive the*

aqueduct. The 11th National Conference of Catchment Surface Systems, Bojnourd.[In Persian].
Sankaran Nair, V. (2004). *Etymological conduit to the land of qanat*. Electronic documents are available at http://www. boloji. com/environment, 24.
Tabatabaei, S. M., & Khozeymehnezhad, H. (2022). Studying Qanat, Protective Methods and Increasing its Discharge. *Journal of Auifer and Qanat*, 3(1), 17-28. [In Persian].