



Hydraulic Material Stability and Morphological Configurations of Qanat Outlets in South Khorasan

Ehsan Fallahi¹ | Raziye Shamshegaran² | Hossein Khozaymehnezhad³,

1. Ph.D Student of Water Resources, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. Ph.D Candidate of Civil Engineering -Water Resources Engineering and Management, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. Associate Professor of Water Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

✉Corresponding Author: hkhoyemeh@birjand.ac.ir

Received:
18 April 2025

Revised:
08 June 2026

Accepted:
11 June 2026

Keywords:

Qanat Outlet, Qanat Sustainability Management, Socio-Architectural Interactions, Qanat Architecture, Drought.

Extended abstract

Introduction

The unsustainable depletion of groundwater resources in arid and semi-arid regions highlights the critical need to reassess traditional water management infrastructures. Among these, the qanat system stands out as a historically sustainable masterpiece. However, recent physical interventions, structural alterations, and varying restoration approaches have drastically modified the outlets of these systems. The outlet serves as a socio-ecological and hydraulic nexus where water delivery meets community interaction. This study systematically evaluates how structural morphologies, historical authenticity, and the choice of building materials affect both the technical sustainability and community safety perceptions of qanat outlets in South Khorasan Province, Iran.

Materials and Methods

The study was conducted across South Khorasan Province, evaluating 10 prominent and strategically chosen qanats (Seyyed Morad, Cheshmeh Rach, Fathabad, Qarand, Arbaeh, Sheikhan, Tagaband, Gaz, Mahakan, and Roumeh) spanning seven counties.

Cite this article: Fallahi, E., Shamshegaran, R. & Khozaymehnezhad, H. (2026). Hydraulic material stability and morphological configurations of Qanat outlets in South Khorasan. *Journal of Aquifer and Qanat*, 7 (1), 93-112. <https://doi.org/10.22077/jaaq.2026.11158.1141>.



Copyright: © 2026 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/>).

To gather specialized knowledge and local user insights, a semi-structured questionnaire was deployed. The sample size consisted of 39 carefully selected respondents divided into two primary groups: technical experts/restorers and local farmers/owners. Content validity was verified through a panel of 5 academic experts in vernacular architecture, heritage conservation, and hydrology, while internal consistency was verified via Cronbach's alpha ($\alpha = 0.67$). Data processing and advanced multivariate evaluations were executed using Python alongside SPSS for reliability profiling. Due to the ordinal nature of the Likert-scale data and non-normal distributions confirmed by the Shapiro-Wilk test ($p < 0.05$), rigorous non-parametric frameworks were utilized:

- Perceived Safety Quantification: Formulated as the Safety Perception Index ($SPI = x_{\text{Safety}}$) to gauge psychological and physical security.
- Material Evaluation: Formulated as the composite Hydro-Material Stability Index ($HMSI = (x_{\text{Safety}} + x_{\text{Durability}})/2$) and the Historical Authenticity Index ($HI = x_{\text{Identity}}$), scaled on a 1–5 range.
- Statistical Inference: Kruskal-Wallis H tests and 95% confidence intervals were implemented to evaluate mean scores across different architectural typologies and material classifications, replacing conventional parametric tests to prevent statistical bias in a specialized small sample size.

Results and Discussion

Inferential statistical analysis using 95% CI and density distribution profiling demonstrated that morphological configurations heavily dictate community interactions and safety. Roofed and chambered outlets significantly optimized the Safety Perception Index (SPI), yielding the highest security scores and the lowest variance among respondents compared to exposed, open-top structures.

Regarding material composition, a clear structural tension between durability and heritage conservation was unveiled. Traditional materials (local stone and sarooj mortar) demonstrated statistical superiority in terms of long-term climate-technical adaptability and holistic stability (HMSI). Conversely, modern interventions utilizing concrete and cement, while showing high scores in the short-term durability sub-index, caused a critical decline in physical authenticity, dropping the index significantly into the degraded zone ($HI < 2.5$). Furthermore, the managerial diagnostic assessment identified functional abandonment, lack of scheduled preventive maintenance, and structurally incompatible modern restorations as the primary multi-variable drivers shifting these ancient hydro-structures into highly vulnerable, semi-active regimes.

Conclusion

The holistic sustainability of traditional hydrological systems cannot be achieved through isolated, purely structural viewpoints. Modern concrete-based restorations often salvage short-term structural durability at the expense of irreversible damage to historical identity and structural authenticity. Effective preservation requires shifting from fragmented engineering interventions toward an "Integrated Qanat Sustainability Management" paradigm. This approach successfully synchronizes local indigenous knowledge, community safety perceptions (SPI), and hydro-material integrity (HMSI), establishing a balanced coexistence between structural stabilization and the revitalization of invaluable hyper-local heritage.



پایداری هیدرومتریال و پیکربندی‌های مورفولوژیک مظهر قنات در خراسان جنوبی

احسان فلاحي^۱ | راضیه شمشیرگران^۲ | حسین خزیمه‌نژاد^۳ ✉

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

✉ نویسنده مسئول: hkhozeymeh@birjand.ac.ir

چکیده

کاهش منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک، ضرورت بازخوانی نقش مظهر قنات را در پایداری سازه‌ای و اجتماعی دوچندان کرده است. این پژوهش با هدف واکاوی اثرات مداخله کالبدی بر عملکرد مظهر، به ارزیابی ۱۰ قنات شاخص در استان خراسان جنوبی می‌پردازد. داده‌های حاصل از ۳۹ پرسش‌نامه در پائل خبرگان و بهره‌برداران، از طریق آزمون‌های ناپارامتریک شاپیرو-ویلک، کروسکال-والیس و ضریب اسپیرمن در محیط Python و SPSS تحلیل شد. برای کمی‌سازی ادراکات، سه شاخص ادراک ایمنی (SPI)، پایداری هیدرومتریال (HMSI) و اصالت کالبدی (HI) در بازه ۱ تا ۵ فرموله شدند. تحلیل استنتاجی فواصل اطمینان ۹۵٪ نشان داد فرم‌های مسقف و اتاق‌دار با ارتقای معنادار شاخص SPI، بیشترین میزان امنیت روانی-فیزیکی و کمترین پراکندگی نظرات را نسبت به ساختارهای روباز دارند. ارزیابی مقایسه‌ای شاخص پایداری هیدرومتریال بیانگر برتری آماری مصالح سنتی (سنگ و ساروج) در پایداری فنی-اقلیمی است؛ درحالی‌که ورود مصالح مدرن (بتن و سیمان) با وجود صعود در زیرشاخص دوام، افت شدیدی در شاخص اصالت کالبدی ($HI < 2.5$) ایجاد کرده و تضاد ساختاری میان دوام و هویت میراثی را آشکار می‌سازد. آسیب‌شناسی مدیریتی نشان داد رهاشدگی عملکردی، فقدان نگهداری پیشگیرانه و مرمت‌های ناسازگار، عوامل کلیدی انتقال قنات به وضعیت شکننده هستند. یافته‌های این ارزیابی چندمتغیره تأکید می‌کند که پایداری کل‌نگر سامانه‌های آبی سنتی، مستلزم گذر از نگاه تک‌بعدی سازه‌ای و اتخاذ رویکرد «مدیریت یکپارچه پایداری قنات» جهت موازنه میان بهسازی کالبدی و احیای اصالت میراثی است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۱/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۱

کلیدواژه‌ها:

مظهر قنات، مدیریت پایدار قنات، تعاملات اجتماعی-کالبدی، معماری قنات، خشکسالی.

مقدمه

مظهر قنات در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فراتر از یک سازه هیدرولیکی ساده جهت تخلیه آب‌های زیرزمینی، به عنوان یک محیط کالبدی-اجتماعی و کانون شکل‌گیری تعاملات تمدنی شناخته می‌شود (Fallahi et al., 2015; Barhamand, 2008). این زیرساخت مهندسی باستان، در طول اعصار به‌عنوان نقطه اتصال میان اکوسیستم هیدرولوژیک و زیست‌بوم انسانی عمل کرده و نقش حیاتی در پایداری سکونتگاه‌ها و تبلور هویت فرهنگی جوامع بومی ایفا نموده است (Branduini et al., 2021).

با این وجود، در دهه‌های اخیر، تقابل میان ضرورت‌های فنی نوسازی سازه‌ای با استفاده از مصالح مدرن و لزوم صیانت از اصالت تاریخی و هویت بصری این میراث مهندسی، به یک چالش جدی در مدیریت پایدار منابع آب تبدیل شده است (Madanian Mohammadi & Hashemi, 2015). این تضاد کالبدی می‌تواند منجر به گسست پیوند میان جامعه و زیرساخت‌های سنتی شده و تاب‌آوری سیستم‌های بومی را در مواجهه با تغییرات محیطی مخدوش سازد (Tabatabaei & Khozaymehnezhad, 2022; Branduini et al., 2021).

اهمیت واکاوی مظهر قنات در آن است که ویژگی‌های کالبدی و معماری آن، از جمله وجود عناصر الحاقی نظیر سایه‌بان‌ها و فضاهای تجمع، مستقیماً بر کارآمدی نظام‌های سنتی مدیریت آب و بازتولید سرمایه‌های اجتماعی تأثیرگذار است (Fadakar davarani, 2009). هرگونه مداخله کالبدی ناسازگار در مظهر، نه تنها دوام فیزیکی سازه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه می‌تواند الگوهای رفتاری ذی‌نفعان و پایداری حکمرانی محلی آب را نیز دستخوش تغییر نماید (Tabatabaei & Khozaymehnezhad, 2022; Taghavi-Jeloudar et al., 2013).

از این رو بررسی ابعاد مهندسی قنات نشان می‌دهد که پایداری این سازه‌ها در طول هزاره‌ها، محصول درک عمیق مقنیان از زمین‌شناسی و رفتار مصالح سنتی در محیط‌های هیدرولیکی بوده است (Yaghoobzadeh et al., 2026). سمسار یزدی و همکاران وی در مطالعات خود پیرامون تکنولوژی‌های بومی قنات، بر این نکته تأکید کرده‌اند که حفر و نگهداری قنات مستلزم دانشی گسترده در علوم زمین و مهندسی است که از نسلی به نسل دیگر منتقل شده است. آن‌ها اشاره می‌کنند که برخورد با موانع زمین‌شناختی و پدیده‌هایی نظیر ریزش گالری‌ها، منجر به انباشت دانش فنی در زمینه به‌کارگیری مصالح مقاوم در برابر خوردگی و رسوب شده است (Semsar Yazdi & Labbaf Khaneiki, 2017; Semsar Yazdi & Labbaf Khaneiki, 2016). در همین راستا، کوچکی و ولی‌بیگ در سال ۱۳۹۸ با کالبدشکافی اجزای ساختاری قنات شامل مظهر، هرنج و پیشکار، تأکید می‌کنند که انتخاب مواد و مصالح در ساخت این اجزا کاملاً تابع دانش مقنی از تکنولوژی حفر و شرایط زمین‌شناختی منطقه بوده است؛ به‌طوری که پایداری کالبدی هر بخش، در گرو انطباق دقیق مصالح با کارکرد هیدرولیکی آن جزء تعریف می‌شود (Koocheki & Vali Beig, 2019). ازسوی دیگر، میرهاشمی روته با نگاهی تحلیلی به مهندسی طراحی و اجرا، فرایند ساخت قنات را از مرحله گمانه‌زنی تا مدیریت هزینه‌های حفظ و نگهداری، یک نظام مهندسی هوشمند می‌داند که مستقیماً بر الگوهای اسکان و تکنولوژی زیست‌محیطی اثرگذار بوده است (Mirhashemi Rote, 2011). همچنین، تقوی و همکارانش (۲۰۱۳) با بررسی وضعیت باستانی قنات، پیشنهاد دادند که برای بقای این سازه‌ها در دوران مدرن، می‌توان از تلفیق مواد و تکنولوژی‌های نوین برای تقویت و محافظت از مصالح سنتی در برابر فرسایش استفاده کرد تا کارایی هیدرولیکی سیستم حفظ شود (Taghavi-Jeloudar et al., 2013).

لا یروبی، کول گذاری و توسعه گالری، با عوامل تخریب‌زای طبیعی و انسانی مقابله کنند (Semsar Yazdi & Labbaf, 2022; Zhang et al., 2023). این مدیریت مشارکتی، قنات را به یک مدل پایدار در نبرد با کم‌آبی تبدیل کرده‌است که در آن، حفظ هویت و پایداری سازه به طور مستقیم با بقای جامعه و ارتقای تاب‌آوری سکونتگاه‌های روستایی گره خورده‌است (Shamshirgaran et al., 2025; Abbasi, 2024;)

(Branduini et al., 2021; Khosravi et al., 2026)

هدف از پژوهش حاضر، واکاوی چندجانبه عوامل مؤثر بر مؤلفه‌های کالبدی و کارکردی مظهر قنات در استان خراسان جنوبی است که با تمرکز بر دانش بومی مقنیان و صاحب‌نظران حوزه میراث هیدرولیکی انجام می‌پذیرد. این مطالعه بر آن است تا از طریق پیمایش میدانی و تحلیل داده‌های حاصل از پرسش‌نامه‌های تخصصی، رابطه میان الگوهای معماری، پایداری مصالح و کیفیت تعاملات اجتماعی را در این محیط هیدرولوژیک - اجتماعی تبیین نماید. در نهایت، این تحقیق به دنبال ارائه یک چارچوب تحلیلی برای حفاظت هویت‌محور و ارتقای تاب‌آوری سازه‌ای قنات در مواجهه با چالش‌های نوسازی مدرن در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های قنات در ایران مبنای این مطالعه قرار گرفته است (Hassan Pour et al., 2025). تمرکز این پژوهش بر ۱۰ قنات نمونه از هفت شهرستان (نهبندان، خوسف، فردوس، قاین، بشرویه، بیرجند و سربیشه) می‌باشد. قنات مورد بررسی در این پژوهش به‌صورت هدفمند و بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای کیفی، کالبدی و عملیاتی انتخاب شده‌اند تا بازنمایی معناداری از طیف مداخلات انجام‌شده بر مظهر

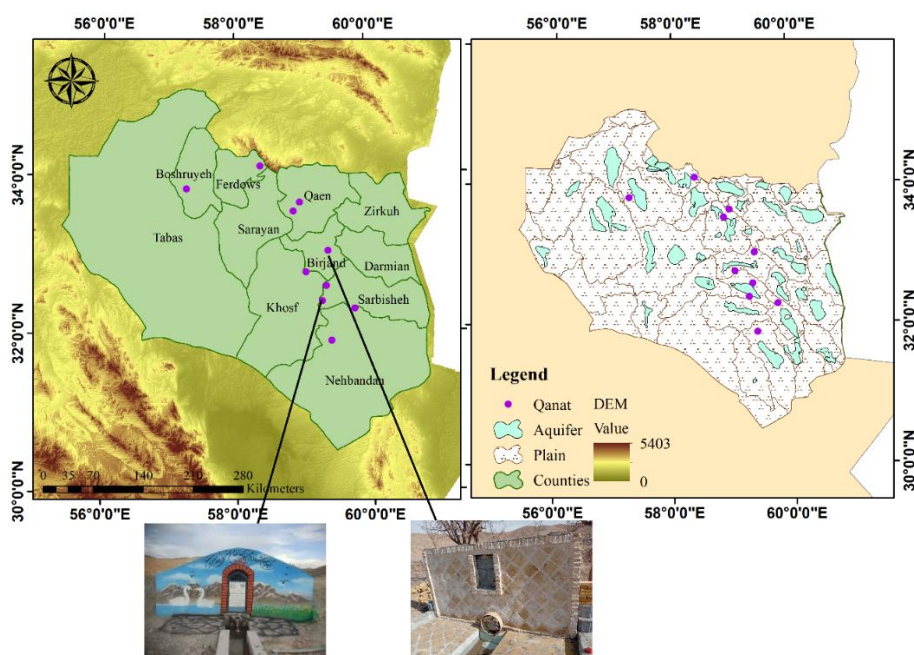
لذا مظهر قنات در مطالعات اجتماعی، نه‌تنها یک ابزار انتقال آب، بلکه به تعبیر دارویی و همدانی (۲۰۲۲)، ابزاری برای پایداری زیست‌محیطی و ارتقای کیفیت زندگی در سکونتگاه‌های شهری و روستایی است که از طریق تعامل بهینه انسان و طبیعت در مناطق خشک شکل گرفته‌است (Darouei & Kashani Hamedani, 2022). از ای نرو پازواش در کتابی با عنوان «قنات‌ها و سازه‌های تاریخی در ایران: کاربردهای بالقوه مدرن»، چگونگی تبدیل مظهر قنات و فضاها جانبی آن نظیر تقسیم‌کننده‌های آب و مخازن، به مراکز تمدنی و تولید غذا را تشریح کرده و به بررسی معماری آن‌ها به گونه‌ای که پاسخگوی نیازهای اجتماعی و معیشتی جوامع باشد، می‌پردازد (Pazwash, 2024). علاوه بر این، مطالعات انجام شده توسط هو و همکاران وی نشان داد که قنات علیرغم محدودیت در تأمین تمامی نیازهای مدرن، به دلیل دلالت‌های فرهنگی و اکولوژیک عمیق، به عنوان میراثی که پیونددهنده جامعه با محیط زیست است، اهمیت دارند. این فضاها با فراهم آوردن بستری برای تجمع و فعالیت‌های روزانه، نقش بی‌بدیلی در انسجام اجتماعی ایفا کرده‌اند (Hu et al., 2012).

همچنین بقای سازه‌ای و عملکردی قنات به‌شدت به نظام‌های سنتی مدیریت و مشارکت فعال ذی‌نفعان وابسته است. یزدی و خانیکی (۲۰۲۲) در اثر خود تحت عنوان «رگ‌های کویر»، تأکید دارند که قنات در یک نظام اقتصادی-اجتماعی محصور شده‌اند که پایداری آن‌ها را تضمین می‌کند. در این نظام، نقش‌های تعریف شده‌ای برای مقنی (به عنوان حافظ دانش فنی)، میرآب (به عنوان مدیر توزیع) و بهره‌بردار وجود دارد که همکاری نزدیک آن‌ها نگهداری مستمر سازه را میسر می‌سازد (Semsar Yazdi & Labbaf Khaneiki, 2022). مطالعات متعددی نیز بیان می‌کند که اتمام ساخت قنات به معنای پایان کار نیست؛ بلکه ذینفعان باید با پایش دائمی و اقداماتی نظیر

مداخله کالبدی، برداشت ذی‌نفعان محلی و پیامدهای عملکردی قنات را فراهم می‌سازد (Burkett, 2019). بدین ترتیب، پراکنش مکانی این قنات در جدول ۱ و شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین به‌منظور تکمیل داده‌های مکانی و کالبدی، از مظهر هر یک از ۱۰ قنات منتخب برداشت تصویری میدانی انجام شد. این تصاویر که در شکل ۲ به‌صورت پانلی ارائه شده‌اند، نمایانگر وضعیت کنونی دهانه و نوع مصالح به‌کاررفته مرمتی در هر قنات هستند و امکان مقایسه مستقیم نمونه‌ها را در چارچوب تحلیل‌های این پژوهش فراهم می‌سازند.

قنات‌ها در دهه‌های اخیر در سطح منطقه فراهم نشود. منطق انتخاب این نمونه‌ها مبتنی بر آن است که مظهر، به‌عنوان گره‌ای کلیدی در انتقال جریان، پایداری سازه‌ای و تعاملات اجتماعی، نقشی تعیین‌کننده در عملکرد هیدرولیکی و دوام کالبدی قنات ایفا می‌کند (Azhodi, 2025).

هر یک از این ۱۰ قنات، اگرچه در بستر مشترک بحران منابع آب زیرزمینی قرار دارند، مسیر بازسازی و مداخله‌ای متفاوت را در پاسخ به محدودیت‌های فنی، اقتصادی و مدیریتی طی کرده‌اند. این تفاوت‌ها، به‌ویژه در انتخاب مصالح، هندسه مظهر و اولویت‌های مرمتی تحت شرایط محدودیت بودجه، امکان تحلیل تطبیقی رابطه میان نوع



شکل ۱. موقعیت مکانی قنات مورد مطالعه در استان خراسان جنوبی

Fig 1. Geographic Location of the Studied Qanats in South Khorasan Province.

جدول ۱. مشخصات مکانی قنات منتخب در استان خراسان جنوبی

Table 1. Spatial Characteristics of the Selected Qanats in South Khorasan Province

ردیف No.	نام شهرستان County Name	نام قنات Qanat Name	مختصات Coordinates	
			X	Y
1	نهبندان Nehbandan	سید مراد Seyyed Morad	760627	3577458
2	خوسف Khusf	چشمه رچ Cheshmeh Rach	692313	3627962

3	فردوس Ferdows	فتح آباد Fathabad	627776	3776141
4	قاین Qaen	قارند Qarand	674117	3713315
5	بشرویه Boshrouyeh	اربعة Arbaeh	524591	3743972
6	بیرجند Birjand	شیخان Sheikhan	722846	3658082
7	قاین Qaen	تگابند Tagaband	682909	3725718
8	سریشة Sarbisheh	گز Gaz	720637	3608845
9	سریشة Sarbisheh	ماهکان Mahakan	715208	3587585
10	نهنندان Nehbandan	رومه Roumeh	728613	3532177



قنات تگابند - مظهر دارای حوضچه آرامش یا رسوب گیر



قنات سید مراد - دارای مظهر با دهانه باز - ساده (سنگی)



قنات گز - مظهر آجری



قنات چشمه رج - مظهر دارای حوضچه آرامش یا رسوب گیر



قنات ماهکان - مظهر مسقف و دارای اتاقک



قنات فتح آباد - مظهر دارای حوضچه آرامش یا رسوب گیر



شکل ۲. تصاویری از مظهر قنات‌های مورد مطالعه
Fig 2. Images of the studied Qanat Outlets

کشاورزان آگاه در پیرامون هر قنات و همچنین تمایز در روش جمع‌آوری داده‌ها (مصاحبه عمیق در برخی موارد و تکمیل خوداظهاری پرسش‌نامه در موارد دیگر) می‌باشد. انتخاب قنات مورد مطالعه با تأیید سازمان جهاد کشاورزی و بسیج سازندگی استان و بر مبنای معیارهای «پراکندگی جغرافیایی» و «تنوع مورفولوژیک مظهر قنات» انجام شده است. با این حال، ناهمگونی ساختار نظامات مالکیتی (نظیر ساختار تک‌مالکی در قنات رومه در مقایسه با الگوی خرده‌مالکی و فراوانی ذی‌نفعان مطلع در قنات فتح‌آباد فردوس) و همچنین دسترسی‌پذیری محدود به مقنیان سنتی واجد شرایط، به محدودیت حجم نمونه ($N=39$) و توزیع ناهمگن پرسش‌نامه‌ها میان قنات منجر گردید. اگرچه این توزیع نامتوازن، پتانسیل تعمیم‌پذیری یافته‌های آماری را کاهش داده و تحلیل‌ها را به سمت رویکردی تفسیری-اکتشافی سوق می‌دهد، اما با توجه به ماهیت اکتشافی پژوهش و لزوم استخراج دانش تخصصی

جامعه آماری و نمونه‌گیری

جامعه آماری این پژوهش شامل کلیه خبرگان محلی و بهره‌برداران مرتبط با قنات‌های منتخب در هفت شهرستان استان خراسان جنوبی است که شامل دو گروه اصلی «کارشناسان فنی، معماران و مرمت‌گران» و «کشاورزان و مالکان» می‌شود. با توجه به ماهیت اکتشافی پژوهش و نیاز به دسترسی به دانش بومی و تخصصی در زمینه قنات‌ها، از روش نمونه‌گیری هدفمند برای انتخاب آگاهانه خبرگان فنی و از روش گلوله برفی برای دسترسی به کشاورزان و مالکان آگاه استفاده شده است.

حجم نمونه با در نظر گرفتن تنوع قنات‌های مورد مطالعه (۱۰ قنات) و پراکندگی جغرافیایی آنها در هفت شهرستان، ۳۹ پرسش‌نامه تعیین گردید که تعداد پرسش‌نامه‌های تکمیل شده برای هر قنات بسته به تعداد خبرگان در دسترس و میزان همکاری بهره‌برداران، بین ۱ تا ۶ پرسش‌نامه متغیر است. علت این ناهمگونی در تعداد پرسش‌نامه‌ها، تفاوت در تعداد مقنیان فعال، مالکان و

خبرگان، عمق و روایی محتوایی داده‌های گردآوری شده

Table 2. Sample Size of the Studied Case

حجم نمونه Sample size	قنات‌های مورد بررسی Qanats under study	نام گروه Name of group
9	سید مراد Seyyed Morad چشمه رچ Cheshmeh Rach فتح آباد Fathabad قارند Qarand اربعة Arbach شیخان Sheikhan تگابند Tagaband گزر Gaz ماهکان Mahakan سید مراد Seyyed Morad	کارشناس فنی، معمار یا مرمت گر / مقلی Technical expert, architect, or restorer / Qanat digger
30	چشمه رچ Cheshmeh Rach فتح آباد Fathabad قارند Qarand اربعة Arbach شیخان Sheikhan تگابند Tagaband گزر Gaz ماهکان Mahakan رومه Roumeh	کشاورز یا مالک Farmer or owner
39	مجموع Sum	

ابزار گردآوری داده‌ها در این پژوهش، پرسش‌نامه‌ای نیمه‌ساختاریافته بود که به منظور ارزیابی ویژگی‌های

ابزار گردآوری و روش تحلیل داده‌ها

کالبدی، مصالح و برداشت‌های فرهنگی مرتبط با مظهر قنات در استان خراسان جنوبی طراحی گردید (جدول ۳). روایی محتوایی ابزار از طریق داوری خبرگان رشته‌های معماری بومی، مرمت و منابع آب تأیید شد. برای تأمین روایی محتوایی پرسش‌نامه، از روش ارزیابی کیفی مبتنی بر داوری تخصصی استفاده شد (Nasirian et al., 2026). بدین منظور، پرسش‌نامه طراحی شده در اختیار پنج نفر از اساتید و خبرگان رشته‌های معماری بومی، مرمت آثار تاریخی، منابع آب و هیدرولوژی قرار گرفت. این گروه متخصص، سؤالات را از نظر تطابق با مفاهیم نظری، جامعیت در پوشش مؤلفه‌های مورد نظر (کالبدی، مصالح و برداشت‌های فرهنگی) و وضوح عبارات مورد بررسی قرار دادند و در نهایت، ابزار از نظر روایی محتوایی توسط

خبرگان تأیید شد. پایایی پرسش‌نامه نیز با استفاده از نرم‌افزار پایتون و محاسبه ضریب آلفای کرونباخ مورد سنجش قرار گرفت. براساس نتایج، ضریب آلفای کرونباخ برای مؤلفه‌های فنی و کالبدی (شامل ماندگاری مصالح، اثر آب و تناسب ساختاری) برابر با ۰/۶۷ به‌دست آمد که با توجه به ماهیت اکتشافی پژوهش و محدودیت حجم نمونه (۳۹ پرسش‌نامه)، بیانگر همسانی درونی نسبتاً قابل قبول این بخش از ابزار است. در ادامه، جهت بررسی همبستگی میان مؤلفه‌های فنی و ادراکی (هویت، ارزش اجتماعی و معناشناسی محلی)، داده‌های نهایی وارد دستورالعمل تحلیل آماری شدند.

جدول ۳. ابعاد، مؤلفه‌ها و گویه‌های پرسش‌نامه

Table 3. Dimensions, Components, and Items of the Questionnaire

مقیاس اندازه‌گیری Measurement Scale	متغیرها / گویه‌ها Variables / Items	بعد اصلی Main Dimension
اسمی، ترتیبی Nominal, Ordinal	نقش در ارتباط با قنات (مقنی، بهره‌بردار، مدیر محلی، کارشناس، سایر)؛ سابقه فعالیت یا سکونت (سال)؛ نام قنات و موقعیت مکانی Role in relation to the qanat (qanat worker, user, local manager, expert, others); duration of activity or residence (years); name of the qanat and geographical location	مشخصات زمینه‌ای پاسخ‌دهنده Contextual Characteristics of Respondents
اسمی، ترتیبی Nominal, Ordinal	شکل هندسی دهانه (باز، طاق‌دار، دارای حوضچه، مسقف)؛ وضعیت ایمنی و سهولت دسترسی (بسیار عالی تا بسیار ضعیف) Geometric shape of the opening (open, arched, with a basin, covered); safety status and ease of access (very good to very poor)	ویژگی‌های کالبدی مظهر Physical Characteristics of the Outlet
اسمی Nominal	نوع مصالح اصلی (سنگ محلی، آجر سنتی، بلوک سیمانی، ترکیبی)؛ ملاک انتخاب مصالح (دسترسی، ماندگاری، هزینه، حفظ هویت)؛ تأثیر آب بر مصالح (تخریب، رسوب، تغییر رنگ، بدون اثر) Type of primary materials (local stone, traditional brick, concrete block, composite); criteria for material selection (availability, durability, cost, preservation of identity); impact of water on materials (destruction, sedimentation, discoloration, no effect)	مصالح‌شناسی و دوام سازه Material Composition and Durability of the Structure

ادراکات و نگرش‌ها Perceptions and Attitudes	اولویت دوام بر زیبایی؛ تأثیر مصالح مدرن بر هویت تاریخی؛ نقش معماری مظهر در تعاملات اجتماعی؛ کارآمدی نظام سنتی تقسیم آب (فنجان)؛ ارزش معنوی و نمادین مظهر برای اهالی Priority of durability over aesthetics; impact of modern materials on historical identity; role of the spring's architecture in social interactions; effectiveness of the traditional water distribution system (cup); spiritual and symbolic value of the spring for the locals	طیف لیکرت ۵ درجه‌ای + گزینه بی‌نظم 5-point Likert scale + "I have no opinion" option
عوامل تخریب و نگهداری Destruction and Maintenance Factors	عامل اصلی تخریب (سیلاب، ساخت‌وساز غیرمجاز، مرمت ناصحیح، رهاشدن؛ فواصل زمانی مرمت و لایروبی (سالانه، موردی، بسیار به‌ندرت) Main cause of destruction (flood, illegal construction, improper restoration, abandonment); intervals for restoration and dredging (annual, occasional, very rarely)	اسمی Nominal
دانش بومی و اولویت‌های مرمت Indigenous Knowledge and Restoration Priorities	بهترین مصالح بومی برای ماندگاری؛ باورهای محلی مرتبط با مظهر؛ اولویت اصلاح در صورت بودجه محدود Best local materials for durability; local beliefs related to the spring; priority for restoration in case of limited budget	کیفی Qualitative

جهت کمی‌سازی ادراکات کیفی خبرگان و امکان سنجش
آماري روابط چندمتغیره، سه شاخص اصلی فرموله شدند.
با توجه به ماهیت اکتشافی پژوهش و به‌منظور جلوگیری
از اعمال سوگیری در گام ابتدایی، وزن گویه‌های
تشکیل‌دهنده هر شاخص بر اساس رویکرد وزن‌دهی

یکنواخت برابر در نظر گرفته شد. دامنه تغییرات کلیه
شاخص‌ها بر مبنای طیف لیکرت استوار است. جزئیات
روش‌شناختی، فرمول‌های محاسباتی و معیارهای تفسیر
این شاخص‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. چارچوب فرمولاسیون، وزن‌دهی و تفسیر شاخص‌های تحلیلی پژوهش

Table 4. Framework for formulation, weighting, and interpretation of research analytical indicators

معیار تفسیر مقادیر Criteria for interpretation of values	دامنه امتیازدهی Scoring range	فرمول محاسباتی ریاضی Mathematical calculation formula	تعریف متدولوژیک Methodological definition	نام شاخص Index name
$2.5 < \text{پایین}$ $2.5 - 3.5$ متوسط $3.5 > \text{بالا}$	$1.00 \leq \text{SPI} \leq 5.00$	$\text{SPI} = x\text{Safety}$	سنجش میزان امنیت روانی و فیزیکی بهره‌برداران بر اساس پیکربندی کالبدی-معماری مظهر قنات که بومی‌سازی شده‌است (Institute for Economics & Peace, 2023).	شاخص ادراک ایمنی Safety perception index (SPI)

شاخص پایداری هیدرومتریال Hydro material stability index (HMSI)	سنجش هم‌افزایی و موازنه میان دوام سازه‌ای و حفظ هویت میراثی مظهر در بستر مصالح به‌کاررفته است. چارچوب نظری این شاخص ترکیبی، مبتنی بر ادغام مبحث پایداری هم‌پیوسته سامانه‌های آبی (Nasiri & Mafakheri, 2015) و نظریه تداوم کارکرد از طریق حفاظت لایه‌های کالبدی (Vakil, 2022) توسعه یافته است.
شاخص اصالت کالبدی (تاریخی) Historical Authenticity (HI)	شاخص اصالت کالبد، تجسم میزان تاب‌آوری هویت بومی سازه در برابر ورود مصالح ناهمگون و مدرن است که مبنای نظری آن بر حفاظت لایه‌های کالبدی-معنایی استوار است (Vakil, 2022).
$HMSI = \frac{xSafety + xDurability}{2}$ $1.00 \leq HMSI \leq 5.00$ 2.5 < شکنده 2.5-3.5 نیمه پایدار 3.5 > پایدار	$HI = x \text{ Identity}$ $1.00 \leq HI \leq 5.00$ 2.5 < اصالت مخدوش 2.5-3.5 اصالت نسبی 3.5 > اصالت بکر

دستورالعمل تحلیل آماری داده‌ها

به‌منظور پردازش داده‌های کمی و استخراج الگوهای چندمتغیره، تحلیل آماری در سه گام متوالی پیاده‌سازی شد. ابتدا، جهت سنجش همسانی درونی و پایایی ابزار تحقیق، ضریب آلفای کرونباخ در محیط نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید. سپس جهت سنجش پیش‌فرض توزیع نرمال داده‌ها، آزمون شاپیرو-ویلک^۱ به دلیل کارایی بالا در نمونه‌های کوچک ($N < 50$) اعمال گردید. با توجه به غیرنرمال بودن توزیع برخی گویه‌های ادراکی ($P < 0.05$) و ماهیت رتبه‌ای طیف لیکرت، آزمون ناپارامتریک ضریب همبستگی اسپیرمن (P) برای متغیرهای کیفی/رتبه‌ای و آزمون پیرسون (r) برای متغیرهای مقیاس کالبدی به کار گرفته شد.

در گام دوم، برای مقایسه میانگین شاخص ادراک ایمنی (SPI) و شاخص پایداری هیدرومتریال میان گویه‌های مختلف، از استنتاج آماری مبتنی بر فواصل اطمینان ۹۵

درصد (95% CI) و آزمون ناپارامتریک کروسکال-والیس^۲ استفاده شد. در نهایت، جهت تبیین تقابل اولویت‌های عملکردی (دوام) و ارزش‌های میراثی (هویت)، تحلیل مقایسه‌ای میانگین‌ها و توزیع چگالی داده‌ها صورت گرفت. فرایند محاسبات ضریب پایایی در نرم‌افزار SPSS صورت گرفت، درحالی‌که سایر تحلیل‌های آماری پیشرفته، آزمون‌های غیرپارامتریک، محاسبات فواصل اطمینان و رسم نمودارهای توزیع چگالی احتمال و نمودارهای ستونی گروهی در محیط نرم‌افزار Python و با استفاده از کتابخانه‌های Scipy.stats، Statsmodels و Seaborn انجام شده است.

نتایج و بحث

واکاوی کالبدی و ایمنی

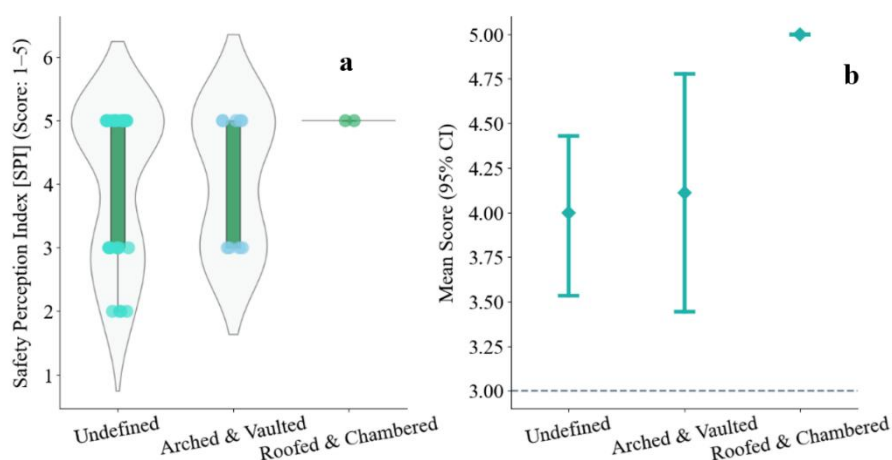
تحلیل چندمتغیره میان کالبد معماری و ادراک ایمنی (شکل ۳) نشان می‌دهد که پیکربندی‌های مورفولوژیک مظهر قنات، نقشی تعیین‌کننده در امنیت روانی و فیزیکی

² Kruskal-Wallis H

¹ Shapiro-Wilk

را نه صرفاً یک فناوری هیدرولیکی، بلکه شریان حیاتی شکل‌دهنده به فضاهای شهری و بناهای عمومی معرفی می‌کند. از منظر رویکرد فرهنگی نیز، تعامل لایه‌های کالبدی و معنایی می‌تواند به تقویت هویت، تعلق و امنیت جمعی بینجامد (Silva et al., 2022). همچنین مقاله (Abedi et al., 2023) با تکیه بر مفهوم زیرساخت منظر، بر ابعاد اجتماعی و ادراکی قنات تأکید می‌کند که از طریق مداخلات معماری در نقاطی چون مظهر فعال می‌شوند. افزون بر این، قنات به‌عنوان سامانه‌ای چندمقیاسی معرفی می‌شود که روابط اجتماعی را سامان می‌دهد (Sanaan Bensi, 2019). در مجموع، یافته‌های حاضر نشان می‌دهد این فضاهای جانبی با ایجاد مکث فضایی، مظهر قنات را از یک منبع صرفاً هیدرولیکی به یک قرارگاه رفتاری تبدیل کرده‌اند که کیفیت تعاملات اجتماعی را افزایش می‌دهد.

بهره‌برداران ایفا می‌کنند. نتایج آزمون کروسکال-والیس تأیید می‌کند که تفاوت ادراک ایمنی در میان گونه‌های مختلف معماری مظهر از نظر آماری کاملاً معنادار است ($\chi^2(2) = 11.34, p = 0.003$). نمودار توزیع چگالی (شکل ۳-الف) بیان می‌کند که در گونه‌های مسقف و اتاقک‌دار، نظرات بهره‌برداران با واریانس صفر ($\sigma = 0$) بر روی بالاترین سطح ایمنی (مقدار ۵) متمرکز است؛ در حالی که در ساختارهای روباز، شاهد یک گسست در ادراک ایمنی و پراکندگی وسیع نظرات هستیم. همچنین، تحلیل میانگین با فواصل اطمینان ۹۵ درصد (شکل ۳-ب) ثابت می‌کند که وجود عناصر معماری مسقف، به‌طور معناداری شاخص ایمنی را به اوج رسانده‌است ($95\% \text{ CI}: [5, 5]$ ، در حالی که این شاخص برای ساختارهای روباز به شدت افت می‌کند ($95\% \text{ CI}: [3.44, 4.78]$). این یافته با تحلیل‌های ارائه‌شده در مطالعه (Vakil, 2022) هم‌راستاست که قنات



شکل ۳. واکاوی چندمتغیره همبستگی میان مورفولوژی مظهر و شاخص ادراک ایمنی (SPI): الف) توزیع احتمال چگالی نظرات؛ ب) استنتاج آماری میانگین‌ها بر اساس فواصل اطمینان ۹۵ درصد

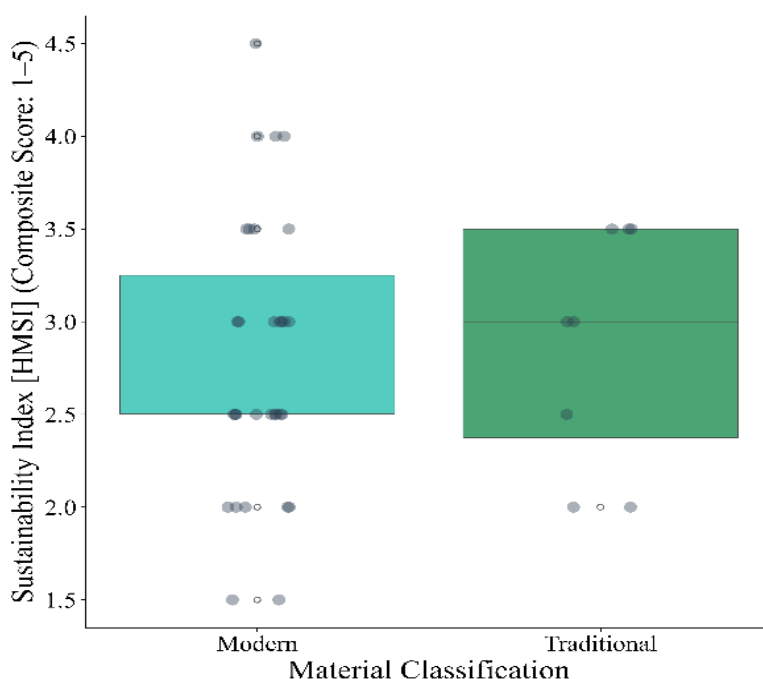
Fig 3. Multivariate Analysis of Correlation between the Morphology of the Spring and the Safety Perception Index (SPI); a) Probability Density Distribution of Opinions; b) Statistical Inference of Means Based on 95% Confidence Intervals

تحلیل آماری توزیع شاخص پایداری هیدرولیکی سازه در شکل ۴ حاکی از برتری معنادار کیفی و ثبات مصالح سنتی نسبت به جایگزین‌های مدرن است. این نتیجه با چارچوب نظری ارائه‌شده توسط (Nasiri & Mafakheri,

هیدرومتریال و دوام سازه
ارزیابی مقایسه‌ای شاخص پایداری هیدرومتریال بر
اساس گونه‌شناسی مصالح بدنه مظهر

مدرن (بتن و سیمان) و وجود نوسانات شدید میان حداقل امتیاز ۱/۵ تا حداکثر امتیاز ۴/۵ ($M = 2.75, \sigma = 0.74$)، نشان‌دهنده ناهمگنی عمیق در ادراکات جامعه محلی و وجود تردید نسبت به پایداری همه‌جانبه و بلندمدت بتن و سیمان در قنات است. این تفسیر با یافته‌های (Shirazi et al., 2012) نیز هم‌خوانی دارد که تکامل مصالح قنات را در پیوند با توپوگرافی، شیب زمین و بافت ارگانیک شهرهای گرم و خشک تحلیل می‌کند. افزون بر این، پژوهش‌های نوین مصالح اقلیمی نظیر (et al., 2021; Ottmann, 2022; El-Mahdy) نیز بر ضرورت سازگاری زیست‌محیطی و بازخوانی منطق مصالح بومی تأکید دارند. در مجموع، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در بستر آبخوان‌های خشک، «شاخص پایداری» مفهومی چندبعدی از هم‌افزایی دوام فنی، انطباق اقلیمی و تداوم فرهنگی است و نمی‌توان آن را به شاخص‌های صرفاً مکانیکی تقلیل داد.

(2015) هم‌راستا است که پایداری سامانه قنات را حاصل پیوستگی میان ساختار فیزیکی، نظام بهره‌برداری و بستر اکولوژیک می‌داند، نه صرفاً تابعی از مقاومت مکانیکی مصالح. همچنین در مطالعه (Semsar Yazdi & Labbaf, 2016) تأکید می‌شود که سازه‌های وابسته به قنات در تعامل مستقیم با اقلیم و منبع آب شکل گرفته‌اند و مصالح به‌کاررفته بخشی از یک سامانه هم‌پیوند آب، انرژی و فضا محسوب می‌شوند. براساس آزمون همبستگی اسپیرمن، علیرغم محدودیت نمونه‌ها، رابطه مثبت و معناداری میان تعهد به کاربرد مصالح بومی و ارتقای شاخص پایداری کلان سازه مشاهده شد ($p = 0.38, p < 0.05$). در داده‌های حاضر نیز، سنگ و ساروج با کسب میانگین امتیاز بالاتر ($M = 3$) و به‌واسطه فشردگی چارک‌های آماری در بازه متراکم ($2.38 < HMSI < 3.50$)، بیانگر اجماع و همگرایی ادراک بهره‌برداران درباره کارایی و اعتمادپذیری بازتولید این مصالح بومی است. در مقابل، کشیدگی وسیع توزیع چگالی داده‌ها در گروه مصالح



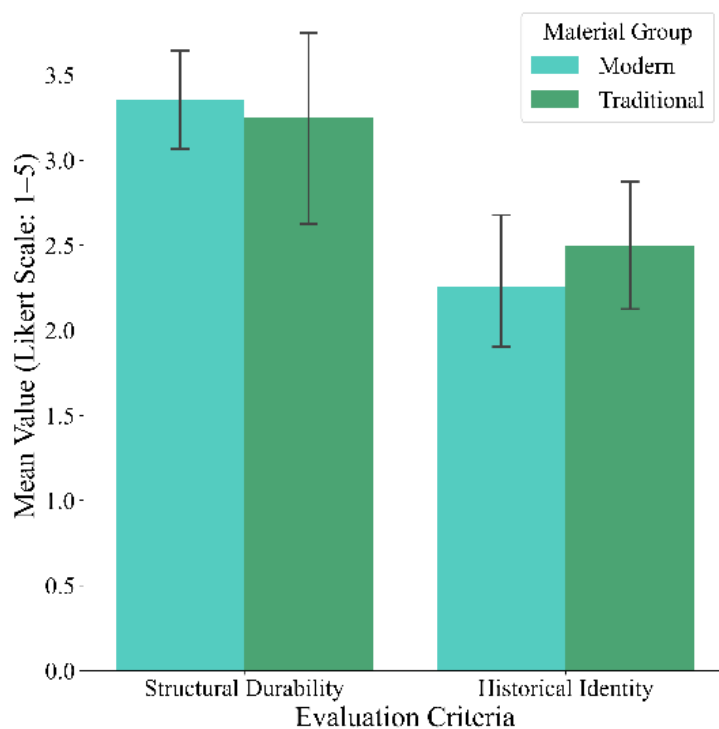
شکل ۴. مقایسه تطبیقی رفتار مصالح سنتی و مدرن در بازه‌های اطمینان چگالی داده‌ها

Fig 4. Comparative Analysis of the Behavior of Traditional and Modern Materials within Data Density Confidence Intervals

تحلیل چندمتغیره شکاف میان اولویت‌های عملکردی (دوام سازه‌ای) و ارزش‌های میراثی (اصالت کالبدی)

نتایج حاصل از تحلیل مقایسه‌ای میانگین‌ها در نمودار ستونی شکل ۵، تضاد میان دو مؤلفه دوام و هویت را به تصویر می‌کشد. براساس آزمون ناپارامتریک، یک رابطه معکوس میان تمایل به مدرن‌سازی سازه و حفظ اصالت کالبدی مظهر مشاهده شد ($p = -0.32$, $p = 0.045$). در حالی که مصالح مدرن در شاخص دوام سازه‌ای به تراز بیشینه ($M = 3.35$) دست یافته‌اند، اما افت شدید و معناداری را در حفظ هویت تاریخی تجربه کرده‌اند ($M = 2.25$) که که بازتاب‌دهنده دغدغه خبرگان در خصوص زوال حس مکان در اثر مداخلات انسانی است. نکته حائز اهمیت در این نمودار، رفتار متعادل مصالح سنتی است؛ این گروه توانسته است با کسب امتیاز نسبتاً مطلوب در پایداری و ماندگاری فیزیکی ($M \approx 3.35$) و برتری مطلق

در شاخص اصالت و هویت ($M \approx 2.50$)، یک نقطه بهینه میان عملکرد فنی و بقای میراثی ایجاد کند. این تحلیل ثابت می‌کند که از دیدگاه جامعه محلی، فرسایش فیزیکی مصالح سنتی قابل‌تحمل‌تر از فرسایش هویتی ناشی از کاربرد بتن است. بنابراین، هرگونه استراتژی مرمتی باید بر پایه تکنولوژی‌های حافظ اصالت تدوین گردد تا از گسست پیوند میان بهره‌بردار و سازه جلوگیری شود. این رویکرد با چارچوب نظری (Vakil, 2022) هم‌سو است که تداوم کارکرد قنات را در گرو حفظ هم‌زمان لایه‌های کالبدی و معنایی آن می‌داند. همچنین در (Naseri & Mafakheri, 2015) تأکید می‌شود که پایداری این سامانه تاریخی، حاصل انطباق تدریجی فناوری با بستر اکولوژیک و اجتماعی است؛ از این‌رو، مداخلات مرمتی زمانی موفق خواهند بود که علاوه بر ارتقای عملکرد فنی، سرمایه نمادین و اعتماد اجتماعی پیرامون سازه را نیز تقویت کنند.



شکل ۵. تحلیل چندمتغیره تقابل اولویت‌های فنی و میراثی مظهر قنات

Fig 5. Multivariate Analysis of the Trade-off between Technical and Heritage Priorities in Qanat outlet

آسیب‌شناسی و مدیریت پایداری

الگوی غالب تخریب مظاهر قنات در استان خراسان جنوبی متأثر از سه عامل اصلی است: رهاشدگی عملکردی، فقدان نظام نگهداری پیشگیرانه و مرمت‌های ناسازگار فنی. این سه مؤلفه بر اساس داده‌های ترکیبی کمی و کیفی (جدول ۵)، گویای آن است که نبود پیوستگی میان دانش بومی، سازگاری اقلیمی و رهیافت‌های مدیریت نوین میراث آبی، موجب انتقال قنات از وضعیت پایدار و فعال به وضعیت نیمه‌فعال و شکننده شده‌است.

مطالعات (Fadakar-Davaran, 2009; Fadakar-Davaran & Sam-Aram, 2010) نیز تأیید می‌کنند که گسست میان نظام اجتماعی سنتی مبتنی بر همکاری در قنات و ساختارهای جدید مدیریتی، از مهم‌ترین عوامل افت تاب‌آوری این سازه‌ها در نواحی خشک ایران می‌باشد. وی نشان داد که کاهش سرمایه اجتماعی و تضعیف روحیه مشارکت مالکان و بهره‌برداران، منجر به فروپاشی نظم سنتی نگهداری و در پی آن تسریع تخریب کالبدی قنات می‌شود.

یافته‌های (Mokhtarnia et al., 2022) نیز نشان می‌دهد که استمرار عملکرد قنات‌ها تنها در گرو تلفیق دو سطح مدیریتی است:

مدیریت فنی - سازه‌ای مبتنی بر مقاوم‌سازی مصالح، کنترل فرسایش و انطباق با شرایط بوم‌شناختی؛
مدیریت فرهنگی - اجتماعی بر محور تقویت حس مالکیت محلی، بازشناسی ارزش‌های میراثی و تداوم آیین‌های اجتماعی مرتبط با قنات.

در همین راستا، پژوهش Chalvarfrosh et al., 2023 بر نقش آیین‌ها و باورهای اجتماعی وابسته به قنات در حفظ و بازتولید هویت زیست‌بومی جوامع محلی، به‌ویژه در سراوان بلوچستان، تأکید دارد و نشان می‌دهد که این سرمایه فرهنگی می‌تواند ابزار کارآمدی برای احیای ارتباط مردم با سازه‌های میراثی آب باشد؛ بنابراین، بازگرداندن پایداری سازه‌ای و فرهنگی قنات نیازمند رویکردی تلفیقی در قالب «مدیریت یکپارچه پایداری قنات» است؛ مفهومی که بر تعادل میان بهسازی فنی و احیای ارزش‌های اجتماعی - فرهنگی تأکید دارد و باتکیه بر دانش بومی، تقویت مشارکت اجتماعی و حفاظت ارزش‌های میراثی، می‌تواند تداوم حیات و کارکرد قنات تاریخی را تضمین کند.

جدول ۵. وضعیت‌شناسی فنی، فرهنگی و مدیریتی برخی از قنات استان خراسان جنوبی

Table 5. Technological, Cultural, and Management Status of Some Qanats in South Khorasan Province

نام قنات/ منطقه مورد مطالعه Qanat Name / Study Area	نوع عامل غالب Dominant Agent Type	الگوی نگهداری Maintenance Pattern	نوع مصالح/ کیفیت فنی Material Type / Technical Quality	شاخص فرهنگی یا کاربری اجتماعی Cultural or Social Use Index	طبقه‌بندی مدیریتی Management Classification	سطح پایداری Sustainability Level
سید مراد نه‌بندان/ اربعه بشرویه Seyyed Morad Nehbandan/ Arbaeh Boshrouyeh	رهاشدگی فصلی و عدم بهره‌برداری Seasonal abandonment and non-utilization	بسیار به‌ندرت Very rare	سنگ محلی/ سازگار اما متروک Local stone / compatible but neglected	فاقد نقش فرهنگی فعال Lacking active cultural function	رها شده Abandoned	پایین Low

چشمه رچ خوسف/ شیخان بیرجند/ گز سربیشه Cheshmeh Rach Khushf/ Sheikhan Birjand Gaz Sarbisheh	سیلاب‌های فصلی Seasonal floods	موردی Occasional	سنگ و آجر سنتی/ با آسیب‌پذیری تکراری Traditional stone and brick / recurrent vulnerability	کارکرد سنتی محدود Limited traditional function	اضطراری Emergency use	متوسط روبه‌پایین Lower-medium
فتح آباد فردوس/ رومه نه‌بندان Fathabad Ferdows/ Roumeh Nehbandan	مرمت ناسازگار فنی Technically incompatible restoration	موردی Occasional	سیمان و آجر نسوز/ ناسازگار Cement and firebrick / incompatible materials مصالح بومی + ترکیب مصالح جدید Local materials + integrated new materials	حفظ نمادین محلی Symbolic local preservation	غیر سازگار Incompatible	پایین Low
تگابند قاین/ ماهکان سربیشه Tagaband Qaen/ Mahakan Sarbisheh	سیلاب + مداخله هدفمند Floods + targeted interventions	موردی اما با نگرش هویتی Occasional but identity- driven		هویت و گردشگری Identity and tourism	فرصت‌محور Opportunity- oriented	متوسط روبه‌بالا Upper- medium

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که پایداری مظهر قنات، فراتر از دوام سازه‌ای آن، وابسته به تعامل پیچیده میان مؤلفه‌های کالبدی-معماری، دوام فنی مصالح و مؤلفه‌های فرهنگی-اجتماعی بهره‌برداران است. پیکربندی‌های معماری مظهر (نظیر فضاها، مسقف) به‌عنوان عناصر کالبدی مؤثر، مستقیماً بر افزایش ادراک ایمنی و تعمیق کارکردهای اجتماعی مکان تأثیرگذارند؛ این فضاها به‌مثابه نقاط تمرکز اجتماعی، موجب تسهیل و تداوم کنش‌های جمعی می‌شوند. در بعد فنی، علی‌رغم برتری مصالح مدرن در دوام فیزیکی کوتاه‌مدت، مصالح سنتی مانند سنگ و ساروج توانسته‌اند به دلیل اجماع هویتی و انطباق فرهنگی، نقطه بهینه‌ای از پایداری چندبعدی را محقق سازند، درحالی‌که به‌کارگیری مصالح نوین منجر به زوال حس مکان و گسست از هویت تاریخی می‌شود. در مجموع، بحران‌های مشاهده‌شده در زیرسیستم‌های قنات، ریشه در شکاف بین دانش بومی و رویکردهای مدیریتی نوین دارند که فاقد یکپارچگی میان ابعاد فنی و فرهنگی

هستند. بر مبنای یافته‌های فوق، برای تضمین تداوم کارکرد و هویت مظهر قنات در مناطق خشک، اتخاذ راهبرد «مدیریت یکپارچه پایداری قنات» ضروری است. این راهبرد باید بر دو محور اساسی استوار باشد: نخست، اجرای مرمت‌های ساختاری با اولویت‌دهی به مصالح سنتی یا مصالح سازگار با هویت تاریخی مکان و تقویت فضاها، اجتماعی تعریف‌شده در مظهر؛ و دوم، ایجاد سازوکارهای مدیریتی تلفیقی که دانش تخصصی مهندسی هیدرولیک را با دانش بومی بهره‌برداران در زمینه نگهداری بهره‌برداری مستمر ادغام کند. این نتایج تصویری اکتشافی از ۱۰ قنات منتخب استان خراسان جنوبی را ارائه می‌دهد و تعمیم آن به سایر نظامات قنات نیازمند مطالعات گسترده‌تر با حجم نمونه بزرگ‌تر است؛ لذا پیشنهاد می‌شود نهادهای سیاست‌گذار، با تمرکز بر «حفاظت هویت‌محور»، تدوین دستورالعمل‌های فنی را با الزامات حفظ پیوستگی فرهنگی در نگهداری زیرساخت‌های آبی سنتی همراه سازند تا از تخریب بیشتر ناشی از مرمت‌های

- Fadakar-Davaran, M. M., & Sam-Aram, A. A. (2010). The role of qanat in sustainable rural development. *Village and Development*, 13(2), 169–191. [In Persian].
<https://doi.org/10.30490/rvt.2018.59204>
- Fallahi, E., Akbarpour, A., Khatibinia, M., & Ebrahimi, H. (2015). Optimal shape design of Ghanat Kaval using finite element method and particle swarm optimization. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 9(4), 561–570. [In Persian].
- Golpasand, M. R. B., Do, N. A., & Dias, D. (2019). Impact of pre-existent qanats on ground settlements due to mechanized tunneling. *Transportation Geotechnics*, 21, 100262.
<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2019.100262>
- Hassan Pour, M., Khozaymehnezhad, H., & Khashei-Siuki, A. (2025). Priority ranking of qanat rehabilitation using analytic hierarchy process (Case study: Southern Khorasan). *Journal of Advanced Informatics in Water, Soil, and Structure*, 1(1), 34–46. [In Persian].
<https://doi.org/10.22048/wss.2024.427601.1003>
- Hu, W., Zhang, J., & Liu, Y. (2012). The qanats of Xinjiang: Historical development, characteristics and modern implications for environmental protection. *Journal of Arid Land*, 4(2), 211–220.
<https://doi.org/10.3724/SP.J.1227.2012.00211>
- Institute for Economics & Peace. (2023). Safety Perceptions Index 2023: Understanding the impact of risk around the world.
- Kosravi, S., Khozeimeh nejad, H., khayat, A., and Akhoondi, Z. (2026). Forecasting The Water Level of Baldeh Qanat in Ferdows Using Time Series Methods. *Journal of Aquifer and Qanat*, 5(2), 189–202. <https://doi.org/10.22077/jaaq.2025.9039.1104> [In Persian].
- Koocheki, A., & Vali Beig, N. (2019). Investigation of Materials, Technology, and Structure of Iranian Qanats. National Symposium on Baladeh Ferdous Qanat, Birjand. [In Persian].
- Madanian Mohammadi, A., & Hashemi Zarej Abad, H. (2015). The Impact of Qanat on the Formation of Subterranean Architecture (Case Study: Rigareh Mill of Mohammadi, Naen). National Conference on Indigenous Architecture and Urbanism of Iran, Yazd. [In Persian].
- Mirhashemi Ruteh, S. E. (2011). Historical Exploration of the Qanat: From Construction to its Role in Social Life. Proceedings of the International Conference on Traditional Knowledge of Water Resources Management. [In Persian].
- Mokhtarnia, K., Talibian, M. H., & Asrati, P. (2022). Development of a theoretical framework of value in Iranian qanat. *Iranian Architecture Studies*, 11(21), 205–223. [In Persian].
<https://doi.org/10.22052/jias.2022.245876.0>
- Nasiri, F., & Mafakheri, M. S. (2015). Qanat water supply systems: A revisit of sustainability perspectives. *Environmental Systems Research*, 1(1), 149–179. [In Persian].
<https://doi.org/10.22054/qjsd.2010.5696>
- ناسازگار و فقدان نظارت مستمر جلوگیری شود و بدین ترتیب، امنیت آبی و اجتماعی جوامع محلی تقویت گردد.
- ### منابع
- Abbasi, A. (2024). Examining the role of qanats in the social resilience of rural communities in Iran against desertification. *Creative Economy and New Business Management Approaches*, 37–56.
- Abedi, S., Ansari, M., Haghighatbin, M., & Mansouri, S. A. (2023). Comprehensive classification and categorization of Qanat features: An interdisciplinary exploration using landscape infrastructure concept and semi-systematic review. *Environmental Systems Research*, 12(1), 35.
<https://doi.org/10.1186/s40068-023-00318-3>
- Azhodi Deylami, M. (2025). Qanat system: A socio-hydraulic model for the formation of sustainable settlements on the Iranian Plateau. Second National Conference on Human Settlements of Iran, Tehran.
- Barhamand, G. (2008). An introduction to the historical process of qanat phenomenon and its civilizational role in the Iranian Plateau. *Moskuyeh*, 8, 1–28. [In Persian].
- Branduini, P., Zaina, F., Zavvari, F., & Nabati Mazloumi, Y. (2021). Qanats as an endangered traditional hydraulic heritage. In *Proceedings of the 9th ARQUEOLÓGICA 2.0 & 3rd GEORES* (pp. 142–158). Editorial Universitat Politècnica de València.
<https://dx.doi.org/10.4995/Arqueologica9.2021.12102>
- Burkett, M. H. (2019). Silent and unseen: Stewardship of water infrastructural heritage. In C. Hein (Ed.), *Adaptive strategies for water heritage: Past, present and future* (pp. 20–39). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-00268-8_2
- Chalvarfrosh, H., Mortazavi, M., & Musaiepour-Negari, F. (2023). Beliefs and social rituals related to qanat in Saravan County, Sistan and Baluchestan. *Anthropology Letter*, 20(36), 147–170. [In Persian].
- Darouei, P., & Kashani Hamedani, M. (2022). Recognition of the role of the qanat on urban and rural settlements' viability through the synthetic method. *Journal of Urban Studies on Space and Place*, 6(24), 73–93. [In Persian].
<https://doi.org/10.22034/jspr.2023.707365>
- El-Mahdy, D., Gabr, H. S., & Abdelmohsen, S. (2021). SaltBlock as a 3D printed sustainable construction material in hot arid climates. *Journal of Building Engineering*, 43, 103134.
- Fadakar-Davaran, M. M. (2009). Qanat and social capital. *Social Welfare and Development Planning*, 1(1), 149–179. [In Persian].
<https://doi.org/10.22054/qjsd.2010.5696>

- 4(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40068-015-0039-9>
- Nasirian, A., Shamshirgaran, R., & Tosan, M. (2026). Transitioning from command-and-control measures to market-based mechanisms for sustainable groundwater governance in hyper-arid regions. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 13(1), 85-93. <https://doi.org/10.22126/arww.2026.13559.1477>
- Ottmann, D. A. (2022). *Ecological building materials for deserts and drylands*. Springer.
- Pazwash, H. (2024). *Qanats and historic structures in Persia: Potential modern applications*. CRC Press.
- Sanaan Bensi, N. (2019). The qanat system: A reflection on the heritage of the extraction of hidden waters. In C. Hein (Ed.), *Adaptive strategies for water heritage: Past, present and future* (pp. 40–57). Springer.
- Semsar Yazdi, A. A., & Labbaf Khaneiki, M. (2016). *Qanat-related structures*. In *Qanat Knowledge: Construction and Maintenance* (pp. 145–175). Springer Netherlands.
- Semsar Yazdi, A. A., & Labbaf Khaneiki, M. (2017). *Qanat knowledge: Construction and maintenance*. Springer.
- Semsar Yazdi, A. A., & Labbaf Khaneiki, M. (2022). *Veins of the desert: A review on Qanat/Falaj/Karez*. CRC Press.
- Shamshirgaran, R., Tosan, M., & Nasirian, A. (2025). Investigating the functional problems of groundwater studies in dry areas: A case of Boshruyeh Plain, South Khorasan. *Journal of Aquifer and Qanat*, 5(2), 99–120. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/jaaq.2025.8734.1094>
- Shiraazi, K., Milani, M. A., Sadeghi, A., Azami, E., & Azami, A. (2012). Qanat (Subterranean Canal) role in traditional cities and settlements formation of hot-arid regions of Iran. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 6(67), 385–390. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1334713>
- Tabatabaei, S. M., & Khozayemehzad, H. (2022). Studying qanat, protective methods and increasing its discharge. *Journal of Aquifer and Qanat*, 3(1), 17–28. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/jaaq.2018.1600.1006>
- Taghavi-Jeloudar, M., Han, M., Davoudi, M., & 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>
- Vakil, N. (2022). The cultural landscape of the Persian Qanat. In K. D. Silva, K. Taylor, & D. S. Jones (Eds.), *The Routledge handbook of cultural landscape heritage in the Asia-Pacific* (pp. 420–435). Routledge.
- Yaghoobzadeh, M., Amirabadizadeh, M., khayat, A., and Akhondi, Z. (2026). Simulation of Qanat Discharge in Balade Ferdows Using Machine Learning Algorithms under Drought Conditions. *Journal of Drought and Climate Change Research*, (Articles in Press). <https://doi.org/10.22077/jdcr.2026.10872.1209>
- Zhang, Y., Liu, X., Yuan, S., Song, J., Chen, W., & Dias, D. (2023). A two-dimensional experimental study of active progressive failure of deeply buried qanat tunnels in sandy ground. *Soils and Foundations*, 63(3), 101323. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2023.101323>

