journal for the History of Science
Print issn: 1735-0573 ● Online issn: 2717-1965
University of Tehran

Qanat, A Symbol of Science in the Ancient World

Akbar khodavirdizadeh[1]

1. Department of Archaeometry, Faculty of Cultural Materials Conservation, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
E-mail: a.khodavirdizadeh@tabriziau.ac.ir

Article Info

Article type:
Review Article

Article history:
Received: 15 July 2025
Revised: 4 September 2025
Accepted: 6 September 2025
Published online: 16 September 2025

Keywords:
Qanat, science, Ancient world, Hydrology, Geology

ABSTRACT

The earliest surviving traces of qanats date back to the emergence of the first human civilizations. Remnants of ancient Iranian qanats from as early as the third and second millennia BCE can still be found in various regions of Iran. Numerous qanat systems from the Achaemenid and Sasanian periods have also endured. Qanats are recognized as symbols of science and engineering in the ancient world. They reflect a profound understanding of hydrology, geology, and engineering among past societies. The ability to locate and extract hidden water deep underground, to dig long and deep tunnels, and to guide water along a gentle slope required advanced knowledge and skill. For centuries, humans have studied the earth and its constraints, and the construction of qanats in some of the most complex geological formations thousands of years ago demonstrates an early form of applied geological engineering—long before geology emerged as a formal scientific discipline in the 17th and 18th centuries. These ancient qanats were excavated in accordance with the natural laws governing soil behavior. Today, such behavior is studied under the discipline of soil mechanics.

Cite this article: Khodavirdizadeh, A. (2025). Qanat, A Symbol of Science in the Ancient World. *Journal for the History of Science*. 23 (1), 205-232. DOI: http//doi.org/ 10.22059/jihs.2025.401921.371839

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.

تاریخ علم
شاپا الکترونیکی: ۱۹۶۵-۲۷۱۷ • شاپا چاپی: ۰۵۷۳-۱۷۳۵

قنات نمادی از علم جهان باستان

اکبر خداویردی‌زاده[۱]

۱. گروه باستان‌سنجی، دانشکدهٔ حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران، رایانامه: a.khodavirdizadeh@tabriziau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: ترویجی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

کلیدواژه‌ها: قنات، علم، جهان باستان، آب‌شناسی، زمین‌شناسی

چکیده

قدیمی‌ترین آثار برجای مانده از قنات‌ها با پیدایش اولین تمدن‌های بشری هم زمان است. آثاری از قنات‌های باستانی ایران از حدود هزارهٔ سوم و دوم قبل از میلاد در نقاط مختلفی از ایران هنوز باقی است. از دورهٔ هخامنشیان و ساسانیان نیز بقایای رشته قنات‌های متعدد دیده می‌شود. قنات‌ها به عنوان نمادی از علم و مهندسی جهان باستان شناخته می‌شوند. قنات‌ها نشان دهندهٔ درک عمیق گذشتگان از علم آب شناسی، زمین‌شناسی و مهندسی است. شناخت و استخراج آبهای پنهایی در اعماق پنهان زمین و توانایی حفر تونل‌های عمیق و طولانی و هدایت آب در طول شیب زمین نیازمند دانش و مهارت بالایی بوده است. بشر از قرنها پیش توانسته زمین و محدودیت‌های آن را بشناسد و با حفر قنات در پیچیده‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی در چندین هزار سال پیش با علم زمین‌شناسی مهندسی آشنا بوده است، در صورتی که در قرون ۱۷ و ۱۸ زمین‌شناسی از قلمرو حدس و نظر خارج شد و به رشتهٔ علم پیوست. قنات‌های کهن حفر شده در دل خاک با قوانین حاکم بر رفتار خاک حفر شده‌اند. رفتار مکانیکی خاکها امروزه تحت دانش مکانیک خاک بررسی می‌شود.

استناد: خداویردی‌زاده، اکبر (۱۴۰۴). قنات نمادی از علم جهان باستان. تاریخ علم، ۲۳ (۱)، ۲۰۵-۲۳۲.
DOI: http//doi.org/ 10.22059/jihs.2025.401921.371839

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

نزدیک به یک قرن پیش، در محدودهٔ فرهنگی ایران، فنّی در زمینهٔ دست‌یابی به آب با عنوان «قنات» شناخته شد؛ فنّی که در مناطق مختلف با نام‌های گوناگونی شناخته می‌شود: «خطارا» در مراکش، «گوتارا» در تونس، و «فوگّارا» در لیبی و الجزایر (Wulff, 1968; Louis Badarea). می‌توان به‌نحوی متقاعدکننده استدلال کرد که نیاکان ما در شرایطی که تأمین آب از پهنه‌ای ثابت و معین از زمین ضرورتی حیاتی داشت، انگیزه‌ای قوی برای ابداع و اختراع فنون خاص داشته‌اند. استفاده از آب قنات تا عصر کنونی ادامه یافته است، چنان‌که تا چند دههٔ پیش، مردم تهران آب شرب را به‌صورت سطلی از گاری‌های حامل آب قنات خریداری می‌کردند (شکل ۸).

از حدود ۳۰۰۰ سال پیش از میلاد، شواهدی از بهره‌برداری بشر از آب با استفاده از تکنیک قنات در دوران کهن وجود دارد. وقتی از «قنات» سخن می‌گوییم، در واقع از آن به‌عنوان یک تکنیک باستانی یاد می‌کنیم؛ تکنیکی که به‌طور طبیعی با مفهوم «خاستگاه» آن پیوند دارد. بررسی خاستگاه قنات در جهان، حدود ۸۰ سال پیش توسط هانری گوبلو در ایران آغاز شد (۱۳۱۹ خورشیدی). گوبلو تحقیقات خود را در دههٔ ۱۹۵۰-۱۹۶۰ انجام داد و کتاب او با عنوان قنات: فنّی برای رسیدن به آب در سال ۱۹۷۳ به زبان فرانسه منتشر شد. از نظر گوبلو، قنات تکنیکی است با ویژگی‌هایی مشابه استخراج معادن، و عبارت است از بهره‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی به‌کمک دهلیزهای زهکشی آب (Goblot, 1979).

گوبلو با ارائهٔ بیش از ۵۳۴ منبع علمی در رسالهٔ دکتری خود در دانشگاه سوربن فرانسه، که بعدها توسط ابوالحسن سرومقدم و دکتر محمدحسین پاپلی‌یزدی به فارسی ترجمه شد، نشان داد که خاستگاه قنات در محدودهٔ فرهنگی ایران باستان بوده است. افزون بر این، عامل کاملاً متفاوت دیگری که در چند دههٔ گذشته باعث توجه جهانی به قنات شد و شواهد باستان‌شناسی نیز آن را تأیید می‌کنند، هنر و دانش ایرانیان در حفر سازه‌های قنات است. به‌نظر محمدحسین پاپلی‌یزدی، مترجم کتاب قنات: فنّی برای رسیدن به آب، اهمیت انتقال آب از عمق ۱۸۰ متری به سطح زمین از طریق حفر قنات‌هایی به طول ۵۰ کیلومتر، کمتر از ساخت بسیاری از آثار معظم جهان نیست؛ و بیهوده نخواهد بود اگر قنات را نیز جزو عجایب جهان بدانیم.

اصطلاح «تاریخ فرهنگ» به معنای بازنمایی فرهنگ‌های انسانی در طول هزاران سال گذشته است (Fagan, 1936). تاریخ، آکنده از وقایعی است که گاه ناملموس‌اند و در ما احساسی از فهم سطحی تا عمیق برمی‌انگیزند. اما جزئیات پیچیده در غبار زمان محو می‌شوند. اما تاریخ تکنیک‌ها، تاریخ واقعی است؛ چرا که تکنیک‌ها و تحولات آن‌ها شرایط زندگی بشر را دگرگون کرده‌اند، امری که پژوهشگرانی چون فورب و نوژیه به‌خوبی اثبات کرده‌اند. بسیاری بر این باورند که این تکنیک‌ها و تحولات، سرآغاز ماشینیسم بوده‌اند، و این تنها یکی از نمونه‌های فراوان است؛ از این‌رو، تاریخ این فنون اهمیّت شایانی برای درک تاریخ بشریت دارد (Goblot, 1979).

اکنون یک قرن از آغاز پژوهش‌هایی دربارهٔ قنات و خاستگاه آن در گذشته‌های دور می‌گذرد. اینکه انسان چگونه و در چه زمانی در جهان مستقر شد، در گرو تکنیک‌هایی است که در دوران کهن به‌کار گرفته شد؛ تکنیک‌هایی که وقایعی ثبت‌شده در آغاز حیات بشری‌اند و امروزه می‌توان با بررسی آن‌ها به قلمرو گستردهٔ زندگی انسان پی‌برد. امروزه می‌دانیم قدمت دوران‌های گذشتهٔ انسان به بیش از ۲٫۵ میلیون سال می‌رسد و آغاز کشاورزی دست‌کم به حدود ۱۰ هزار سال پیش تخمین زده شده است (Fagan, 1936). زمینه‌های شناخت آب، شیوه‌های کشف آن، ابزار کار، و دستاوردهای اجتماعی در جهان باستان، در نقاط مختلف دنیا، نشانگر قدمت چندین‌هزارسالهٔ تاریخچهٔ فناوری‌های آبی منطقه‌ای مرتبط با قنات و فعالیت‌های مهندسی با ساده‌ترین ابزارهای آن زمان است.

پیشینهٔ پژوهشی قنات

در مورد قنات در سطح بین المللی پژوهش‌هایی برای اهداف مختلف به عمل آمده است: جوناس بِرکینگ در کتابی با عنوان مدیریت آب در تمدن‌های باستانی، به رابطه با فناوری‌های آبی با استفاده از تکنیک قنات در شبه جزیرهٔ ایبری و روم و سیسیل پرداخته است (Berking, 2018). لَری مِیز در کتاب مهندسی آب در دوران باستان می‌گوید: قنات تونلی زیرزمینی است و یک سیستم جمع آوری و انتقال آبهای زیرزمینی می‌باشد که در سرزمین ایران پدید آمده است (Mays, 2010). پِری راهِن (۱۹۹۶) در کتاب زمین‌شناسی مهندسی: ایرانیان در گذشته تونل‌های کم شیبی به نام قنات در مخروط افکنه‌ها

حفر می‌کردند. قنات‌ها به طور معمول دارای ۱ متر عرض و بیش از ۲ متر ارتفاع بوده و بعضی از آنها بیش از ٤۰ کیلومتر طول دارند. قنات‌های ایران در مجموع بیش از ۲۸۰۰۰۰ کیلومتر طول دارند. این تونل‌ها که توسط نیروی انسانی حفر شده‌اند، دارای تعدادی چاههای عمودی برای تهویه و خارج ساختن واریزه‌های درون قنات می‌باشند. تا سال ۱۹٦۸ قنات‌ها ۷۵% کل آب مصرفی ایران را تأمین می‌کردند (Rahn, 1996). محمود صداقت در کتاب زمین و منابع آب: آبهای زیرزمینی می‌نویسد از قنات بعنوان یکی از راههای بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی در دوران قدیم استفاده می‌شده است و به مورفولوژی قنات و حفاظت و نگهداری از آن پرداخته شده است (صداقت، ۱۳۹۲). محمود صداقت و حسین معماریان در کتاب زمین شناسی فیزیکی می‌نویسد بزرگترین ابتکار در استفاده از آبهای زیرزمینی در گذشته حفر قنات یا کاریز بوده است. ایرانیان مبتکر قنات هستند و نخستین قنات‌ها در ایران بوجود آمده است. حفر قنات در ایران از ۳۰۰۰ سال پیش شروع شده و سپس از ایران به نقاط دیگر دنیا گسترش پیدا کرده است. همچنین در این کتاب مورفولوژی قنات آورده شده است (صداقت و معماریان، ۱۳۸۱). در زمینهٔ کارهای پژوهشی جواد صفی‌نژاد، استاد دانشکدهٔ علوم اجتماعی دانشگاه تهران، باید اشاره کرد به: جواد صفی‌نژاد و بیژن دادرس (۱۳۷۹)، جواد صفی‌نژاد (۱۳۷۳)، جواد صفی‌نژاد (۱۳٦۷)، صفی‌نژاد و سبزیان (۱۳٦۷)، جواد صفی‌نژاد (۱۳۵۹). آرنولد پِیسی در کتاب تکنولوژی در تمدن باستان می‌نویسد به اهمیّت قنات‌ها از اینجا می‌توان پی‌برد که بیش از نیمی از آبی که در ایران به مصرف آبیاری یا منابع آبی شهری می‌رسید بوسیلهٔ قنات‌ها تأمین می‌شد و آسیابهایی وجود داشت که برای استفاده از جریان آب قنات‌ها در زیرزمین ساخته شده بود (Pacey, 1990 ؛ Wulff, 1966). اوبروچف در کتابی با عنوان مبانی زمین‌شناسی، می‌نویسد یک روش دست‌یابی به سفرهٔ آبهای زیرزمینی حفر قنات یا کاریز می‌باشد که اختصاص به ایران و آسیای مرکزی دارد. در این کتاب با رسم شکل شماتیک مقطع تیپ دو بعدی عرضی قنات، جزئیات آن شرح داده شده است (اوبروچف، ۱۹۸٦). هانری گوبلو (۱۹۷۹) زمین‌شناس فرانسوی در کتاب قنات فنّی برای رسیدن به آب می‌نویسد: همه چیز دال بر آن است که نخستین قنات‌ها در محدودهٔ فرهنگی ایران ظاهر شده‌اند. گوبلو در کتاب خود می‌نویسد: در سال ۱۹٤۰ میلادی به محض ورودم به ایران توانستم قنات را از نزدیک ببینم. قنات‌ها به کمک روش-هایی بسیار خردمندانه و در عین حال ابتدایی برقرار شده‌اند. احداث آنها جزء به کار انسان و بیل و کلنگ

و یک چرخ و ریسمان بسیار ساده به چیز دیگری نیاز ندارد. حفر قنات توسط متخصصانی انجام گرفته است که از سنت‌های شفاهی قدیمی و فقط از طریق تجربه تربیت شده‌اند بی آنکه به ماشین نیاز داشته باشند سپس جریان آب به راه می‌افتد بدون کمک ابزار مکانیکی و جز یک لایروبی ساده به چیزی نیاز ندارد و کمکی از انرژی خارجی طلب نمی‌کند. با این توصیفات آقای صفی اصفیا نوشته‌های ستایش آمیز یک آمریکایی را دربارهٔ قنات و بهره‌برداری از آن به گوبلو می‌دهد تا بخواند: این آمریکایی بدون هیچ تردیدی در نوشتهٔ خود «آب زمین» اعلام داشته که قنات‌ها بزرگترین کار بشر در عهد باستان است. اقامت گوبلو در ایران ۲۰ سال طول می‌کشد. سپس ۲۱ سال بعد در یکی از روزهای فوریهٔ ۱۹۶۱؛ مقاله‌ای را که در یک مجلهٔ تکنیکی به چاپ رسانیده بود را در اختیار پروفسور ژان اوبن قرار می‌دهد: «نقش ایران در فنون آب» که برای اولین بار به اهمیّت قنات و دستاوردهای تاریخی غیرمنتظره و ناشناخته آن پرداخته شده بود. او می‌نویسد: دوستم پروفسور ژان اوبن به من گفت که این زمینهٔ تحقیقی است که من باید اوقات فراغت دوران بازنشستگی‌ام را به آن اختصاص دهم. تا آن زمان هیچ گونه تحقیق کامل و همه جانبه‌ای دربارهٔ این موضوع مهم منتشر نشده بود. برای اثبات این ادعا او دو تیراژ جداگانه از مقاله‌های متعلق به کرِزی «قنات؛ کاریز؛ فوگگارا» و فیلبِرگ «قنات» را در اختیار من گذاشت. گوبلو پس از بازگشت به کشورش فرانسه بنا به توصیهٔ «ژان اوبن» استاد تاریخ دانشگاه سوربن تحریر رساله‌ای را زیر نظر «گزاویه دو پلانول» استاد جغرافیای دانشگاه سوربن آغاز می‌کند. پیر روگنون و پلانکل در رسالهٔ دکتری در پاریس با عنوان «مناطق حاره‌ای خشک و زیر حاره‌ای» فصلی کاملی را به قنات‌های این مناطق اختصاص داده است (Planhol and Rognon, 1970). خانم فرِدی بِمون: «آبیاری در ایران»: اطلاعات تاریخی جالبی در اختیار ما می‌گذارد (Bemont, 1961) و «شهرهای ایران»: کتاب بزرگی که به نقش قنات‌ها اشاره شده است (Bemont, 1969). پل وارد انگلیش: «خاستگاه و گسترش قنات‌ها در دوران کهن» مقاله‌ای ارزشمند است (English, 1968). اچ.ای ولف: «قنات‌های ایران» همراه با تصاویر بسیار عالی به قنات‌های ایران پرداخته است (Wulff, 1968). جغرافیدان آلمانی پروفسور کارل ترول بارها به مسألهٔ قنات پرداخته است؛ یکی از مقلات ایشان با عنوان «تکنیک‌های کشاورزی؛ محیط طبیعی؛ تاریخ بشر» می‌باشد (Carl, 1967).

ولادیمیر اِن. کونین جغرافیدان روسی که طی دوره‌ای طولانی مشاهدات بسیار عمیقی دربارهٔ «کاریز» انجام داده است: «آبهای محلی صحرا» به روسی (Kunin, 1959)؛ «آبهای زیرزمینی؛ گنج ناشناخته» به فرانسوی (Kunin, 1964). استاد ژاپنی پروفسور ایوو کوبوری «دربارهٔ قنات‌های ایران» به ژاپنی نوشته شده است (Kobori, 1958). کریستف وُلسکی: «کاریزها» به فرانسوی: در مورد تکنیک قنات در بلوچستان پاکستان و گسترش آن به شرق و مسائل ظریف تاریخی تکنیک بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی می‌باشد (Wolski, 1964). ریمون فورون زمین شناسی که در رسالهٔ دکتری در پاریس با عنوان «مسأله آب در جهان» به قنات‌های ایران و آبادی‌های واقع در صحرا پرداخته است (Furon, 1963). ریمون فورون چند سال به عنوان استاد در ایران حضور داشته است. پروفسور فیلسوفی «آبهای زیرزمینی، قنات‌ها و چاههای عمیق در ایران» (فیلسوفی، ۱۹۵۹). پروفسور اِ. ژی. فورب با شایستگی کم نظیر به قنات اشاره می‌کند: «مطالعاتی در تکنولوژی باستان»، ۱۹۵٤؛ «تاریخ تکنولوژی»، ۱۹۵٦-۱۹۵٤؛ به مهمترین نکات تاریخ قنات‌ها و بیان فرضیهٔ مبانی معدنی قنات‌ها پرداخته است (Forbes, 1954-1956). نوشته‌های کرِزی: «قنات، کاریز و فوگّارا» و فیلبرگ: «قنات» در مورد توسعهٔ تکنیک قنات در زمان و مکان و اهمیّت اقتصادی آن در گذشته‌های دور و همچنین در خصوص مسائل منشاء آن و ارتباط‌هایی که تاریخ این تکنیک می‌سازد می‌باشد (Feilberg, 1945؛ Cressey, 1958). یکی از جغرافیدانهایی که بیش از همه به قنات‌ها توجه کرده و کارهای بزرگی را به این موضوع اختصاص داده است استاد دانمارکی پروفسور ژ. هُملوم است. این نویسنده به گسترش مسألهٔ قنات به ویژه در شرق توجّه کرده و در کنگرهٔ بین المللی زمین‌شناسی مکزیکو گزارشی کلی ارائه داده است و عنوان موضوع گزارش آن نشان می‌دهد که این مسأله برای او اهمیّت زیادی داشته است (Humlum, 1956). استاد اتریشی گوستاو اِشترانیل- شوئر جغرافیدانی که به مسألهٔ منشاء اولیه پیدایش قنات پرداخته است (Stratil-Sauer, 1937, 1950, 1952, 1953). در سال ۱۹۵۰ یک گروه سه نفری از دانشجویان انگلیسی زیر نظر اَنتونی اِسمیت در گذر از سرزمین کرمان در جنوب شرقی ایران به منظور مطالعهٔ قنات‌ها در گزارشی با عنوان «ایران و اسرار ایران» در توصیفی که از ایران می‌دهند به قنات نیز اشاره شده است. فیلیپ بِکت خاک‌شناس؛ در مورد دست آوردها و امکانات استفاده از آب قنات پرداخته است (Beckett, 1952). پیر جورج (۱۹٤۷) در بخشی از رسالهٔ دکتری خود در پاریس با عنوان «اتحاد جماهیر شوروی آسیای علیاء -

ایران» به مسائل قنات پرداخته است. سرهنگ نوئل طی دوران جنگ جهانی در ایران حضور داشته و بر اساس مشاهدات خویش مقاله‌ای مهم با توصیفات عالی به همراه داده‌های تکنیکی و اقتصادی به قنات‌ها پرداخته است (Col. E. Noël, 1944). رسالهٔ دکتری دکتر کوروس دربارهٔ مسائل آب در ایران به آلمانی می‌باشد (Kuros, 1943). سی. اف. تولمَن آمریکایی در مقالهٔ «آب زمین» اعلام داشته که قنات‌ها بزرگترین کار بشر در عهد باستان است (Tolman, 1937). مهندس آلمانی بنام کارتونگ مطالعهٔ جامعی پیرامون مسائل آب در ایران در خصوص پروژه‌های سد سازی داشته است و اشارهٔ کوتاهی در نوشته هایش به قنات کرده است (Karting, 1935). یکی از قدیمی‌ترین و بهترین مقالات در مورد قنات توسط مهندس آمریکایی بنام باتلِر «آبیاری با قنات در ایران» که در مورد مسائل تکنیکی قنات و فهم قنات نوشته شده است، مسائلی که دیگر محققان از آن اطلاعی نداشتند و نیز از خطاهای بزرگی که دیگران در مورد فهم پدیدهٔ قنات مرتکب شده‌اند اجتناب کرده است (Butler, 1933). کُنت دو گاسپارِن در «درس کشاورزی» به توصیف قنات به لحاظ تکنیکی پرداخته است (Gasparin, 1850).

تاریخچهٔ بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی

بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی به گذشته‌های دور بر می‌گردد. پیش از آنکه انسان راه استفاده از آبهای زیرزمینی را بیابد، در کنار رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و چشمه‌ها زندگی می‌کرده است. بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی بخصوص در مناطق خشک آسیا سابقه‌ای طولانی دارد. اولین راه بهره برداری از آب زیرزمینی احتمالاً چاه بوده است. قدیمی‌ترین چاه آبی که تا کنون به جای مانده در درهٔ رود سند است که ساختمان آن را به ۶۰۰۰ سال پیش مربوط می‌دانند. مصریان در ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد در حفر چاه در زمین های سنگی مهارت داشته‌اند. چینیان قدیم با روش حفاری آهسته، که سالها و بلکه دهها سال طول می کشید و شبیه حفاری ضربه‌ای امروزی بود، چاههایی با عمق اعجاب انگیز ۱۵۰۰ متر نیز حفر کرده‌اند (صداقت، ۱۳۸۲).

بزرگترین ابتکار در استفاده از آبهای زیرزمینی در گذشته «قنات‌ها» بوده‌است. آثار قناتهای قدیمی در نقاط مختلف ایران به فراوانی دیده می‌شود. قنات قصبهٔ گناباد با ۳٤۰ متر عمق مادر چاه و قنات‌های طویل نظیر قنات زارچ با طول ۸۰ کیلومتر (سمساریزدی، ۱۳۹۳) نمونهٔ بارز از مهندسی باستانی است. قنات‌ها نشان دهندهٔ توانایی و دانش پیشینیان در زمینهٔ مهندسی و آبرسانی است.

برخی از دانشمندان ایرانی در خصوص آبهای زیرزمینی و سطحی نظرات ارزنده‌ای ارائه کرده‌اند. از جمله ابوبکر محمد بن الحسن الحاسب کرجی (قرن چهارم و پنجم هجری قمری) در کتابی تحت عنوان استخراج آبهای پنهانی دربارهٔ منشاء و راههای استخراج آب زیرزمینی می‌باشد (کرجی، ۱۰۱۰). ابوریحان بیرونی (قرن چهارم و پنجم هجری قمری) در آثارالباقیة منشاء آب چشمه‌ها و علت تغییرات مقدار آب آنها را ذکر کرده است. وی برای اولین بار خروج آب از چاههای آرتزین را بر اساس قانون «ظروف مرتبطه» بیان می‌کند (بیرونی، ٦۳۲-٤٤۰ ه.ق). ابوحاتم مظفر اسفرازی (قرن پنجم و ششم هجری قمری) در رسالهٔ آثار علوی دربارهٔ پدید آمدن جویها، رودها و چشمه‌ها، نفوذ آب به زمین، حرکت آب در زیرزمین، تغییر کیفیت آب به دلیل وجود کانیهای قابل حل در مسیر آب و بسیاری از مسائل آب شناسی دیگر به تفصیل سخن گفته است (اسفرازی، ٥۰٦-٤۳۷ ه.ق). این اثر به دلیل پرداختن به مسائل آب‌شناسی و زمین‌شناسی در آن دوران، از اهمیّت ویژه‌ای برخوردار است. ابوحاتم ریاضیدان و ستاره‌شناس ایرانی‌تبار بود و در زمان حیاتش در رصدخانه‌های سلجوقی فعالیت می‌کرد.

اولین کسانی که توانستند بر اساس مشاهده و تجربه منشاء آبهای سطحی و زیرزمینی را نشان دهند پیر پیرو (۱٦۸۰-۱٦۰٦) و آدمه ماریوت (۱٦۸٤-۱٦۲۰) دانشمندان فرانسوی بودند. پرو با اندازه‌گیری مقدار بارندگی و آب جاری در یک حوضه نشان داد که مقدار آب جاری خیلی کمتر از آب باران بوده است. ماریوت ضمن تأیید تجربهٔ پرو، راجع به نفوذ آب در زمین بررسیهایی انجام داد و نتیجه‌گیری کرد که چشمه‌ها با بارانی که به زمین نفوذ می‌کند، تغذیه می‌شوند. هنری دارسی مهندس فرانسوی، اولین کسی بود که قانون حاکم بر جریان آب در محیطهای متخلخل را بیان کرد و قدم بزرگی در راه مطالعهٔ آبهای زیرزمینی برداشت (صداقت، ۱۳۸۲). هنری گوبلو (۱۹۸۸-۱۸۹٦) زمین‌شناس فرانسوی مطالعات گسترده‌ای در زمینهٔ قنات‌های ایران انجام داد و به اهمیّت آنها به عنوان یک «تکنیک ایرانی» در آبرسانی اشاره کرد. وی بیش از ۲۰ سال (از سال ۱۳۱۹ خورشیدی) در ایران به مطالعهٔ این

سیستم‌های آبرسانی زیرزمینی پرداخت. کتاب قنات: فنّی برای رسیدن به آب اثر هنری گوبلو (۱۹۷۹) منبعی جامع و ارزشمند در زمینهٔ قنات در ایران باستان می‌باشد. این کتاب بازسازی بخشی از رسالهٔ دکترای سیکل سومی است که در دانشکاه سوربن پاریس به سال ۱۹۷۳ با راهنمایی آقای پروفسور گزاویه دوپلانول عرضه شده است. بنابراین نشان از ماهیت دانشگاهی خود است (Ghoblot, 1979).

نقشه‌برداری در زیر زمین

در دوران باستان به منظور حفر قنات از روش‌های ساده ابتدایی با ابزار دست، ولی دقیق نقشه‌برداری تحت‌الارضی استفاده شده است که شامل استفاده از مادر چاه، میله چاه‌ها، کورهٔ قنات و مظهر قنات می‌باشد. ابتدا در مناطق سفره‌های آب زیرزمینی مادر چاه حفر می‌شد. میله چاه‌های عمودی برای دسترسی به تونل قنات، تهویه و تخلیه خاک حفر می‌شدند و با فاصله‌های منظم در طول مسیر قرار می‌گرفتند. با استفاده از روش‌های سنّتی موجود و اندازه‌گیری دقیق شیب زمین، مسیر قنات تعیین می‌شد تا آب با کمک نیروی جاذبه به سمت مظهر هدایت شود. از چاه‌های میله به صورت همزمان، عمل حفاری کوره (تونل) شروع می‌شد. تونل‌های زیرزمینی که با دقت و شیب مناسب حفر می‌شدند تا آب را به سطح هدایت کنند. در نهایت، در نقطه‌ای که شیب زمین به سمت مظهر قنات متمایل بود، تونل به سطح زمین می‌رسید و مظهر قنات ایجاد می‌شد. این روش‌ها نشان‌دهندهٔ دانش عمیق و درک مهندسی از علم آب، زمین‌شناسی و نقشه‌برداری تحت‌الارضی است (الهی، ۱۳۸٤؛ بهنیا، ۱۳۷۹). نقشه‌برداری که در آن ریاضیات عملی با فنون اندازه‌گیری و هنر ترسیم توأم شده عبارت است از تعیین شکل مسطحاتی یا ارتفاعی عوارض زمین یا قطعاتی از آن روی صفحه افقی که شامل مراحل برداشت، محاسبه و ترسیم می‌شود این مراحل ممکن است قسمتهایی از معدن در زیر سطح زمین را نیز شامل شود (چهرازی و مقرب‌نیا، ۱۳۸۳).

در دوران باستان، نقشه‌برداری زیرزمینی به شکلی که امروز می‌شناسیم رایج نبود، اما نیاز به درک و مدیریت فضاهای زیرزمینی برای ساخت‌وسازهای مهندسی مانند راه‌آب‌ها و سیستم‌های آبیاری وجود

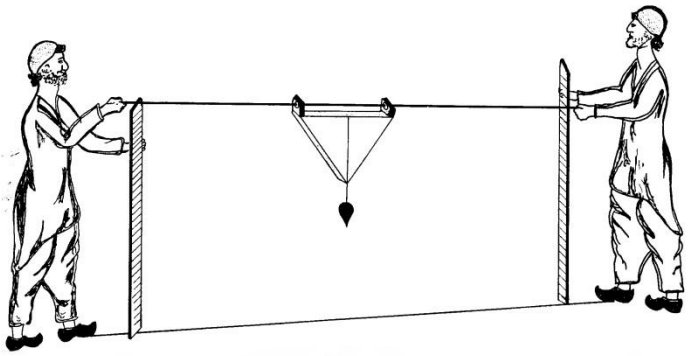
داشت که از روش‌های اندازه‌گیری و نقشه‌کشی اوّلیه برای این منظور استفاده می‌کردند. شواهد باستانی نشان‌دهندهٔ استفاده از ابزارهای ابتدایی برای اندازه‌گیری و نقشه‌کشی، از جمله در دورهٔ ساسانیان، برای پروژه‌های زیرزمینی مانند ساخت پل‌ها، آبراه‌ها و سیستم‌های آبیاری است که به مدیریت منابع آب و زمین کمک می‌کرد.

ترازشناسی در ارتباط با حفر قنات

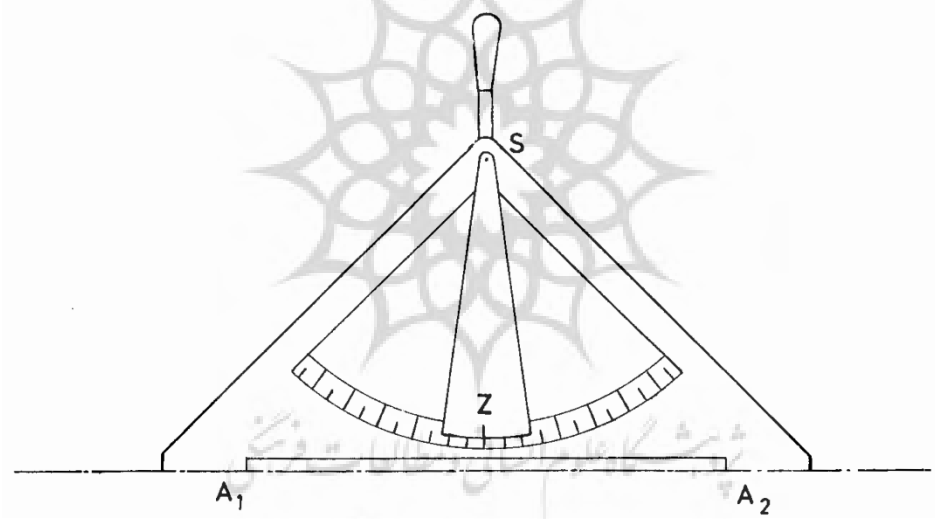
استفاده از ترازهای آبی از زمان حفر اوّلین قنات‌ها در تاریخ تمدن بشر حضور داشته است و تاکنون ادامه دارد. برای حفر قنات، ابتدا باید شیب مناسب زمین شناسایی و اندازه‌گیری می‌شد تا آب با سرعتی ثابت و بدون اتلاف، در مسیر خود جریان یابد. علم ترازشناسی این فرآیند را ممکن می‌ساخت و با استفاده از اصول هندسه و ریاضی، خطوط تراز و شیب‌بندی دقیق انجام می‌گرفت. نبوغ ایرانیان در طراحی و ساخت قنات‌ها، که از شاهکارهای مهندسی جهان به شمار می‌روند، نشان‌دهندهٔ تسلط آن‌ها بر اصول ترازشناسی و ریاضیات در آن دوران بوده است. حفر قنات نیازمند دانش علمی «ترازشناسی» بوده است که بر پایهٔ ریاضیات ساده و هندسه استوار است. این علم به روش‌شناسی‌های دقیق برای احداث قنات و هدایت آب می‌پرداخته و در آثار دانشمندان بزرگی چون کرجی به آن اشاره شده است. دانش ترازشناسی به مطالعه و دانش اندازه‌گیری، تراز کردن، و تعیین شیب زمین برای احداث کانال‌ها و قنات‌ها می‌پردازد. متخصصان این رشته با استفاده از ابزارهای ساده هندسی و ریاضی، شیب مناسب را برای جریان یافتن آب در طول قنات‌ها محاسبه می‌کردند تا آب به مقصد مورد نظر برسد.

ابوبکر محمد بن الحسن الحاسب کرجی در زمینهٔ مثلثات پیشرفت‌های قابل توجهی داشت و این دانش در روش‌های اندازه‌گیری و تسطیح زمین کاربرد فراوان داشت. کرجی در کتاب استخراج آبهای پنهانی حدود ۱۰۰۰ سال قبل به بررسی و معرفی ترازهای آبی رایج در عصر خود پرداخته است که در ایران استفاده می‌شده است. ترازهایی که به ابزارهای اندازه‌گیری ارتفاع و شیب اشاره دارد و در زمینهٔ استخراج آب‌های زیرزمینی می‌باشند. کرجی علاوه بر چهار تراز به عنوان ابزارهای موجود (تراز شاقولی، تراز آبی لوله‌ای دو سر باز، تراز شاهینی و تراز آبی لوله‌ای دو سر بسته)، دو نوآوری مهم در ابزارهای نقشه

برداری آن زمان پدید آورد. نخستین نوآوری وی، مدرج سازی (کالیبره کردن) ترازهای شاقولی (تراز شاقولی مدرج) بود. دوّمین نوآوری، اختراع ترازهای دوربینی غیرمدرج و مدرج غیرمسطح بود. کرجی را باید پایه گذار ترازهای دوربینی جدید دانست. تراز شاقولی مدرج که نوع تکامل یافته‌تر تراز شاقولی می‌باشد برای اندازه‌گیری ارتفاع و شیب استفاده می‌شود. استفاده از ترازهای آبی و شاقولی فوق الذکر و نظایر آنها مستلزم اندازه‌گیری مستقیم اختلاف ارتفاع بین دو نقطه در هر نوبت اندازه‌گیری است لذا برداشت زمین بسیار زمان‌بر و نیرو بر می‌شود. کرجی به شیوهای ساده اما هوشمندانه نخست به مدرج سازی صفحه تراز مبادرت می‌ورزد سپس به راحتی اختلاف ارتفاع را با توجه به انحراف عقربه یا نخ شاقول بر حسب تعداد درجات معین می‌کند. در تراز دوربینی مدرج که به نظر می‌رسد که از یک دوربین برای اندازه‌گیری دقیق‌تر استفاده می‌کند. به طور کلی، ترازهای کرجی ابزارهای مهمی در زمینهٔ اندازه‌گیری و استخراج آب‌های زیرزمینی بوده‌اند و نقش مهمی در پیشرفت این علم در زمان خود ایفا کرده‌اند. ترازهای کرجی به نوعی ابزارهای نقشه‌برداری و روش اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع، فاصله‌ها و ارتفاع کوهها و تراز کردن و شیب دادن و مسیریابی قنات‌ها بوده است. تراز شاقولی متشکل از یک صفحهٔ چوبی یا برنجی نازك و سخت به شکل مثلث متساوی الساقین است و قاعده آن هنگام مساحی همیشه به طرف بالا و رأس آن به طرف پائین قرا می گرفته است. از وسط قاعدهٔ تراز تراز شاقولی آویخته است که نخ شاقول در حالتی که تراز به صورت کاملاً افقی قرار گرفته است دقیقاً از رأس مثلث می‌گذرد. شکل ۱ تراز شاقولی مثلثی کرجی و شکل ۲ هم تراز مثلث شکل امروزی را نشان می دهد که نام آن به آلمانی Gradbogen و به انگلیسی Surveyor's or Miner's است. همان گونه که از شکل ۱ دیده می‌شود به کمک این وسیله هم می‌توان اختلاف ارتفاع را به دست آورد و هم مستقیماً زاویهٔ شیب را تعیین نمود. برای تعیین ارتفاع نقطه با تراز شاقولی مثلثی کرجی، تراز را به صورت افقی بین دو نقطه قرار داده و شاخص‌ها را در ابتدا و انتهای آن نگه می‌دارند؛ سپس میزان انحراف شاقول را از خط قائم یادداشت می‌کنند.



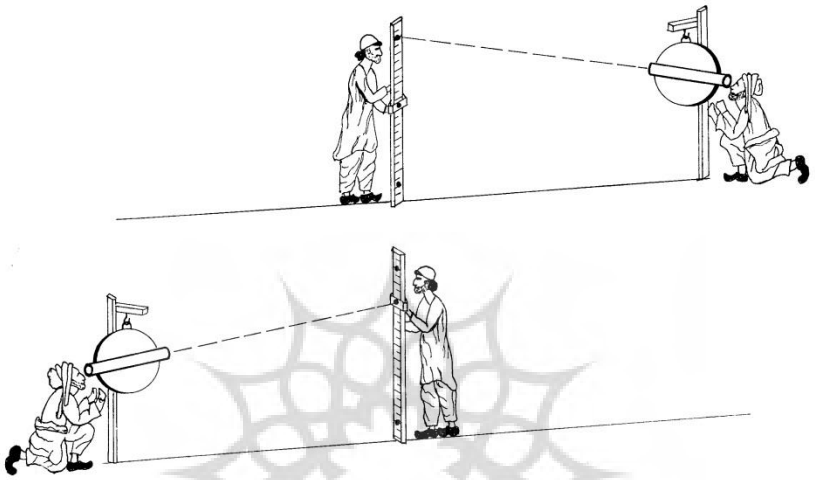
شکل ۱- تراز شاقولی مثلثی ایران باستان (رضا و همکاران، ۱۳۵۰)



شکل ۲- زاویه سنج امروزی برای تعیین میزان شیب زمین (رضا و همکاران، ۱۳۵۰)

تراز دوربینی کرجی متشکل از صفحهٔ گِرد یا چهار گوشهایی از چوب یا برنج سخت و نازك است. لوله‌ای برنجی در نهایت راستی و محکمی در وسط منحنی تراز نصب می‌شود که می‌توان آن را به گونه‌ای محکم کرد که هم حرکت کند و هم در زمان لازم ثابت شود. شکل ۳ تراز دوربنی کرجی را نشان می‌دهد. کرجی این تراز را هم در حالتی ساده و هم در وضعیت درجه‌بندی شده توصیف می‌کند و به کار می‌گیرد.

تراز دوربینی کرجی بسیار شبیه وسایل امروزی است به استثنای این که فاقد وسیلهٔ تلسکوپی یا الکترونیکی است.



شکل ۳- تراز دوربینی کرجی به منظور تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه
(رضا و همکاران، ۱۳۵۰)

اصل فیزیکی ظروف مرتبطه در عملکرد قنات‌ها

ظروف مرتبطه (آوندهای پیوسته) به ظروفی گفته می‌شود که از بخش زیرین به توسط مجرایی به یکدیگر متصل باشند به گونه‌ای که چون در یکی مایعی بریزند به دیگر ظروف درآید و با وجود اختلاف شکل آنان، مایع در همگی به یک سطح قرار گیرد. قانون ظروف مرتبطه ابوریحان بیرونی (بیرونی، ٦٣٢-٤٤٠ ه.ق): می‌گوید دو ظرف مجزای حاوی مایعات، تا زمانی که از هم جدا و بی ارتباط باشند، می‌توانند در دو ارتفاع مختلف قرار گیرند؛ امّا، به محض آنکه این دو ظرف را با لوله‌ای بهم وصل کنیم، محتوای ظرفی که در ارتفاع بالاتر قرار دارد شروع به حرکت به سوی ظرف پائین‌تر کرده و سطح مایع موجود در ظرف کم ارتفاع تر را بالا می‌برد، و این جریان آنقدر ادامه می‌یابد تا مایعات داخل هر دو ظرف هم‌سطح شوند. قدیمی‌ترین و مهمترین سازهٔ تاریخی آبی ایران به نام تصفیه خانه چغازنبیل در شهرستان شوش و در کنار

زیگورات چغازنبیل قرار دارد. در این تصفیه خانه با استفاده از قانون فیزیکی ظروف مرتبطه و مصالحی مناسب شامل قیر و و آجر و سطوح شیب‌دار که هم اینک نیز در تصفیه خانه‌های جهان استفاده می‌شود آبی را که از رودخانه کرخه در ۴۵ کیلومتری آن کشیده بودند (کانال روباز) تصفیه می‌کرد. امروزه از قانون ظروف مرتبطه در ساخت شلنگ‌تراز و نقشه‌برداری استفاده می‌شود که با کمک آن اختلاف ارتفاع بین سطوح را اندازه‌گیری می‌کنند. گرچه بیرونی مستقیماً قانون ظروف مرتبطه را برای قنات به کار نبرده است، اما اصل فیزیکی پشت این قانون در عملکرد قنات‌ها نقش دارد. در قنات‌ها، آب از ارتفاعات بالاتر و منابع طبیعی به سمت مناطق پائین‌تر با استفاده از نیروی ثقل زمین و با ایجاد یک شیب ملایم حرکت می‌کند، که این جریان بر اساس اصل «قانون ظروف مرتبطه» صورت می‌گیرد. نیروی اصلی که آب را در قنات‌ها به حرکت در می‌آورد، نیروی جاذبهٔ زمین است. کانال‌های قنات با شیب‌بندی مناسب طراحی می‌شوند تا آب به طور پیوسته از نقطهٔ مرتفع‌تر به سمت نقطهٔ پائین‌تر جریان یابد. آب در نقاط بالاتر در قنات فشار بیشتری دارد و این فشار باعث راندن آب به سمت پائین‌تر می‌شود، که این پدیده با قانون ظروف مرتبطه همخوانی دارد. بنابراین، قانون ظروف مرتبطه مفهوم بنیادی تداوم فشار مایع را توضیح می‌دهد و اصل هدایت آب در قنات‌ها از ارتفاعی به ارتفاعی دیگر با کمک نیروی جاذبهٔ زمین، بر پایه همین اصل فیزیکی بنا شده است.

اکتشاف منابع آب زیرزمینی

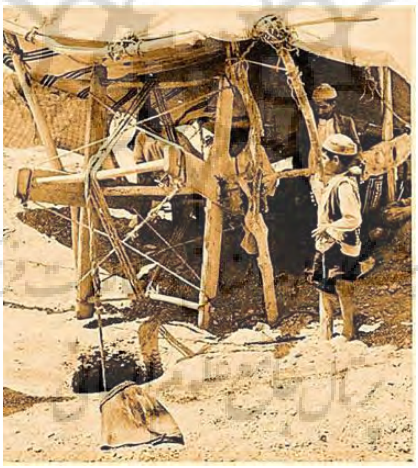
آبی که در زمین فرو می‌رود و در زیر زمین قرار می‌گیرد آب زیرزمینی نامیده می‌شود. در زمین‌های قابل نفوذ، آب کم کم در داخل ذرات خاک می‌شود و در زمین پائین می‌رود تا در اعماق زمین به یک طبقهٔ رسی یا یک سنگ بی‌شکاف برخورد کند و در این حال در سطح آنها متوقف و جمع می‌گردد (Obruchev, 1986). بررسیهای اولیه و مطالعات زمین‌شناسی و تفسیر عکسهای هوایی تصویری از سیستم آب زیرزمینی نمایان می‌سازند. مطالعات چینه‌شناسی و بررسیهای تکتونیکی موقعیت و ضخامت افق‌های آبدار روشن می‌شود و نقشه‌های هیدروژئولوژی تهیه می‌شود. در مطالعات آب‌شناسی موقعیت، مقدار و آب و شرایط هیدرولوژیک منطقه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در مطالعهٔ آبهای زیرزمینی یک

منطقه، جمع آوری اطلاعات مربوط به آبهای سطحی و هواشناسی از نظر محاسبهٔ بیلان کلی آب منطقه ضرورت دارد. با بررسیهای ژئوفیزیک در سطح زمین می‌توان محل‌های مناسب‌تر برای حفر چاهها مشخص کرد. مهمترین روش مورد مطالعه در مطالعهٔ آبهای زیرزمینی روش «مقاومت ویژه» (ژئوالکتریک) است (صداقت، ۱۳۸۲).

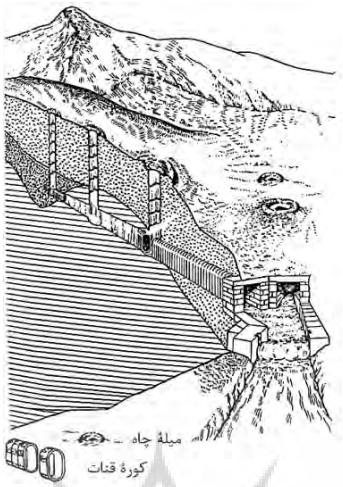
سیستم آبرسانی باستانی: میراثی زنده از پیش از تاریخ تا عصر قاجار

«قنات» یک سیستم باستانی و هوشمندانه است که می‌توان از آن برای رسیدن به آبهای زیرزمینی استفاده کرد. سیستم قنات از واژه‌ای سامی به معنای حفر کردن، هزاران سال پیش در ایران اختراع شد و آنقدر ساده و مؤثر است که در بسیاری از مناطق دیگر خاورمیانه و اطراف دریای مدیترانه به کار گرفته شده است (Wulff, 1968). این سیستم از دوران پیش از تاریخ تا دورهٔ قاجار (شکل ٦) مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین قنات نمادی از ماهیت یک میراث زنده می‌باشد. قسمت اصلی قنات مجرای افقی یا پیشکار است و انتقال آب را به طرف مظهر قنات انجام می‌دهد (شکل ٥). امتداد مجرای قنات تقریباً در جهت جریان آب زیرزمینی است و در بخشی از مسیر خود سفرهٔ آب زیرزمینی را قطع می‌کند. بنابراین مجرای قنات از دو قسمت تشکیل شده که اصطلاحاً تره‌کار و خشکه‌کار خوانده می‌شود. در قسمت تره‌کار که قسمت آبدهِ قنات است سطح ایستابی بالاتر از کف مجرا قرار دارد و به این ترتیب آب درون مجرای قنات جمع می‌شود و به طرف مظهر آن حرکت می‌کند. مجرا یا پیشکار دارای شیب کمی به طرف مظهر قنات است تا آب بتواند تحت اثر وزن خود در آن حرکت کند. قطعاً شیب مجرا باید کمتر از شیب سطح زمین باشد تا جایی در پائین دست در سطح زمین ظاهر شود و آبهای قسمت تره‌کار را به طرف مظهر قنات هدایت کند. پیشکار قنات را از طرف مظهر به طرف بالادست حفر می‌کنند. در حین حفر مجرا برای تهویه و امکان خروج مواد کنده شده چاههای قائمی به نام میله نیز حفر می‌کنند (شکل ٤). وجود میله‌ها از نظر هدایت مسیر قنات از سطح زمین، رفت و آمد مقنی‌ها و لایروبی قنات نیز ضروری است. آخرین میله که عمیق‌ترین آنهاست مادر چاه خوانده می‌شود. پایاب سازه‌ای برای دسترسی افراد به آب کورهٔ قنات است و بصورت مورب و با شیب ملایم از سطح زمین به سمت کورهٔ قنات همراه با

پله‌هایی ساخته می‌شود. پایاب‌های عمومی جهت دسترسی عموم به آب قنات و پایاب‌های خصوصی در منزل اشخاص ایجاد می‌شده است. قنات‌ها برای پاسخگویی به نیاز بشر در محدوده‌های جغرافیایی مختلف ساخته شده است. به عبارت دیگر، تمدن‌های باستانی در بدو وجودشان به آب نیاز داشته‌اند. زمینهٔ علم شناخت سفره‌های آب زیرزمینی و حفر قنات‌های متعدد، طویل و عمیق در ایران باستان در رابطه با فناوری‌های آبی بوده است. قنات‌های باستانی کشف شده در میدان دلازیان و شمال دهکده های میرزای احمدی در جنوب سمنان در حدود هزارهٔ دوّم قبل میلاد (مهریار و کبیری، ۱۳٦٥) و قنات‌های تپّهٔ تاریخی روستای تورنگ تپه در هزارهٔ سوّم و دوّم قبل میلاد استان گلستان نمونه‌هایی از این قنات‌ها می‌باشد. در سفرنامهٔ مارکوپلو (۱۲۹۲م)؛ شاردِن؛ تاورنیه؛ سفیر لویی فیلیپ (۱۸٤۰-۱۸۳۹)؛ هانری بیندِر (۱۸۸۷م)؛ در یک متن روسی مسیر تئودوت کوتوف پستچی در ایران در قرن هفدهم و سفرنامهٔ هانری رِنه (۱۸۹۸- ۱۹۰۷م): سفرنامهٔ از خراسان تا بختیاری به قنات اشاره شده است.



شکل ٤- تصویری از میله چاه قنات و فرآیند لایروبی و خروج گل و لای انباشته شدهٔ کورهٔ قنات (وُلف ۱۹٦۸).



شکل ٥- نمایی طرح گونه برای توصیف اجزاء و ابعاد قنات از کتاب پِیسی (۱۹۹۰)

شکل ٦- کَول قنات؛ حدود ۱۸۹۸- ۱۹۰۷ میلادی (قاجاریان)؛ مشهد، استان خراسان رضوی؛ این سند برگرفته از کتاب سفرنامهٔ از خراسان تا بختیاری؛ اثر هانری رِنه دالمانی است

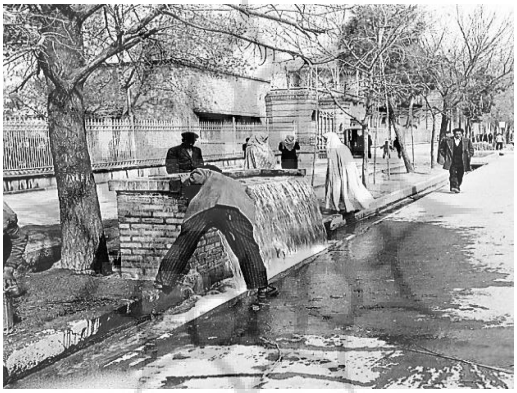
از دورهٔ هخامنشیان و ساسانیان رشته قنات‌های متعدد در کوه رحمت تخت جمشید و محوطهٔ تاریخی کاخ سروستان، استان فارس بجای مانده است. در کتیبهٔ سنگی هخامنشی جزیرهٔ خارک به خط میخی فارسی باستان آمده است: «این سرزمین خشک و بی‌آب بود، شادی و آسایش را آوردم». این کتیبه نشان می‌دهد که قنات‌ها در این منطقه نقش مهمی در تأمین آب و بهبود زندگی مردم داشته‌اند. ماکسینم سیرو (۱۹٤۹): بقایای هنوز قابل مشاهدهٔ قنات‌های بسیاری را در زیر ماسه‌های حاشیهٔ جنوبی کویر

نمک مرکزی؛ نیز قنات‌هایی که کاخ سروستان و قراء اطراف را تغذیه می‌کرده‌اند پیدا کرده است. این قنات‌ها که احتمالاً به عهد ساسانیان تعلق دارند در قرن سیزدهم از سوی مغولان تخریب شده است. همین ملاحظات در منطقهٔ سیستان نیز انجام شده است. رشته قناتی در نمای بخشی از محوطهٔ باستانی نقش رستم مرودشت در شکل ۷ نشان داده شده است.

شکل ۷- رشته قناتی در نمای بخشی از محوطهٔ باستانی نقش رستم مرودشت؛ استان فارس - نمایی از مقبره‌ها و برج آتش؛ بوریس دوبنسکی (Boris Dubensky)؛ ۱۹۳۷- ۱۹۳۵ میلادی

در کذشته آب انبارها، یخچالها و آسیابهای آبی در مسیر آبی قنات احداث می‌شده است. در دورهٔ قاجار، در پی برخی اقدامات عمرانی، قنات‌هایی نیز حفر شده‌اند (احمدی و پرتوی‌مقدم، ۱۳۹۵). در زمان صفویه و قاجاریه تعداد زیادی آب انبار ساخته شده است. آب انبارهای عمیق این دوره‌ها در مسیر قنات-ها ساخته شده‌اند تا مردم بتوانند از آب قنات که سالم و پاکیزه بود استفاده کنند (تقوائی، ۱۳۹۵). مدتها مردم تهران از آب قنات ناصری برای آب شرب بصورت سطلی از گاریهای حمل آب، آب خریداری می کردند. این گاریها که «آبی‌ها» (توزیع کنندگان آب) نامیده می‌شدند به طور دائم آب سه قنات بزرگ شهر: - قنات شهرداری؛ قنات فرمانفرمائیان؛ قنات سفارت انگلیس- را میان مردم تقسیم می‌کردند. و به این ترتیب خانه‌ها را از لحاظ آب مطبوع، که انحصاراً به مصرف شرب و آشپزخانه می‌رسید، تأمین می کردند. این آب هر سطل، با گنجایش ۷ لیتر؛ به بهای یک ریال به فروش می‌رسید (شکل ۸). در شکل ۹ یک تصویر از قنات فرمانفرمائیان در تهران قدیم نشان داده شده است.

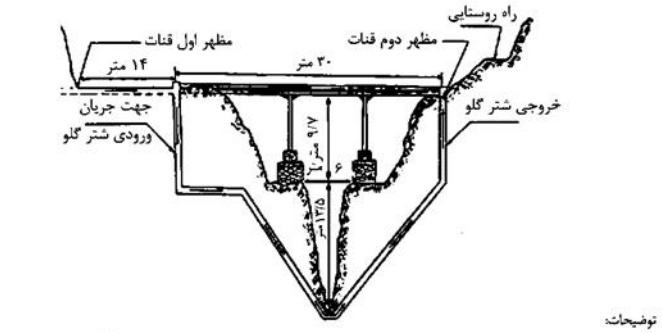
شکل ۸- آب رسانی آب قنات با بشکه‌های چوبی سوار شده بر گاری در خیابان خوش تهران قدیم دهۀ ۱۳۲۰ (مالکی و خورسندی ۱۳۸٤)



شکل ۹- قنات فرمانفرمائیان تهران قدیم (قاجاریه) دهۀ ۱۳۳۰

قنات بَختَگان: سیستم قدیمی انتقال آب قنات

قنات‌ها در برخی نقاط ایران مانند سنگسر و شهمیرزاد در شهرستان سمنان و استان سیستان و بلوچستان برای استفاده از آبهای زیرزمینی از زیر دره عبور کرده‌اند (سازمان برنامه و بودجه: گزارشی از قنات‌های استان سمنان ۱۳٦۰ و سازمان برنامه و بودجۀ سیستان و بلوچستان: گزارشی از قنات‌های سیستان و بلوچستان ۱۳٦۰). قنات بَختَگان در منطقۀ باغملک شهرستان ایذه قرار دارد. این قنات در راه خود از دره‌ای عبور کرده است. کورۀ قنات به صورت شتر گلو از زیر دره عبور کرده است (بهنیا، ۱۳۷۹)؛ (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- قنات بَختَگان واقع در بخش باغملک شهرستان ایذه که در مسیر خود از یک دره عبور می‌کند (بهنیا ۱۳۷۹).

قنات هایی با سدهای زیرزمینی و دو طبقهٔ ایران

قنات سد زیرزمینی دار وزوان قدیم

قنات وزوان در شهرستان وزوان استان اصفهان با قدمت ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ ساله و قنات مزدآباد در شهرستان میمهٔ استان اصفهان سدهای زیرزمینی دارند. در قنات وزوان در یکی از میله‌های قنات که ۳ متر قطر دارد و ٦۰۰ متر از مادر چاه فاصله دارد و احتمالاً میلهٔ تَران- خُشکان است دیواری از سنگ و ساروج به ضخامت ۱ متر و عرض ۳ متر و به بلندی کل میله چاه ساخته شده است. روی این دیوار ۵ سوراخ به قطر حدود ۳۰ سانتی متر به فاصلهٔ ۱ متر از هم ایجاد شده است. با بستن این سوراخ‌ها مقداری آب در پشت این سد زیرزمینی ذخیره می‌شود (بهنیا، ۱۳۷۹).

قنات دو طبقهٔ مون اَردستان

این قنات دارای دو تونل زیرزمینی اصلی با یک مادر چاه است. هر طبقه دارای یک جریان آب مجزاء مستقل است. آب هیچ یک از این دو طبقه به دیگری نفوذ نمی‌کند. این قنات یکی از عجیب‌ترین

قنات‌های ایران است. این قنات نشان دهندهٔ تسلط بشر بر دانش زمین‌شناسی در گذشته است. در حفاری قنات دو طبقه باید دو لایه خاک مناسب برای عبور آب شناسایی شود و این دو لایهٔ خاک از استحکام کافی برخوردار باشند.

زمینهٔ علم حفر سازهٔ قنات

تاریخ علم یک علم است و مانند هر علمی ویژگیهای خاص خود را دارد. شاید مهمترین این ویژگیها آن باشد که «تاریخ علم» از سویی با تمام «تاریخ» بطور کلی و از سویی با تمام علم بستگی و پیوستگی نزدیکی دارد (Renan, 1984). ایرانیان با داشتن دانش و علم کافی از زمین‌شناسی و آب‌شناسی حدود ۶۰۰۰ سال پیش قنات را ساخته‌اند (بربریان، ۱۳۷٦). علمی که به مطالعهٔ منابع آب موجود در زیرزمین می‌پردازد «ژئوهیدرولوژی» (آب‌شناسی زیرزمینی) خوانده می‌شود. در این علم به طور کلی مسائلی مثل محل پیدایش، توزیع، خواص و چگونگی حرکت آبهای زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. آب زیرزمینی یکی از مهمترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان است. آب زیرزمینی بعد از یخچالها و یخ‌پهنه‌ها، بزرگترین ذخیرهٔ آب شیرین زمین را تشکیل می‌دهد (صداقت، ۱۳۸۲). آبهای زیرزمینی و شرایطی را که که به کمک آنها می‌توان آبهای زیرزمینی را برای مصارف در شهرها مورد استفاده قرار داد با کمک علم «زمین‌شناسی» میسر است (Obruchev, 1986). قنات‌های طویل و عمیق حفر شده و کثرت قنات-های ثبت شده به تعداد ٤١٠٨٨ رشته قنات موجود در بانک قنات ایران نشان می‌دهد که بشر از قرنها پیش توانسته زمین و محدودیت‌های آن را بشناسد و با حفر قنات در پیچیده‌ترین ساختارهای زمین شناسی در چندین هزار سال پیش با علم زمین‌شناسی مهندسی آشنا بوده است. در رابطه با قدمت مهندسی زمین‌شناسی تنها تولد مهندسی زمین‌شناسی را به عنوان نمونه‌ای ثبت شده در کتب علمی می‌توان به سال ۱۹۱٤ میلادی در رابطه با کانال پاناما؛ سد سنت فرانسیس به سال ۱۹۲۸ میلادی در کالیفرنیا و یا سد وایونت در ایتالیا به سال ۱۹٦۳ میلادی و سد لار در شرق تهران دانست (اسدی‌نیا و میرزینلی، ۱۳۸۸). در قرون ۱۷ و ۱۸ بود که زمین‌شناسی از قلمرو حدس و نظر خارج شد و به شأن بلند علم دست یافت (Renan, 1984). جریان آب در کورهٔ قنات و انتقال آن از اعماق زمین به سطح زمین

با استفاده از اصل گرادیان هیدرولیکی انجام گرفته است. گرادیان هیدرولیک (i=Δh/L) اوّلین بار توسط هِنری دارسی در سال ۱۸۵٦ عنوان شد و به نام قانون دارسی مشهور است (مومیوند، 1395b). در طی دوران قرون میانی و چند صده از قرون جدید حفریات بی‌شماری برای اهداف مختلف در نقاط مختلف زمین از قبیل احداث تونل‌های زهکش و تونل‌های حفر زغال سنگ در معدن کاری قرون ۱۸ و ۱۹ ایجاد شده است (مومیوند، 1395a). کوره‌های قنات حفر شده در داخل خاک به منظور هدایت آبهای زیرزمینی، نوعی تونل محسوب می‌شوند (Hunt, 1984؛ English, 1998 ؛ Rahn, 1996؛ Mays, 2010) در دوران کهنی که قنات‌ها حفر شده‌اند موضوعاتی تحت عنوان مکانیک خاک مطرح نبوده است. ترزاقی در سال ۱۹۲٤ اوّلین کتاب مکانیک خاک را به زبان آلمانی منتشر کرد. دانش مکانیک خاک با اوّلین کنفرانس بین المللی در مورد مکانیک خاک و مهندسی پی که در سال ۱۹۳٦ میلادی در دانشگاه هاروارد امریکا برگزار شد، در سطح جهانی تثبیت گردید (معماریان، ۱۳۸٦). قنات زارچ دارای عمق مادر چاه ۸۵ متر، ۸۰ کیلومتر طول و تعداد ۲۱۱۵ میله چاه می‌باشد. در حدود ۳۰ کیلومتر از مسیر قنات از زیر شهر یزد و حومه‌های آن عبور کرده است. از گذشته‌های دور تأسیسات آبی متعدد از قبیل پایاب و آسیاب در مسیر عبور این قنات احداث شده است و تأمین آب آنبارهای داخل شهر یزد از آب این قنات بوده است (سمساریزدی، ۱۳۹۳). تجربهٔ ساخت قناتها از هزاران سال پیش نشان می‌دهد که سازندگان آنها دانش محاسباتی بالایی داشته‌اند و این فراتر از درک بشر است که چگونه این کار را انجام داده‌اند. و به راستی قنات‌ها از اهرام مصر مهمترند. با تکنولوژی مدرن امروز ساخت این قنات‌ها غیر ممکن است. امروزه با تکنولوژی مدرن ساخت تونلها، از اسکنرهای لیزری پیشرفته برای یافتن مسیر استفاده می‌کنند. حتی امروز با محاسبات دقیق پیش رفتن مسیر درست در طی ۸۰ کیلومتر غیر ممکن است و حتی توان انجام این کار در امروز نیست. و این یک توان شگفت‌انگیز است. قنات زارچ فراتر از آنکه تصور کنیم است و به شدت قابل ستایش است (شکل ۱۱). قنات‌های ثبت شده ایران در بانک قنات ایران طبق آمار ۱۳۹۰ به تعداد ٤۱۰۸۸ رشته قنات فعال موجود می‌باشد. هر قنات بطور متوسط حاوی ۱۰ کیلومتر چاه (کوره و میله چاه) می‌باشد. به عبارتی ٤۰۰ هزار کیلومتر چاه، که این ٤۰۰ هزار کیلومتر چاه ۱۰ برابر دور کرهٔ زمین است که آب درون آنها حرکت می‌کند. قناتهای ایران هشتمین

عجایب دنیا هستند. عجایبی که همه مستند و در کتاب حساب شده موجود می‌باشند (جواد صفی نژاد، ۱۳۹۰).

شکل ۱۱- مسیر قنات زارچ از مادر چاه تا مظهر قنات مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ (مآخذ: نگارنده)

نتیجه گیری

این مقاله با تمرکز بر قنات به‌عنوان یکی از برجسته‌ترین دستاوردهای فنّی و مهندسی در تمدن‌های کهن، به بررسی ابعاد تاریخی، زمین‌شناختی، فنی و فرهنگی این سازه پرداخته است. در بخش‌های آغازین، با استناد به منابع باستان‌شناسی و تاریخی، قدمت قنات‌ها تا هزارهٔ سوّم پیش از میلاد در ایران ردیابی شده و نقش آن‌ها در تمدن‌های هخامنشی و ساسانی برجسته شده است. مقاله نشان می‌دهد که قنات‌ها نه‌تنها راهکاری برای تأمین آب در مناطق خشک بوده‌اند، بلکه نمادی از درک عمیق ایرانیان از رفتار خاک، شیب زمین، و اصول مهندسی زیرزمینی محسوب می‌شوند، دانشی که قرن‌ها پیش از شکل‌گیری رسمی علوم زمین‌شناسی و مکانیک خاک به‌کار گرفته شده است.

در ادامه، با مرور پژوهش‌های بین‌المللی از قرن نوزدهم تا امروز، جایگاه قنات در ادبیات علمی جهانی بررسی شده و نشان داده شده است که چگونه محققانی از فرانسه، آلمان، روسیه، ژاپن و دیگر کشورها به مطالعه این پدیده پرداخته‌اند. پژوهش‌های هانری گوبلو، ولف، فورب، و دیگران، قنات را

به‌عنوان یک «تکنیک ایرانی» معرفی کرده‌اند که در گستره‌ای از شمال آفریقا تا آسیای مرکزی گسترش یافته است. همچنین، مقاله به نقش دانشمندان ایرانی مانند کرجی، بیرونی و اسفرازی در تبیین مفاهیم آب‌شناسی و زمین‌شناسی در قرون میانه اشاره می‌کند.

در مجموع، مقاله نشان می‌دهد که قنات صرفاً یک سازهٔ آبی نیست، بلکه تجلی‌گاه پیوند میان علم، تجربه، فرهنگ و محیط زیست در تاریخ ایران و جهان است. این میراث فنّی، که حاصل قرن‌ها مشاهده، آزمون و انتقال دانش بوده، شایسته بازخوانی، حفاظت و بهره‌برداری نوین در عصر حاضر است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

الهی، علی، ۱۳۸۴، «بررسی روند تکاملی نقشه برداری تحت الارضی قنات»، کنفرانس بین المللی قنات، کرمان.

احمدی حسین و عباس پرتوی مقدم ۱۳۹۵. تاریخ ایران و جهان. شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران.

استیو اسلومن، فیلیپ فرنباخ ۲۰۱۷. مترجم: مینا تربتی، محسن فشی. توهم آگاهی. انتشارات کتاب کوله پشتی.

اسدی نیا، حسن، و سید حسین میرزینلی. ۱۳۸۸. زمین‌شناسی مهندسی کاربردی. انتشارات دانشگاه پیام نور.

اسفرازی، ابو حاتم مظفر (۵۰۶-۴۳۷ ه.ق). رساله آثار علوی. به تصحیح محمد تقی مدرس رضوی ۱۳۵۶. انتشارات بنیاد فرهنگ ایران.

اوبروچف. ۱۹۸۶. مبانی زمین‌شناسی. ترجمهٔ عبدالکریم غریب. ۱۳۶۴. شرکت سهامی انتشارات خوارزمی، چاپ سوم.

بهنیا، عبدالکریم. ۱۳۷۹. قنات‌سازی و قنات‌داری. تهران، مرکز دانشگاهی، چاپ دوم، ۱۳۷۹.

بیرونی، محمد بن احمد ابوریحان (۶۳۲-۴۴۰ ه.ق). آثارالباقیه. ترجمه اکبر داناسرشت ۱۳۶۳. تهران: انتشارات امیرکبیر.

تقوائی، ویدا ۱۳۹۵. آشنایی با بناهای تاریخی. تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی.

چهرازی، علی بابا و بهمن مقرب نیا. ۱۳۸۳. نقشه‌برداری. انتشارات دانشگاه پیام نور.

سازمان برنامه و بودجه. ۱۳۶۰. «گزارشی در مورد قنوات استان سمنان»، اولین سمینار قنوات ایران، مشهد، (تیر ۱۳۶۰)(ع ب).

سازمان برنامه و بودجه. ۱۳۶۰. «گزارش سازمان برنامه و بودجه استان سیستان و بلوچستان در مورد قنوات سیستان و بلوچستان»، اولین سمینار قنوات ایران، مشهد، (تیر ۱۳۶۰)، (ع ب).

سمسار یزدی، علی اصغر. ۱۳۹۳. قنات زارچ. مرکز بین المللی قنات و سازه‌های آبی تاریخی، انتشارات شاهنده.

صداقت، محمود. ۱۳۸۲. زمین و منابع آب (آبهای زیرزمینی). تهران، دانشگاه پیام نور، چاپ چهارم تیر ۱۳۸۲.

صداقت، محمود و حسین معماریان. ۱۳۸۱. زمین‌شناسی فیزیکی، جلد اول: فرایندهای بیرونی. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور. چاپ چهارم مهر ۱۳۸۱.

صفی نژاد، جواد و بیژن دادرس. ۱۳۷۹. «سد زیرزمینی قنات وزوان- میمهٔ اصفهان». تهران: موسسهٔ گنجینه ملی آب ایران.

صفی نژاد، جواد. ۱۳۵۹. «نظام‌های آبیاری سنتی در ایران». موسسهٔ مطالعات و تحقیقات اجتماعی دانشکدهٔ علوم اجتماعی دانشگاه تهران، ۱۳۵۹، (ع ب).

صفی نزاد، جواد و محمورضا سبزیان. ۱۳۶۷. بوکن، «سکونتگاه مقنیان یزدی». تحقیقات جغرافیایی زمستان ۱۳۶۷ شماره ۱۱

صفی نژاد, جواد و دادرس, بیژن . (۱۳۷۳). «بند قنات (سری نهفته در دل خاک)». فصلنامه علوم اجتماعی, ۳(۵/۶), ۱۳۳-۱۱۵.
doi: 10.22054/qjss.1995.5156

معماریان، حسین. ۱۳۸۶. زمین‌شناسی برای مهندسین. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ نهم.

مومیوند، حسن. 1395a. مکانیک سنگ. جلد اول (مبانی و پیشرفته). انتشارات دانشگاه ارومیه.

مومیوند، حسن. 1395b. مکانیک سنگ. جلد دوم (مباحث تکمیلی و تخصصی). انتشارات دانشگاه ارومیه.

مهریار محمد، و احمد کبیری. ۱۳۶۵. «گزارش مقدماتی بررسی میدان باستانی دلازیان، چشمه شیخ.» سازمان ملی حفاظت آثار باستانی ایران، شمارهٔ ۱۳، ۱۲و ۱۴، صفحهٔ ۳ تا ۴.

رنان، کالین ا، ۱۹۸۴. تاریخ علم. ترجمه حسن افشار ۱۳۶۶. چاپ اول. حرفچینی مؤسسه سلطانی. لیتوگرافی مردمک. چاپ پنگوئن. صحافی میلاد

رضا، عنایت‌الله، غلامرضا کورس، محمدعلی امام شوشتری و علی اکبر انتظامی. ۱۳۵۰. آب و فن آبیاری در ایران باستان. شرکت سهامی چاپ.

فاگان، برایان ۱۹۳۶. سرآغاز: درآمدی بر باستان‌شناسی (اصول، مبانی و روشها). ترجمهٔ غلامعلی شاملو۱۳۸۲. جلد ۱. حروفچینی، لیتوگرافی، چاپ و صحافی: سمت

فیلسوفی، ا. ۱۳۵۹. آب‌های زیرزمینی، قنات‌ها و چاه‌های عمیق در ایران. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۵۹، ۱۳ صفحه؛ ۳ تصویر.

کرجی، ابوبکر محمدبن حسن حاسب (۱۳۸۸). انباط المیاء الخفیه[استخراج آب‌های پنهانی]. ترجمه حسین خدیوجم. به کوشش هوشنگ ساعدلو. مشهد: مؤسسه انتشاراتی قدس رضوی. صص. ۴۶۰

Beckett, P. "*Qanat in Persia*", Journal of the Iran Society, Londres, 1 (4), 1952, pp. 125133.

Bemont, F., "*L'irrigation en Iran*", Annales de Géographie, 52 (382), 1961, pp. 597-620.

Bemont, F., "*Les villes de l'Iran*", Paris, 1969, 305 p., 9 pl., phot.

Butler, M. A. "*Irrigationin Persia by kanats*", Civil Engineering, 3 (2), fév. 1933, pp. 96-73.

Berking, J., "*Water Management in Ancient Civilizations: Editorial*", in: Jonas Berking (Ed.), Water Management in Ancient Civilizations, Berlin: Edition Topoi, 2018, 7–16.

Carl, T., "*Techniques agricoles, milieu naturel et histoire de l'humanite'*", Bulletin de la société Géographique de Ligé, 3 (3#, 1967, pp.3-25.

Col. E. Noël, C.I.E., "*Qanats*", journal of the Royal Central Asian Socirty, 41, 1944, p. 191-202.

Cressey, G. B., "*Qanats, Karez and Foggaras*", The Geographical Review, 48 (1), 1958, pp. 2744.

English PW (1998) "*Qanats and lifeworlds in Iranian plateau villages*". Yale F&ES Bulletin 103:187–205.

English, P. W., "*The Origin and Spread of Qanats in the Old World*", Proceedings of the American Philosophical Society New York), 112 (3), 1968, pp.170-181.

Feilberg, C., "*Qanaterne, Irans underjerdiske vandingskanales*", in: øst og-est Afghandelinger silegne de Professor A. Christensen, Kobenhavn: Munkgaard, 1945.

Forbes, R. J., "*Studies in Ancient Technology*", 1re éd., Leyde: E. j. Brill, 1954-1955, 2e éd. 1964.

Forbes, R. J., "*A History of Technology*", 2e éd. Oxford: Clarendon Press, vol.2, 1954, chap. 19, pp. 663-666.

Forbes, R. J., "*Hyraulic engineering and sanitation*", in: Singer, C., et al. (Eds). 1956.

Furon, R. "*Le problème de l'eau dans le monde*", Paris, Payot, 1963, 256 p.

Gasparin, A. C. "*De, Cours d'agriculture, 3e éd*"., Paris: Dusacq, 1850-1863, 6 vol. Gaauckler, P. (Dir)., Enquéte sur les installations hydrauliques romaines en Tunisic, Tunis, 1901-1904, vol.2

Goblot, H. (1979). "*Les Qanats: Une Technique d'Acquisition de l'Eau*". Paris: Mouton. 231 pp.

Humlum, J. "*karezes, construeein, funcionamiento y extension en el veigo mundo*", Congresso Geelogico Intarnacional XX, Mexico, 1956, Seccion I, pp. 155-171.

Hunt, R. E. 1984. "*Geotecnical engineering investigation manual*". McGraw Hill.

Larry W. Mays 2010. "*Ancient Water Technologies*". Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 280 pages.

Karting, F, "*Wasserwirtschaft in Iran*", Der kullurtechniker, 39, 1935, pp. 98-85 et 175-192.

Kobori, I. "*Sur les qanats en Iran*", Chigaku-Zasshi (Revue de Géographie physique), 67 (2), 1958, pp. 25-36 (en japonais).

Kunin, W. N., "*Les eaux locales du désert (en russe)*", Moscou: Ac. Des Science de I'URSS, 1959 .

Kunin, W. N., "*Eaux souterraines, trésor inconnu*", Courrier de I'Unesco, 17, jullet-août 1964, pp. 14-22.

Kuros, G. R., "*Iran's kampf um wasser*", Berlin, 1943.

Pacey, A, 1990. "*Tecnology in World Civilization*". MIT Press, Cambridge. Massachusetts, 1990.

Planhol, X. de, Rognon, P., "*Les zones tropicales arides et subtropicales*", Paris: A. Colin,1970, 488 p., ill., pl. carte en couleur.

Mays, Larry W 2010. *Ancient Water Technologies*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 280 pages.

Rahn Perry, H. 1996. *Engineering Geology: An Environmental Approach*. Pearson; 2nd Revised ed. Edition (August 2, 1996). 672 pages.

Stamp, D. (Dir.), "*Historie de l'utilisation des regions arides*", Paris: Unesco (Researches sur la zone aride, 17), 1961, 427 p., fig.

Stratil-Sauer, G., "*Kanats, Persiens künstliche Bewässerung sanlagen*", Die Umschau (Frankford), 41 (271), 1937, pp. 271 sq.

Stratil-Sauer, G., "*Birdjand ein ostpersische Stadt*" Mitteil des geographischer Gesellschaft, 92(4-6), 1950, pp. 106-118. Id.

Stratil-Sauer, G., "*Iraniche-ironisches Fahrenbuch*", Vienne, Borotha Schoeler, 1952 .

Stratil-Sauer, G., "*Ostpersische Meridionalestrasse*", Abhandlungen der geogr. Gesellschaft in Wien, 17 (2), 1953, 92p. Id .

Tolman, C. F. "*Ground Water*", New York/Londres: Mc Graw Hill, 1937, xvii+593 p .

Wolski, K. "*Les Karez*". Folia Orientalia (Cracovie) ", 6, 1964, pp. 179-206. Wright, E. W.

Wulff, "*The TraditionalCrafts of Persia*", 1966, P. 282.1525-1.

Wulff. H. E., "*The qanats of Iran*", Scientific American, 218 (4), 1968, pp. 94-105.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی