



ریاضیدانی که هیدروژئولوژیست بود! مروری بر "استخراج آبهای پنهانی" ابوبکر کرجی

منصور قربانی^۱✉

چکیده

ابوبکر محمدبن حسین کرجی را شاید بتوان یکی از بزرگترین دانشمندان گمنام ایرانی دانست که درخور شایستگی‌ها و نبوغ علمی‌اش معرفی نشده است. ریاضیدانی که زمین‌شناس نیز بود و از او به عنوان یکی از نوابع مهندسی آب زیرزمینی یاد می‌کنند. کرجی در سال ۳۳۲ هجری شمسی در شهر کرج متولد شد. این ریاضی‌دان پرآوازه ایرانی هم عصر با ابوریحان بیرونی، زکریای رازی و ابن‌سینا بود. اوج آفرینش علمی او را در حدود سال ۳۹۰ خورشیدی عنوان کرده‌اند. این دانشمند ایرانی هرچند که ریاضی‌دان بود و در آثار خود توجه ویژه‌ای به علم حساب، جبر و به‌ویژه جذر داشت با نگارش کتاب استخراج آب‌های پنهانی نشان داد که دانشمندی بزرگ در علوم زمانه خود است. کرجی در کتاب استخراج آب‌های پنهانی (۱۰۲۰ سال پیش) شیوه‌های هندسی و فیزیکی برای محاسبه شیب زمین و چگونگی استخراج آب زیرزمینی را به خوبی آرایه می‌دهد. صحت برخی از نظریه‌های علمی ارائه شده در این کتاب، پس از ۷۰۰ سال یعنی قرن ۱۷ میلادی، در اروپا تأیید شده است. در پنجمین جشنواره مهندسی و مدیریت آب ایران که در اواخر سال ۱۳۹۴ برگزار شد، از مقام این دانشمند تجلیل شد. کتاب استخراج آب‌های پنهانی کرجی، در سال ۱۳۴۵ توسط حسین خدیوچم، از زبان عربی به فارسی برگردانده شد و توسط استاد احمد آرام تصحیح گردید. از ویژگی‌های علمی و زندگی این دانشمند بزرگ اطلاعات زیادی در دسترس نیست و به نظر می‌رسد بسیاری از آثار او از بین رفته است. تاریخ درگذشت کرجی را منابع مختلف بین سال‌های ۱۰۱۹ و ۱۰۲۹ میلادی عنوان کرده‌اند. در این نوشتار با مروری بر فصل‌های مختلف این کتاب، نبوغ این محقق بزرگ در علوم زمین و به ویژه در مهندسی آب زیرزمینی بیش از پیش آشکار می‌گردد. بدون شک اختراعات کرجی در ریاضی به همان اندازه بزرگ و با عظمت است که در بیان مفاهیم آب زیرزمینی در هزارسال پیش نبوغ خود را در کتابی خلاصه به رخ کشیده است.

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۷

انتشار برخط: ۱۴۰۲/۸/۲۷

واژگان کلیدی

ابوبکر محمدبن حسین کرجی،
ریاضیدان، مهندسی آب زیرزمینی،
استخراج آب‌های پنهانی



وابستگی سازمانی نویسنده

دانشگاه شهید بهشتی، تهران
مرکز پژوهشی زمین‌شناسی
پارس آرین، تهران، بزرگراه حقانی
شمال، خروجی میرداماد، خیابان
محمدرضا کوشا، پلاک ۶۵ طبقه
دوم، واحد سوم غربی.



© نویسنده.

ناشر: مرکز پژوهشی زمین‌شناسی آرین زمین

شناسه دیجیتال: DOI: 10.61186/jpat.2024.2.4

ابوبکر کرجی، سرزمین‌های پارس آرین، سال اول، شماره دوم (۸۴-۶۵)

استناد: قربانی، منصور (۱۴۰۲). ریاضیدانی که هیدروژئولوژیست بود! مروری بر "استخراج آب‌های پنهانی"

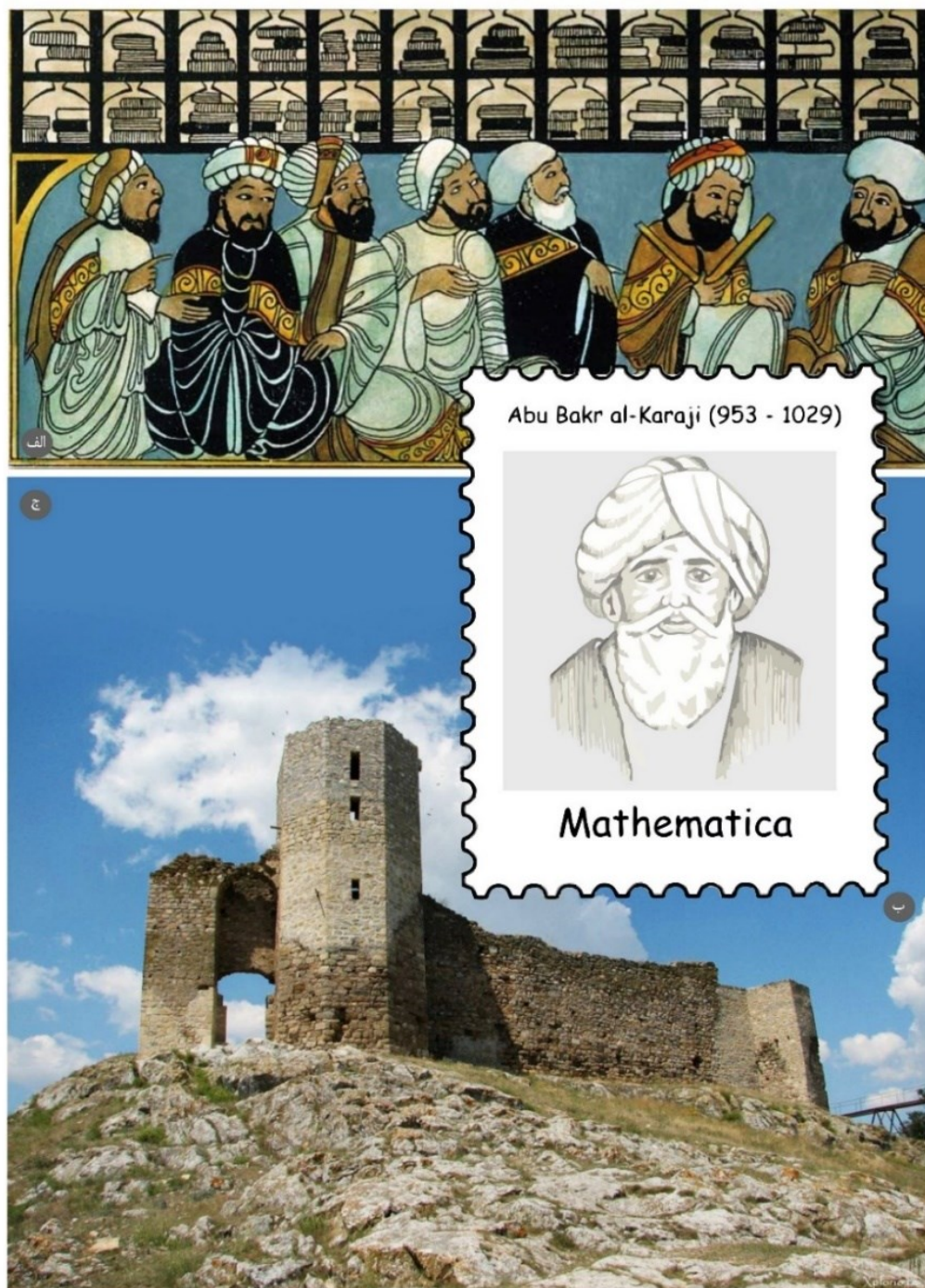
مقدمه

ابوبکر محمدبن حسین کرجی ۲ را شاید بتوان یکی از بزرگترین دانشمندان گمنام ایرانی دانست که درخور شایستگی ها و نبوغ علمی اش معرفی نشده است. ریاضیدانی که هیدروژنولوژیست نیز بود و از او به عنوان یکی از نوایغ مهندسی آب زیرزمینی یاد می کنند. کرجی در سال ۳۳۲ هجری خورشیدی (۹۵۳ میلادی) در شهر کرج از توابع استان جبال ایران متولد شد. این ریاضی دان پرآوازه ایرانی هم عصر با ابوریحان بیرونی، زکریای رازی و ابن سینا بود. کرجی تقریباً بین سالهای (۹۵۳ تا ۱۰۲۹ میلادی) زندگی می کرد. اوج آفرینش علمی او را در حدود سال ۳۹۰ خورشیدی (۱۰۱۲ میلادی) یعنی حدود ۵۸ سالگی عنوان کرده اند. زکریای رازی تقریباً در روزگار جوانی «منطقه جبال» ایران (ماد باستان) را که اهل آن بود ترک کرد و برای تحصیل به بغداد رفت، جایی که در آن زمان با وجود دارالحکمه کانون دانشمندان بزرگ بود و بی تردید کرجی جذب درخشش فرهنگی پایتخت علم آن زمان شده بود (شکل ۱). در بیان این روزگار کرجی می گوید: وقتی به عراق رسیدم، ساکنان آن از پیر و جوان عاشق علم بودند و عظمت آن را تعالی می بخشیدند. در این دوره، عمده ترین آثار ریاضی کرجی یعنی الفخری، بادف و الکافی (شکل ۲) نگاشته شد (Sesiano, 1977). گوبلو می گوید: تنها چیزی که در مورد ریاضیدان بزرگی مانند محمد کرجی می دانیم این است که او سال های زیادی از عمر خود را در بغداد گذرانده است. این که آیا او از خود بغداد آمده است (یکی از حومه های بغداد کرخ نام دارد) یا کرج یا کرج ابودلف را نمی توان با قطعیت مشخص کرد (Goblot 1979). با این حال در بسیاری از کتابهای مرتبط در ایرانی بودن کرجی و اینکه کرج در بخشی از استان جبال ایران قدیم است تردیدی ندارند. براساس آنچه که ساعدلو (ساعدلو ۱۳۸۸) در تصحیح و دیباچه کتاب "استخراج آبهای پنهانی" آورده است و بر اساس نقشه ای از ایران که در کتاب سرزمینهای خلافت شرقی توسط لسترنج (Le Strange 1905) ارائه شده است کرج ناحیه ای بین همدان و نهاوند امروزی است (شکل ۲). ساعدلو در کتاب تحقیق، تحلیل و تفسیر کتاب "استخراج آبهای پنهانی" با استناد به موارد متعدد، اشاره به کرخ در بغداد را ناشی از سو تعبیر و عدم آشنایی با محدوده جغرافیایی ایران در ۱۰۰۰ سال پیش می داند.

کتاب «الفخری فی صناعه الجبر و المقابله» کرجی شهرتی جهانی دارد. دستاوردهای علمی این دانشمند بزرگ ناشناخته بود تا اینکه در سال ۱۸۵۳ میلادی، مستشرق آلمانی، وپکه (Woepcke, 1853)، بخشی از کتاب الفخری وی را به زبان فرانسه و همراه با تحلیل منتشر ساخت. وپکه در این کتاب اثبات کرد که بخش بزرگی از کارهای فیبوناچی اقباسی از ریاضیدانهای مسلمان و به ویژه کرجی است. از نظر ریاضی دانان بزرگ جهان، در تاریخ ریاضی فعالیت های کرجی از آن جهت اهمیت دارد که بر نظریه های مربوط به محاسبات جبری تمرکز یافته است (پیرهادی، ۱۳۹۲). کرجی یا الکرچی آموختن را با علوم پایه، حساب، جبر و هندسه آغاز نمود در عین حال به بررسی های سرزمینی پیرامون علوم تجربی مانند مهندسی آب زیرزمینی نیز پرداخت. کرجی از پیشگامان علوم مهندسی و مباحث مختلف علوم آب و هواشناسی، هیدرولوژی و آب های زیرزمینی و مهندسی آب و حفر کاریز و نقشه برداری بود. علاوه بر دانش ریاضی حاسب کرجی، باید او را از پیشگامان علوم نجوم و زمین شناسی دانست تا جایی که ۷۰۰ قبل از کوپرنیک و نیوتون به کروی بودن زمین اقرار داشته و از جاذبه آن سخن می گوید. این دانشمند ایرانی هر چند که ریاضی دان بود و در آثار خود توجه ویژه ای به علم حساب، جبر و به ویژه جذر داشت با نگارش کتاب انباط المیاء الخفیه (استخراج آب های پنهانی) نشان داد که دانشمندی بزرگ در علوم زمانه خود و چه بسا آینده است.

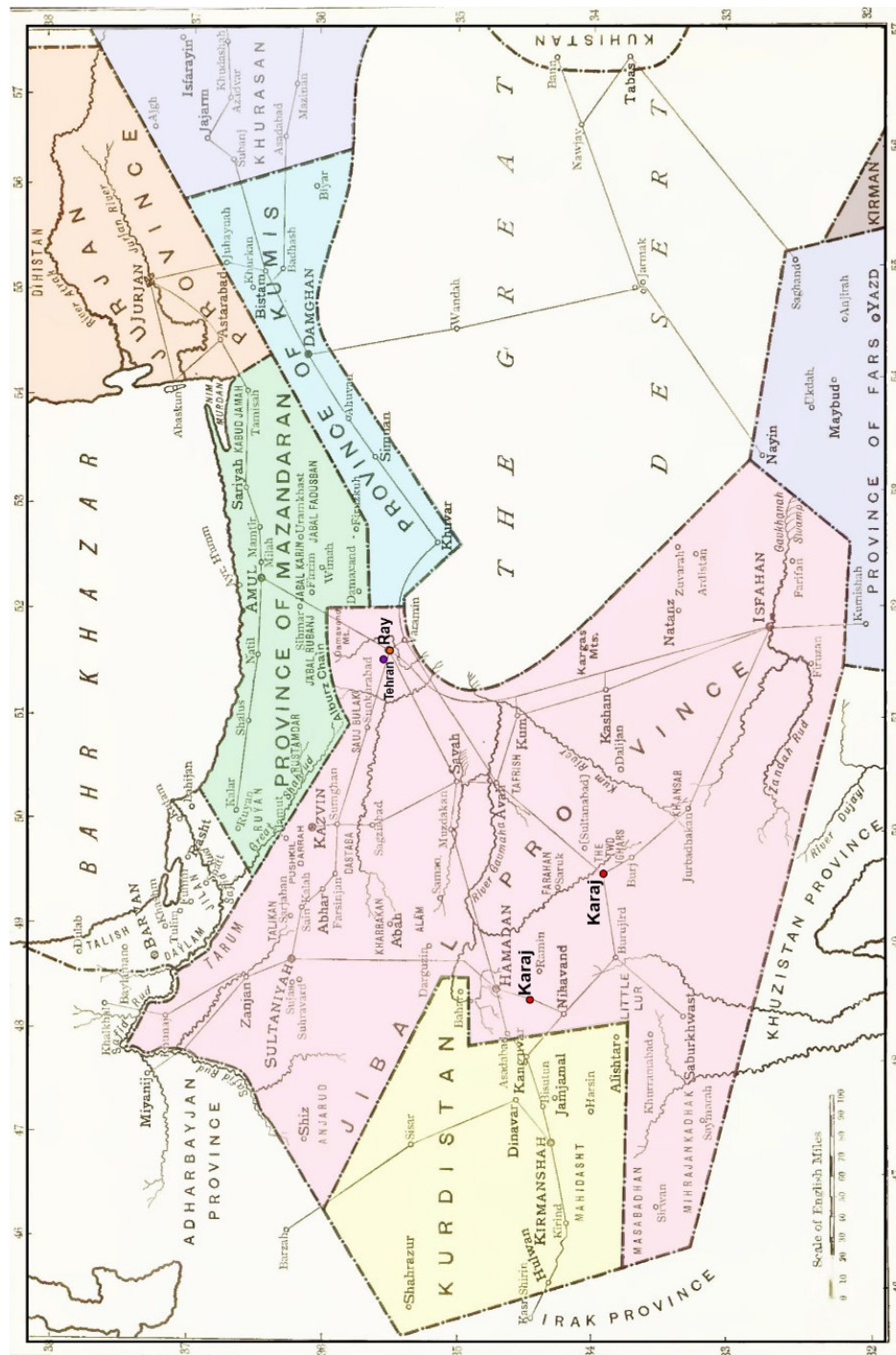
کرجی در کتاب استخراج آب های پنهانی (۱۰۲۰ سال پیش) شیوه های هندسی و فیزیکی برای محاسبه شیب زمین و چگونگی استخراج آب زیرزمینی را به خوبی ارائه می دهد. صحت برخی از نظریه های علمی ارائه شده در این کتاب، پس از ۷۰۰ سال یعنی قرن ۱۷ میلادی، در اروپا تأیید شده است. در پنجمین جشنواره مهندسی و مدیریت آب ایران که در اواخر سال ۱۳۹۴ برگزار شد، از مقام این دانشمند تجلیل شد. کتاب استخراج آب های پنهانی کرجی، در سال ۱۳۴۵ به توصیه استاد پرویز ناتل خانلری، توسط حسین خدیوچم، از زبان عربی به فارسی برگردانده شد و توسط استاد احمد آرام تصحیح گردید (شکل ۲). از ویژگی های علمی و زندگی این دانشمند بزرگ اطلاعات زیادی در دسترس نیست و به نظر می رسد بسیاری از آثار او از بین رفته است.

² Abu Bakr Muhammad ibn al-Husayn (or: al-Hasan) al-Karajī (or: al-Karhī)



شکل ۱: کرجی در بغداد در کتابخانه های مهمی همچون حلوان Hulwan با دانشمندان بزرگ آن زمان به مطالعه می کرد (الف) تصویری خیالی از کرجی که در بیشتر سایتهای اینترنتی به نقل از Andreas Strick 2014 آمده است(ب) و قلعه انیسالا^۳، ارگ قرون وسطایی در دوبروجیا رومانی مرکزی بازرگانی در شرق اروپا که اروپاییان را با دانش و فنون کرجی آشنا ساخت(به نقل از (Rice 2007)

³ <https://www.romaniajournal.ro/travel/enisala-fortress>



شکل ۲: محل قرارگیری دو نام شهر با عنوان کرج در استان جبال در ایران قدیم (به نقل از لسترنج ۱۹۰۵)

تاریخ درگذشت کرجی را منابع مختلف بین سال‌های ۱۰۱۹ و ۱۰۲۹ میلادی، یا ۴۱۰ و ۴۲۰ هجری قمری عنوان کرده‌اند. بدون شک، کرجی دانشمندی بزرگ بود که عظمت کارها و اختراعات و بررسی‌های او را در کتاب استخراج آبهای پنهانی به خوبی می‌توان درک کرد. در این نوشتار با مروری بر فصلها (بابهای) مختلف کتاب، نبوغ این محقق بزرگ در علوم زمین و به ویژه در مهندسی آب زیرزمینی بیش از پیش آشکار می‌گردد. بدون شک اختراعات کرجی در ریاضی به همان اندازه بزرگ و با عظمت است که در بیان مفاهیم آب زیرزمینی در هزارسال پیش نبوغ خود

را در کتابی خلاصه به رخ کشیده است. درک مفاهیم ارایه شده در هزار سال قبل در این کتاب به حدی اعجاب انگیز است که گویی آنچه که در قرن‌ها پیش گفته است هنوز تازگی و کاربرد واقعی خود را تا به امروز حفظ کرده است.

کرجی و دانش زمین‌شناسی

از نبوغ کرجی می‌توان به کشف نیروی جاذبه، کروی بودن زمین و بیان فنون نقشه‌برداری اشاره کرد. به احتمال قوی کرجی نخستین کسی است که نقشه‌برداری زمینی را مطرح و وسایل اندازه‌گیری دقیقی از جمله ارتفاع‌یاب، زاویه‌یاب و تراز دایره‌ای را اختراع کرد (شکل ۵). او برای هدایت راستا و شیب کف قنات روش‌هایی ارائه کرد که از نظر اصول ریاضی درست منطبق بر آن چیزی است که امروزه در نقشه‌برداری‌های زیرزمینی انجام می‌شود و تفاوت اندک آن‌ها در اجرا، به‌دلیل ابزارهایی مثل تتودولیت است که در آن زمان وجود نداشته است. این نابغه ایرانی کتاب را با تعریف زمین و کیفیت آفرینش آن و چگونگی وضعیت در جهان هستی شروع می‌کند. درباره کره زمین می‌گوید: «زمین با تمام کوه‌ها و دشت‌ها و پستی‌ها و بلندی‌هایش کروی شکل است. خدا آن را مرکز عالم قرار داده است، که تا ابد با حرکت دائمی خود بر گرد این مرکز می‌گردد، ولی مرتبش در جهان هستی بسیار اندک است.

خداوند جهان را میان پر آفریده و خلائی در میان آن نیست. برای هریک از افلاک، ستارگان، آتش، هوا، آب و خاک محلی خاص قرار داده است، که چون از آن جدا شود با حرکت دوباره به این محل بازمی‌گردد. به‌همین دلیل اجسام سنگین مانند خاک و آب خواستار رسیدن به این مرکز هستند و هرچه جسم سنگین‌تر باشد این میل به مرکز بیشتر می‌شود. در استخراج آبهای زیرزمینی نیازی به سخن گفتن درباره اجسام دیگر پس از آب نیست. بنابراین لازم است که خاک در مرکز باشد و آب آن را در میان گرفته باشد. اگر زمین درست کروی شکل و چنان سخت بود که آب در درون آن نفوذ نمی‌کرد و تمام خطوط داخل میان مرکز و سطح آن مساوی بود، در آن صورت احاطه کره آب بر کره خاک به‌صورت احاطه سفیده تخم‌مرغ بر زرده آن می‌شد، خواه این آب اندک باشد یا بسیار، و سطح کره آب با سطح کره خاک موازی و سطح خشکی متوازی می‌شد و ناچار آب نمی‌توانست جریان پیدا کند و زمین دریای یکپارچه‌ای بدون خشکی می‌شد. در این حالت جز حیوان آبی موجود دیگری بر سطح زمین زندگی نمی‌کرد و ارتفاع آب در همه جا به یک اندازه می‌شد.



شکل ۳: جلد اول کتاب کرجی، استخراج آبهای پنهان: رساله فنی-علمی کرجی، ریاضیدان-مهندس ایرانی در سال ۱۰۰۰ میلادی، ترجمه ایتالیایی و نظرات جوزپینا فریلو (تورین: کتابهای کیم ویلیامز، ۲۰۰۷)^۵

^۴ شاید اشاره به تنها سیاره مسکون در کهکشان راه شیری (در مقام عالم) باشد!

^۵ Giuseppina Ferriello (Turin: Kim Williams Books, 2007)

کرجی می نویسد: اگر زمین همچنان که تعریف کردیم کاملاً کروی شکل و خطوط بیرون آمده از مرکز به سطحش برابر بود و در درون زمین شکاف‌های یکسان وجود داشت چگونگی آب به این چند حالت بیشتر نمی شد: یا آن که آب روی زمین را می پوشاند و در این صورت دریای واحدی تشکیل می شد، یا آن که آب تا سطح زمین می رسید و زمین یکپارچه خشکی می شد. حالت دیگر این بود که سطح آب در عمق زمین می بود و در شکم زمین سرگردان می ماند، که در آن حال سطح زمین با سطح آب موازی می شد، در هر سه صورت آب جریان نمی یافت، و در حالت فروتر بودن سطح آب از سطح زمین سطح آن در ژرفای یکسان متوقف می ماند و استخراج آن جز به وسیله چرخ چاه (دولاب و دلو) ممکن نمی شد. کرجی در توجیه این مقدمه می گوید: این بحث را تنها برای آن نگاشتم تا طبیعت آب تصویر شود و معلوم گردد که جریان آب به خاطر آن است که شکل کروی به خود بگیرد. و هرگاه آب شکل کروی پیدا کند مسلم است که جریان پیدا نخواهد کرد. و همچنین است حال بناها و مکان‌هایی که از سطح زمین بلندترند، که فروافتادن و ویران شدن آن‌ها نتیجه‌ی همان مرکزطلبی آن‌ها و کرویت گونه زمین است.



شکل ۴: نسخه‌ای خطی از کتاب استخراج آب‌های پنهانی مربوط به قرن ۱۷ میلادی (<https://fa.wikipedia.org/wiki>)

کتاب استخراج آب‌های پنهانی

استخراج آب‌های پنهانی به عربی النباط المیاء الخفیة کتابی است که در حدود سال ۱۰۱۰ میلادی توسط ابوبکر کرجی نوشته شده است. کرجی این کتاب را برای ابی‌غانم معروف بن محمد نوشته و در آن حاصل یافته‌ها و تجربه‌های شخصی خود و آنچه که پیشینیان درباره حفر قنات گفته و نوشته‌اند آورده است. این رساله با وجود اینکه به مسائل علمی پرداخته اما چندان مورد استفاده قرار نگرفته و در زمان خود به دست فراموشی سپرده شده است. در واقع آنان که می‌توانسته‌اند از آن بهره‌مند شوند به دلیل ناآشنایی به زبان عربی از آن بی‌بهره شدند. این کتاب نخستین بار در سال ۱۹۴۱ و در دانشگاه اسلامی حیدرآباد به زبان عربی چاپ شد. پیش از آن سه نسخه دستنویس (شکل ۳) از آن وجود داشت. حسین خدیو جم در سال ۱۳۴۵ خورشیدی (۱۹۶۶ میلادی) این کتاب را ترجمه و بنیاد فرهنگ ایران آن را منتشر کرد.

منشا آب: شروع بحث آب‌های زیرزمینی کرجی

کرجی در مقدمه کتاب می‌نویسد: من حرفه‌ای را پرفایده‌تر از استخراج آب‌های پنهانی نمی‌دانم، زیرا به کمک این کار زمین آبادان می‌گردد، و زندگی مردم سازمان می‌پذیرد، و سود فراوان به دست می‌آید. در فصل دوم کتاب به خاستگاه آب‌های جاری و چشمه‌ها و تقسیم آنها می‌پردازد. منشأ چشمه‌ها، رودها، نهرها و منابع آبی که روی زمین قرار دارند از باران و برف است، اگر باران و برف قطع شود آب کاهش می‌یابد و به ویرانی زمین منتهی می‌گردد. بیشتر سرچشمه آب‌هایی که در قسمت آبادان زمین جریان دارد از ناحیه شمالی است، یعنی از نقاطی با عرض جغرافیایی زیاد، که به قطب شمال نزدیک‌ترند و هوای آن‌ها پر رطوبت و سنگین است. هوای این مناطق پیوسته به آب تبدیل می‌شود و ماده رودها و چشمه‌ها و آب‌های عروق و شکاف‌های زمین را فراهم می‌سازد.

قسمتی از آب‌ها که در زمین فرو می‌روند، چون به خاک سخت می‌رسند از فرورفتن بازمی‌مانند و در آنجا متوقف می‌شوند. هر گاه در بالای این موانع مجرای ایجاد شود، آب به اندازه قدرت و فشارش در آن مجرا وارد می‌شود. این آب را اهل فن ماء‌التواب (آب‌درون) می‌نامند. فرورفتن آن‌ها در زمین سبب پیدایش چشمه‌های طبیعی می‌شوند و باعث پیدایش رگه‌های آب در زیرزمین می‌گردند. بنابراین باید منبع و منشأ بیشتر آب‌ها از برف و باران و تبدیل آب و هوا به آب باشد تا مکان‌های دور از مرکز از آب بیرون بماند و جایگاه حیوانات صحرایی گردد و مکان‌های نزدیک به مرکز به صورت دریا درآید و قرارگاه حیوانات دریایی شود. اگر مقدار آب در روی زمین اندک نبود، از جریان می‌ایستاد و هرگاه جریان آب متوقف می‌شد آبادانی کاهش می‌یافت.

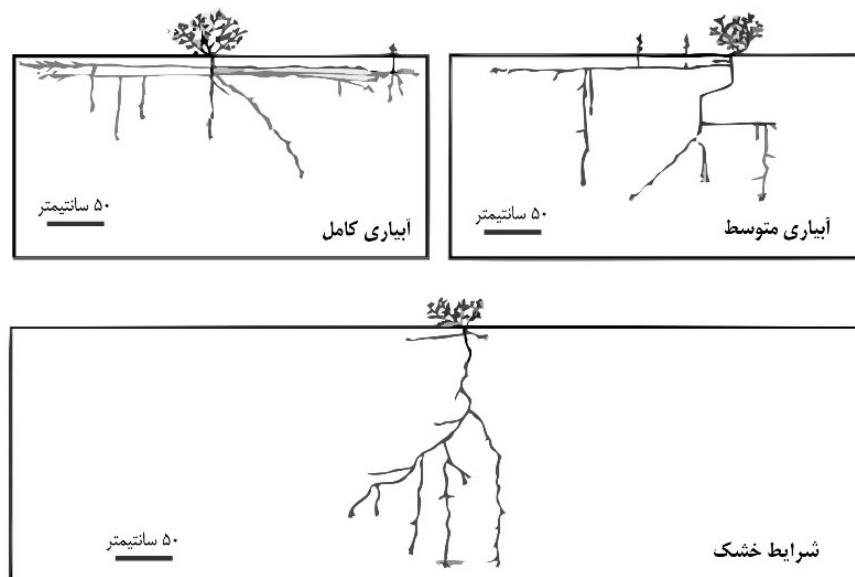
اکتشاف آب زیرزمینی: الفبای هیدروژئولوژی صحرایی

کرجی در توصیف چگونگی شناخت زمین‌های آبدار عنوان می‌کند: مقنی که نشانه‌های آب پنهانی را در سطح زمین را نشناسد در کار خود ضعیف است. به همین دلیل کرجی شواهد سطح زمین را برای شناخت آب‌های زیرزمینی ضروری می‌داند. تمام زمین‌هایی که به ریشه کوه‌ها متصل باشند دارای آب زیرزمینی هستند و اگر صحراهای بسیاری به این رشته کوه‌ها ارتباط داشته باشند صحرایی که به مرکز زمین نزدیک‌تر است آب بیشتری دارد و در ژرفای کمتری قرار گرفته است. به ویژه اگر تخلخل خاک بالایی داشته باشد. اگر خاک این صحراها یکنواخت باشد، آب تمام آن‌ها دارای یک ویژگی خواهد بود و اختلاف کمی با هم دارند. هر قسمت که به مرکز زمین نزدیک‌تر است آب در ژرفای کمتری قرار گرفته و بخشی که از مرکز دورتر است ژرفای بیشتری دارد زیرا آب در تمام قسمت‌های زیرین یکنواخت جریانی یکنواخت دارد. زمین‌هایی که بدون کشت کردن بر سطح آن گیاهان فراوانی وجود دارد، آب دار بوده و آب آن در ژرفای کمی قرار دارد، به ویژه اگر هنگام صبح بر روی گیاه رطوبت و شبنم قرار گرفته باشد. اگر بر سطح زمین اثر مجاری سیل آشکار باشد و این مجاری به دره کوه و برجستگی‌ها منتهی شود و سیلاب در این نواحی گریزگاهی نداشته باشد، آن زمین آب دار است. زمینی که بر سنگ‌هایش گیاه رسته باشد دارای آب زیرزمینی است. اگر هنگام صبح، بر سطح زمین بخار فراوان یا مه یا شبنم دیده شود آن زمین نیز آب [کم ژرفایی] دارد. اگر از گودی دره کوه یا بستر رود واقع شده میان دو کوه صدایی مانند زوزه باد

شنیده شود، قسمت زیر آن ناحیه در صورتی دارای آب است که بر روی آن زمین گیاه و شبنم دیده شود و اگر چنین نباشد آن صدا صدای باد است چرا که در خلل و فرج زمین خالی از آب، هوا نفوذ می‌کند و آن را می‌شکافد و چنین صدایی از آن شنیده می‌شود. [این احتمال وجود دارد این بخش بیشتر متوجه آب در محیطهای کارستی و سازندهای با تخلخل غاری و یا درز و شکافی فراوان باشد] پیشینیان گفته‌اند: زمین‌های پست که رنگ خاک آن سیاه باشد دارای آب هستند. بیشتر این گونه زمین‌ها در محل گودال‌ها یا فرورفتگی‌هایی که کف آن خاک نرم باشد دیده می‌شود.

ژئوبوتانی: رابطه گیاه با اکتشاف آبهای زیرزمینی

در فصل چهارم کرجی به رابطه گیاه با اکتشاف آبهای زیرزمینی می‌پردازد. گیاهانی که بر وجود آب گواهی می‌دهند شامل خرفه *Portulaca* و لوخ (گیاهی است که بر کناره آب روید و حصیر از آن می‌بافند به آن درخت کاغذ نیز می‌گویند و تاجریزی ۸ (تلخ و شیرین یا تاجریزی تلخ، گیاهی از سرده بادنجان و بومی آفریقای شمالی است و در آسیا، اروپا و شمال آمریکا به فراوانی دیده می‌شود. زیستگاه این گیاه در جنگل‌ها، حاشیه کنار دریاچه‌ها و تالاب‌ها است)، پونه آبی، ترشک، کرفس آبی، گیاهی شبیه به بنفشه که خوش بوی و خوش طعم است و برگ تیغ نازک شاخه و راست بالا و نی نازک میان پر، گاوزبان، کنگر، فاشرا (یا مار دارو با نام علمی بریونیا *Bryonia* نام یک سرده از تیره کدوبیان است)، پرسپاوشان، گزنه، شیرین بیان، اکلیل‌الملک و علفق که عبارت است از لیف حلقا، درخت بنه، علف بویا، پنج انگشت، خارشتر، هویج صحرائی، کلم صحرائی و علف هفت‌بند است. وجود همه گیاهانی که نام برده شد در صورتی که کاشته شده نباشند، بر وجود آب پنهانی گواهی می‌دهد. اما خارشتر ریشه خود را در زمین فرو می‌برد تا به آب برسد (شکل ۴).



شکل ۵: مشخصات مورفولوژیکی ریشه نهال *A. sparsifolia* در تیمارهای مختلف آبیاری. نهال‌های خارشتر به صورت دست نخورده حفاری شدند و توزیع ریشه‌ها ثبت شد. سپس کل بوته‌ها را روی زمین افقی قرار داده و نمای جانبی سیستم ریشه با دست نوشته روی کاغذ مختصات ترسیم شد. این آزمایش توسط Zeng et al., 2012 یافته‌های کرجی است. در شن‌جاینگ چین Xinjiang انجام شده است و موید روش کرجی است.

^۶ هنوز در بسیاری از مناطق غرب ایران خاک سیاه نشانه‌ای از وجود آب کم عمق است. این سیاهی و باتلاقی بودن در فصل بارش در نواحی کردنشین به "زق" یا همان "زه" تعبیر می‌شود.

^۷ papyrus, loch

^۸ *Solanum dulcamara*

کرجی می‌گوید: من (در بغداد) بوته بزرگ اسپندی دیدم که بر دجله مشرف بود و بر بالای آن خارشتری رسته بود؛ چون آب دجله فزونی گرفت ریشه اسپند کنده شد و قطعه‌ای از آن در دجله افتاد. خوب که دقت کردم، بر سطح اسپند باقیمانده ریشه‌های خارشتر را دیدم که از آن محل تا سطح آب امتداد یافته بود، و طول یک ریشه آن از پانزده ذراع (حدود ۸ متر) بیشتر بود. در این باره از شخص راستگویی شنیدم که گفت: در صحرائی که خارشتر داشت چاهی حفر کردم و در موضع حفر ریشه‌ای از این خار دیدم که امتداد یافته و پس از پیمودن پنجاه ذراع به آب رسیده بود. در بیشتر زمین‌هایی که گیاهانش دیم است اگر هندوانه یا خربزه بکارند، بهترین هندوانه‌ها آن خواهد بود که در داخل ریشه خارشتر کاشته شود. برای این کار ریشه زیرزمینی خارشتر را در زیر خاک می‌شکافند و در میان آن چند دانه تخم هندوانه یا خربزه می‌گذارند و روی آن را با خاک می‌پوشانند؛ نمو این بوته‌ها که در مواضع دیگر قرار دارند بیشتر است. و گیاهان بسیار دیگری را بر همین شیوه می‌توان کاشت.

هیدروژنومورفولوژی

در وصف کوه‌های خشک و زمین‌های کم‌آب کرجی در فصل پنجم می‌نویسد: کوه‌های سفید فاقد آب هستند، همچنین کوه‌های منفرد خشکند، مخصوصاً اگر مقدار سنگشان بیشتر باشد. اگر زمینی از کوه‌های مرطوب به دور باشد، کم‌آب است. در این گونه زمین‌ها آب جز در ژرفای زیاد یافت نمی‌شود. زمین‌های بدون گیاه فاقد آب هستند. زمینی که کلوخ‌های آن مانند سفال باشد بدون آب است. زمینی که طول و عرضش را صخره فراوان نازک پوشانده باشد که گویی آن را سنگفرش کرده‌اند، کم‌آب است. اگر پر شن و ریگ باشد و خاکش درشت باشد نیز کم‌آب است. زمین‌های پستی که تابش خورشید بر آن‌ها شدید باشد کم‌آب هستند. وقتی که می‌گوییم زمینی خشک یا کم‌آب است، مقصود آن است که آبش در ژرفای دور قرار گرفته است، زیرا هر گاه در زمینی به حفر چاه ادامه دهند سرانجام به آب خواهد رسید، البته به شرط آنکه در سرراه حفر مانعی نباشد. آب زمین‌های کم‌آب ناگوار است. همچنین بیشتر آب‌هایی که در ژرفای زیاد قرار گرفته‌اند گوارا نیستند. زمین پر آب، اگر بر سطحش رودهای پرآب جاری باشد، به شرط آنکه شوری و تباهی خاک طعم آب را تغییر ندهد، آبش شیرین است. یک بار من خود در زمین‌های دارای آب فراوان دیده‌ام که حیوانات از آب آنجا نمی‌نوشیدند.

کیفیت آب زیرزمینی

در باب انواع آب و اختلاف طعم آن‌ها کرجی آب‌های زیر زمینی را بر سه نوع می‌داند: نوع اول آب اصلی درون زمین است که با افزونی و کاهش باران کم و زیاد نمی‌شود، و حالت و وضعیت جز به مقداری اندک دگرگون نمی‌شود. این آب متناسب با وجود شکاف‌ها و روزنه‌های زیرزمینی، بیشتر جرم زمین را فرا گرفته و گذشت زمان و شدت گرما در آن بی‌اثر است. اگر در زمینی که دارای خاک‌های مختلف است موانع سخت و حفره‌های حاوی آب (آبخوان کانالی!) وجود داشته باشد، آب به طبیعت خود در این قسمت‌ها جاری می‌شود و برحسب وضع محل در ژرفای کم یا ژرفای زیاد قرار می‌گیرد. جریان و حرکت این آب در زیرزمین اندک است و وضعیتش مانند وضع دریاها در سطح زمین است. کاریزی که در این گونه زمین‌ها حفر می‌شود آبش دائماً به یک اندازه جاری است و تغییر نمی‌کند.

نوع دوم آبی است که مایه آن از تبدیل شدن دائمی هوا به آب در زیرزمین ایجاد می‌شود؛ جریان این آب نیز تا وقتی که علت از تبدیل شدن هوا به آب برجای باشد دائمی است. نوع سوم آبی است که از برف و باران مایه می‌گیرد. بیشتر آبادانی روی زمین به وجود این آب بستگی دارد، زیرا منبع رودهای بزرگ و چشمه‌ها و کاریزها از این آب است. طعم آب درون زمین مانند طعم آب دریاها و چشمه‌های راکد و مرداب‌ها تغییر نمی‌کند، زیرا شیرینی و رقت آب‌های روی زمین را آفتاب می‌گیرد، که در نتیجه سنگین می‌شوند و طعمشان تغییر می‌کند، ولی آب زیرزمین از این تأثیر و تغییر برکنار است. آب‌های گرم کاریزها، اگر بر اثر فساد خاک گرم نشده باشند، از کاریزهای پرمایه سرچشمه می‌گیرد. آب‌های سردی که در کاریزها جریان دارند چندان نیرو ندارند، از آن جهت که مایه و منبع آن‌ها از آب‌شدن برف است، مگر آن که منبع آن‌ها از برفی باشد که همیشه باقی هستند. اگر منشأ این آب‌ها از ریزش باران باشد پس از بهار می‌خشکد، زیرا این گونه آب‌ها از بستر و کف کاریز نمی‌جوشد بلکه از دو طرف یا از یک طرف آن یا آن که از سقف کاریز می‌تراود.

آب‌های بادوام و اصلی همان آب‌هایی است که از کف و بستر کاریز مایه می‌گیرد و اگر در بستر این کاریزها حفاری شود آب از تمام جوانب می‌تراود و این تراوش افزون می‌شود. هرچاهی که حفر می‌شود، برای منبع آب آن ارتفاعی وجود دارد. گواراترین آب‌ها آب برف و باران است، سپس آب‌هایی است که در خاک شیرین جاری هستند یا از روی ماسه و سنگ‌ریزه عبور می‌کنند و در مجرای آن‌ها گیاهان آبی وجود ندارد. آب‌هایی که دارای خصوصیتی غیر از این باشند طعمشان به‌وسیله خاک و گیاه مسیرشان تغییر می‌کند و خزه و جلبک نیز در تغییر طعم آن‌ها اثر می‌گذارد. در نتیجه آب‌های شور و تلخ و شیرین و گوگردی و نفتی و جیوه‌ای و زرنیخی و آب‌هایی که طعم قیر و زاج و زاج و چیزهای دیگر موجود در داخل زمین را دارند به‌وجود می‌آید که قسمتی از آب‌ها نوشنده را دچار اسهال می‌نمایند یا آنکه طبیعت او را قبض (دچار بیوست) می‌کنند.

آب‌های زیرزمینی بر اثر نوع خاک مختلف هستند و بدترین آن‌ها آبی است که منبعش در زمین سخت با کم آب باشد زیرا فراوانی آب در کاریز با گذشت سال‌ها برشیرینی آب می‌افزاید. علت آن است که جریان دائمی آب برخاک آن قسمت سبب تصفیه آن می‌شود. تمام آب‌های سنگین بیماریزا هستند و با بدن سازگار نیستند. گاهی بعضی از آب‌ها برای نوشنده، بجز برای کسانی که در کنار آن زاده شده و به آن عادت کرده‌اند ایجاد مسمومیت می‌کند. بهترین آب‌ها آبی است که بر معده سنگینی نکند و به‌سرعت نفوذ کند و زود سرد و گرم شود. هر آبی که دارای صفاتی ضد این صفات باشد بد و بیماری‌زا است و هر آبی که انسان در نوشیدن یک خوراک از آن به بیشتر از حد معمول یا کمتر از آن محتاج شود نیز زیان‌آور است.

آزمایش کیفی و تصفیه آب

برای شناختن آب‌های سنگین، سبک، رقیق، غلیظ، شیرین و ناگوار کرجی به آزمایش متوسل می‌شود. هر گاه رنگ آبی تغییر کرد بدان که آن آب سودمند نیست و اگر بوی بدی از آن استشمام شد نشانه فساد آب است. اگر آبی را چشیدی و خوش طعم نبود، آن آب ناسالم است. اگر آب با دیدن و نوشیدن و چشیدن شناخته نشود ولی به‌سرعت گرم و سرد گردد مناسب و نیکو است و هر آبی که مدتی در گودال‌ها و چشمه‌ها راکد بماند فاسد است. اگر بر دو آب شیرین دست یافتی که برتری یکی بر دیگری به‌وسیله حواس ممکن نشد و خواستی سالم‌ترین و بهترین آن‌ها را بشناسی، دو پیمانه مساوی از آن‌ها را وزن کن؛ آن پیمانه که سبک‌تر است آب آن سالم‌تر است. برای آزمایش کیفی دو نمونه آب، دو کوزه آب ندیده که از لحاظ گنجایش و سختی و سستی سفال و رنگ مشابه یکدیگر باشند، از آن دو آب پر کن و کوزه‌ها را روی دو "سه پایه" بگذار (شکل ۵) و همزمان با هم در زیر هر یک ظرفی لعاب‌دار یا شیشه‌ای قرار بده، یک ساعت یا بیشتر آن‌ها را به‌حال خود بگذار، آنگاه آب‌هایی را که از کوزه‌ها تراوش کرده است پیمانه کن. هر کدام از این دو آب حجمش بیشتر باشد آب سبک‌تر و بهتری است.



شکل ۶: دو سفال آویزان از سه پایه، آزمایشی برای یافتن آب خالص تر (طرح از سمسار یزدی و لباف خانیکی ۲۰۱۷).

اگر بخواهی دو مقدار مساوی از این دو آب را در دو ظرف یک جنس و یک شکل بریزی، و هر دو را با دو مقدار مساوی خاک ساییده و الک شده در یک لحظه کدر کن و پس از گل‌آلود شدن آب ظرف‌ها را به حال خود بگذار. آب هر ظرفی که زودتر لای آن ته‌نشین شود و صاف گردد، سالم‌تر است. روش دیگر آن است که دو مقدار مساوی از خاک ساییده و الک شده را برمی‌گزینی و دو مقدار مساوی آب انتخاب می‌کنی، هر

قسمت از خاک را به‌وسیله یک قسمت از آب‌ها خیس می‌کنی و آن دو را در سایه یا آفتاب قرار می‌دهی تا خشک شوند. آنگاه خاک‌های خشکیده را وزن می‌کنی آب آن خاک که در توزین سبک‌تر است بهتر و سالم‌تر است، زیرا همچنان که آب طعم و سنگینی خود را از خاک می‌گیرد، خاک نیز طعم و سنگینی آب را در خود نگاه می‌دارد. برای طریقهٔ اصلاح آب‌های فاسد نیز کرجی چنین پیشنهادی دارد: هرگاه در ظرف آب شور یا سنگین خاک ساییده شده خوب و تمیز بریزند و سپس آن را کنار بگذارند تا آب آن آرام و صاف گردد، مقداری از سنگینی و شوری آن برطرف می‌شود. اگر این عمل را تکرار کنند آب صاف شده نوبت دوم بهتر خواهد بود. و اگر این آب را در کوزه نوی بریزند تا از ته آن چکه کند، قسمتی از این شوری و سنگینی برطرف می‌شود.

هیدروکلیماتولوژی

نظرات کرجی درباره فصل‌های سال در کتاب استخراج آب‌های پنهانی را می‌توان جزو مقدمات هیدروکلیماتولوژی برای آب یابی دانست. در این باره کرجی می‌گوید: خداوند خط سیر خورشید را در دایره‌ای قرارداده که نیمی از آن شمالی و نیم دیگر جنوبی است، بدین سبب سال، در مواضعی که عرض جغرافیایی متناهی دارند، به فصل‌های چهارگانه تقسیم می‌شود. این فصل‌ها وسیله آبادانی زمین هستند. اگر خورشید بر دایره‌ای حرکت کند که در سطح دایره معدل النهار واقع شده باشد، این امر به کاهش و سستی آبادانی منتهی می‌شود و در تمام روز سال در ماه واحد اختلاف فصل وجود نخواهد داشت. یعنی هوا همیشه در هر ماه یا به لطافت بهار است یا به گرمی تابستان یا به سردی زمستان یا به پریشانی پاییز و این حالت تغییر نمی‌کند. اگر در سال، فصل زمستان که باعث چگالش هوا شده و رطوبت و باران و برف ایجاد می‌گردد، وجود نداشته باشد، دره‌ها و دامنه کوه‌ها پر از برف نمی‌شود تا چون فصل بهار فرا می‌رسد و تابش آفتاب به خط قائم نزدیک‌تر می‌شود، برف‌ها آب شوند و بر مرغزارها جاری شوند و خوراک حیوانات تأمین گردد و این موجودات پرورش یابند و نیز تابستان ایجاد نمی‌شود تا پرورش آن‌ها تکمیل گردد و نباتات رسیده خشک شوند. سپس پاییز نمی‌آید تا کاهشی ایجاد شود و در پی آن آبادانی بار دیگر تجدید گردد. به هر حال در غیر حالت فعلی، آبادانی روی زمین باقی نخواهد ماند. در فصل بهار آب چشمه‌ها و رودهای شمالی بیشتر می‌شود، چرا که برف کوه‌ها به این مناطق مایه می‌دهند. اگر آب در هوا منجمد نشود و به برف تبدیل نگردد تا در وقت نیاز آب شود، آبادانی کاهش می‌پذیرد. منبع و مایه آب‌های فراوان مناطق بسیار سردی است که عرض جغرافیایی زیاد دارند، زیرا بر آن پیوسته برف دائمی وجود دارد و این چنین نواحی از آبادانی خالی هستند. چون تابش خورشید در تابستان بر بقایای برف‌ها شدت می‌یابد، رطوبت‌های زمین از میان می‌رود، و آب چندان رقیق می‌شود که به هوا تبدیل می‌گردد. خدای تعالی را در این کار حکمتی بزرگ است؛ حکمت او برف را آب می‌کند تا به طرف آبادانی جریان یابد و سپس آب را کاهش می‌دهد و رطوبت‌های زمین را که بر اثر فصل زمستان ایجاد شده می‌خشکاند تا زمین دوباره به باران و برف نیازمند شود، و راه آمدن زمستان گشوده گردد.

اگر رطوبت‌های زمستانی در تمام سال بر یک حالت باقی بماند بر اثر فراوانی آب همه سطح زمین زیر آب غرق خواهد شد. اساس امر چنین است که هر گاه هوا در زمستان سنگین شود به آب تبدیل می‌گردد، و چون همین هوا در تابستان رقیق گردد از آب‌های روی زمین مایه می‌گیرد و بدین ترتیب با تبدیل شدن این دو عنصر به یکدیگر آبادانی زمین و زندگی حیوانات بر سطح زمین پایدار می‌ماند (چرخه آب). آنچه گفته شد در آن قسمت‌های شمالی زمین صادق است که عرض‌های جغرافیایی آن‌ها از میل دایره البروج بیشتر است. مدت بهار به اندازه مدت زمانی است که خورشید در برج‌های حمل و ثور و جوزا قرار دارد. طول تابستان به اندازه مدت زمانی است که خورشید در برج‌های سرطان و اسد و سنبله باشد. طول پاییز به اندازه مدت زمانی است که خورشید در برج‌های میزان و عقرب و قوس بوده باشد. طول زمستان به اندازه مدت زمانی است که خورشید در برج‌های جدی و دلو و حوت قرار دارد. اما سرزمین‌هایی که عرض‌های آن‌ها از میل کمتر است، تماماً در ناحیه شمال قرار دارند و تابستان این نواحی به طول می‌انجامد و از سه ماه افزون می‌شود. اما در شهرهایی که زیر خط استوا قرار دارند، هر گاه خورشید در اول حمل (فروردین) یا در اول میزان (مهر) باشد، هوای آنها بسیار گرم است. معتدل‌ترین فصول این شهرها وقتی است که خورشید در اول برج سرطان (تیر) یا در اول برج جدی (دی) باشد. پس در هر سال دو زمستان و دو تابستان و دو بهار و دو پاییز وجود دارد.

حریم قنات

حریم قنات برحسب اختلاف خاک‌ها بسیار گوناگون است و من به اندازه قدرت و اطلاع خود در این زمینه سخن می‌گویم؛ هرگاه کاریز در زمینی حفر شود که آن زمین دارای خلل و فرج یکسان باشد و در طول و عرض خاکش اختلافی وجود نداشته باشد، و منشا آب از باران و رودهای سطح زمین باشد، برای آن حریم واحدی لازم نیست، مانند سرزمین عراق که آب چاه‌های آن با افزایش و کاهش آب دجله زیاد و کم می‌شود. پس هر زمینی که مانند زمین‌های اطراف دجله باشد، کاریزش دارای حریم نخواهد بود زیرا اگر در این گونه زمین‌ها قناتی احداث کنند، آب از مسافت‌های دور و از چپ و راست به آن سرازیر می‌شود، مخصوصاً اگر پر ژرفا باشد و جوشش آب از دوجانب باشد نه از کف کاریز.

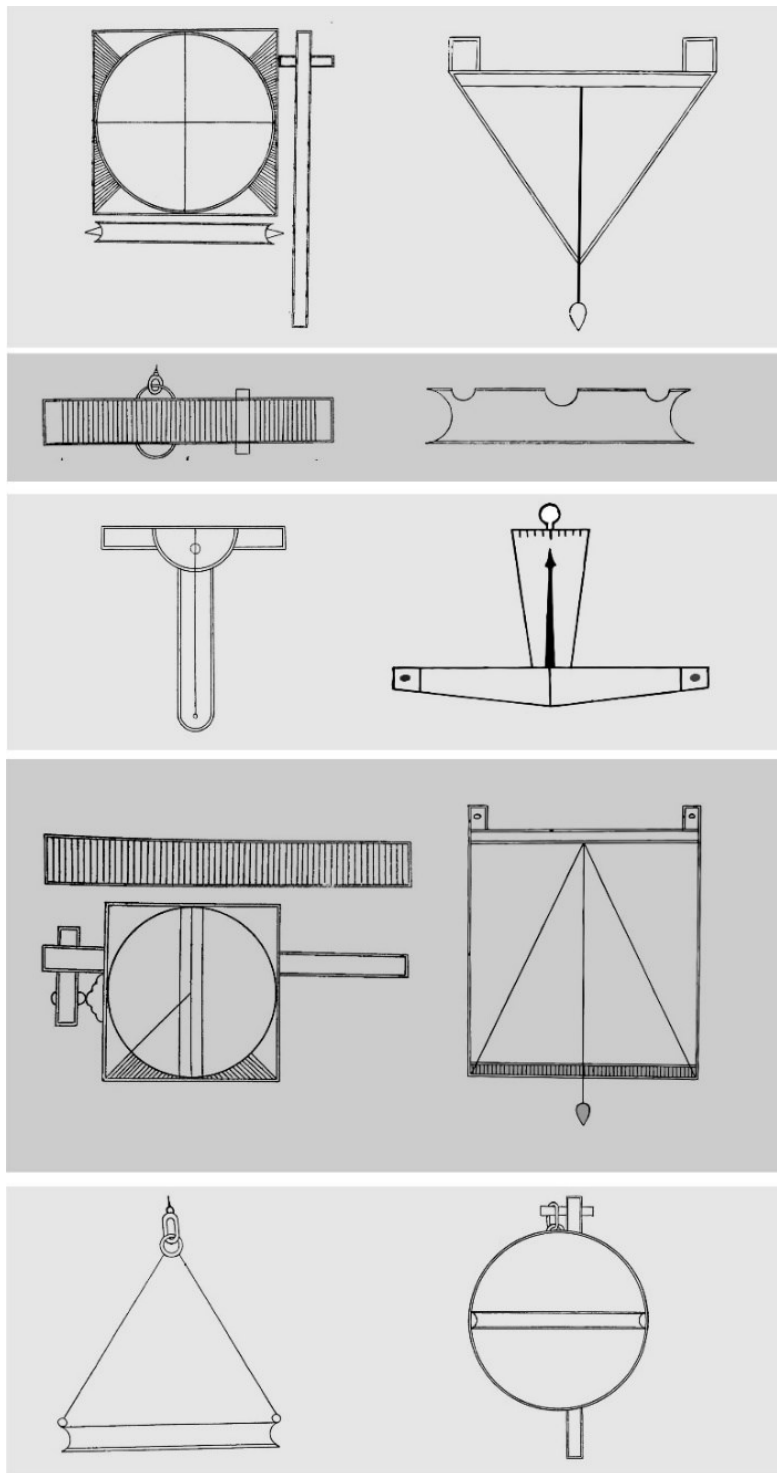
اما کاریزهایی که در زمین‌های پهناوری احداث شده‌اند که کوه‌های پر برف بر آن‌ها محیط شده و مایه و منبع آب از زیر همین کوه‌ها است و دارای آب اصلی نیستند، خاک آنها سست و نرم و دارای خلل و فرج است. اگر در این زمین‌ها کاریز احداث شود و رشته کاریز به دامنه کوه‌های برف‌دار برسد و در طول کاریز منشأ و منبعی وجود نداشته باشد حریم آن از هر طرف تقریباً پانصد ذراع است. اگر کاریز دیگری در این زمین احداث شود که راستای آن با راستای کاریز اول موازی یا نزدیک به موازی باشد، فاصله میان این دو کاریز باید هزار ذراع باشد تا برای هر یک پانصد ذراع حریم وجود داشته باشد. با این همه باید کف هر دو کاریز در ژرفای یکسان قرار گیرد و نباید کف یکی از دیگری بلندتر باشد. اگر کاریز اولی در دامنه کوه نامبرده احداث شده و به موازات طول کوه امتداد یافته باشد، فاصله میان این کاریز و کوه به تمامی، برای این کاریز حریم محسوب می‌شود و اندازه حریم طرف دیگر آن اندک است. اگر کاریز دیگری به موازات این کاریز احداث شود و کف این کاریز با کاریز اولی برابر باشد و ژرفای آن نیز در نزدیکی کاریز اول در سمتی که به جانب دشت قرار گرفته است گودتر نشود حریمش چهل و سمار باشد. در این صورت صاحب کاریز اولی نمی‌تواند مانع حفر کاریز دوم شود، زیرا مایه آب اولی از سمت کوه است نه از سمت دیگر، مگر آن که کف کاریز دوم از کف اولی پایین‌تر باشد که در این صورت صاحب کاریز اول می‌تواند مانع شود. چرا که آبی که از زیر کوه در رگه‌های زمین جریان دارد و از کاریز اولی بیرون می‌آید هر گاه راه پایین‌تری بجوید، فروکش می‌کند و در کاریز دوم سرازیر می‌شود، و بدون شک آب کاریز اول نقصان می‌پذیرد. کارشناسان این امور باید انواع خاک را بشناسند و در کار خود ورزیده باشند تا در تشخیص دچار لغزش نشوند و در داوری مرتکب اشتباه نگردند. حریم کاریز در خاک سخت از حریم آن در خاک سست کمتر است. هرچه خاک کاریز سخت‌تر باشد حریمش کمتر است تا آن که به چهل ذراع کاهش می‌یابد. البته تشخیص و تحدید این امر موکول به آن است که کارشناس، خاک‌شناس باشد. تمام آنچه را که در تعیین حدود حریم ذکر کردیم از روی گمان و تخمین است، زیرا تحقیق در این مورد به واسطه بسیاری اختلاف درون زمین غیرممکن است.

مشکلات حفاری قنات

مشکلاتی که مانع حفر چاه و احداث کاریز می‌شوند عبارت است از: برخورد با سنگ یا بخار، سستی خاک، فراوانی آب منبع، یا بسیاری آب چکه (چکابه). هرگاه حفار هنگام حفر با سنگ برخورد کند، آن سنگ باید به وسیله قطاطیس (قلم آهنین یا پتک) و چکش‌های سنگین شکسته شود. در صورتی که خاک نرم باشد یا آن که سنگ در کمر چاه قرار گرفته باشد باید با کلنگ سنگ را بیرون آورند، که این عمل از ویران شدن چاه جلوگیری می‌کند. اما چاه‌هایی که حفر آن‌ها باید از میان سنگ بگذرد کار حفر به وسیله کلنگ سنگ‌تراشی آسان می‌گردد. اگر بخواهند از سختی سنگ کاسته شود، باید روی سنگ، با چوب‌هایی که دارای آتش قوی هستند، مانند چوب درخت‌های تاغ و بلوط و مازو، و دیگر درختان کوهی و درختان میوه‌دار آتش بیافروزند، یا آن که روی سنگ نفت بریزند و بالای آن آتشی ملایم روشن کنند. هر سنگی که داخل زمین باشد از سنگ‌هایی که بر سطح زمین در مجاورت نور خورشید قرار گرفته نرم‌تر است.

اگر قطعه‌ای از سنگ‌های سطح زمین را در خاک مدفون سازند از سختی آن کاسته می‌شود، همچنان که اگر سنگ‌های درون زمین را در مجاورت هوا و نور خورشید قرار دهند، بر سختی آن‌ها افزوده می‌شود. اگر خاک کاریز سست و نرم شود، باید در کنار چاه یا نقب‌های زیرزمینی چال‌هایی حفر کنند و برای محکم‌کاری در آنجا پایه‌های سنگی قرار دهند. در آن صورت که سستی خاک مانع حفر می‌شود چند حالت پیش می‌آید: یا آنکه خاک نقب ریگ به هم پیوسته است، که هر مقدار از آن را بردارند ریگ‌های اطراف جایش را پر می‌کنند، یا آنکه محل حفر پر از گل‌های بدون

چسب (شولات) است که معمولاً در نقب‌های فروریخته وجود دارد، یا آنکه خاک آن خشک و نرم است و مختصر پیوستگی دارد و به محض آنکه آب به آن‌ها برسد از هم می‌پاشد و فرو می‌ریزد. یعنی اطراف نقب از دو طرف ریزش می‌کند و دهانه آن فراخ می‌شود و ویران می‌گردد.



شکل ۷: انواع ابزارهای تراز و ارتفاع سنج که در کتاب استخراج آبهای پنهانی کرجی شرح آنها آمده است.

هرگاه محل نقب در میان گل قرار داشته باشد، سستی و ناپایداری آن بیشتر است اما اگر محل حفر در میان ریگ ناپیوسته باشد، این پیش آمد یا در هنگام حفر چاه است، یا در وقت حفر نقب. این نوع زمین‌ها بیشتر در بیابان‌های ریگ‌زار واقع می‌شوند و تا آنجا که من آزموده‌ام ارتفاع این ریگ‌ها زیاد نیست. اگر در هنگام حفر چاه به این مانع برخورد شود، مقنی برای ادامه کار باید از تخته‌های محکم و عریض استفاده کند، و مربع‌هایی به شکل قالب خشت بسازد. دهانه هر یک از این مربع‌ها بایستی به اندازه ته چاه، به اضافه کلفتی دیواره چاه که در داخل آن ساخته می‌شود می‌تواند باشد.

ایمنی در حفاری قنات

به عقیده من سه عامل در چاه و کاریز و نقب، باعث ایجاد دم و بخار می‌شوند: اول به واسطه ژرف بودن چاه است، دوم به علت طولانی بودن نقب است، سوم بر اثر فساد خاک است. دلیل دیگر این است که چون دهانه چاه‌های کاریز بسته بوده، دم آن‌ها بیشتر شده است. اما فساد خاک در وقتی است که زمین دارای مواد گوگردی یا نفتی باشد، یا آنکه منابع قیر و امثال آن در آن زمین وجود داشته باشد که ذاتاً ایجاد بخار و دم می‌کنند. هر چاه یا نقبی که چراغ در آن‌ها خاموش شود، دارای دم است. نیرومندترین دم در وسط روز ایجاد می‌شود. قوی‌ترین چراغ‌هایی که می‌تواند در مجاورت دم چاه روشن بماند، آن چراغی است که روغن آن از موم یا پیه خوک یا گاو یا گوسفند باشد. پس از این‌ها روغن زیتون و یا روغن دیگر دانه‌های روغنی مناسب است. اما به کار بردن نفت مناسب نیست زیرا خودش دم بسیار ایجاد می‌کند.

در کتب پیشینیان خواندم که بهترین و نیرومندترین روغن برای چراغ در مجاورت بخار، روغن زیتون است و پس از آن موم. هر گاه مقنی دریابد که چاه اندکی دم دارد، اگر این دم موقت باشد، باید درون چاه در کنار او مقداری سرکه و هندوانه (اگر فصل آن باشد) قرار دهند. اگر بدین وسیله دم کاهش نیافت، باید در کنار چاه، چاه دیگر حفر کنند و از چاه جدید نقبی به آن چاه بزنند. یا آنکه لوله‌ای دراز که سوراخ آن به اندازه غلاف نیزه، یا تنگ‌تر باشد، از چرم درست کنند و یک سر آن را در ته چاه سرنگون سازند و سر دیگرش را بر لب چاه قرار دهند. آنگاه سر بالایی را به دم آهنگری قوی متصل سازند، و بدینوسیله تا وقتی که مقنی مشغول حفر است پیوسته در لوله چرمین بدمند. مقنی‌هایی که در چاه‌های دمدار کار می‌کنند باید خوراکی رقیق بخورند و از خوردن غذاهای پیازدار یا سیردار و دیگر مواد کندناک خودداری کنند.

تکمیل و تجهیز قنات (لوله گذاری با تنبوشه)

اگر به خمیره آهکی (ملات آهکی یا ساروج) برای اتصال تنبوشه‌ها (شکل ۷) نیازمند شدی، باید سنگ‌آهکی را که در حد اعتدال پخته شده باشد برگزینی و با افشاندن اندکی آب آن را آهک کشته را با غربال ریز الک کنی. آنگاه با هر بگشایی، و سپس دوازده من آهک بیخته، یک من روغن زیتون یا روغنی دیگر البته روغن زیتون بهتر است در آمیزی و اگر آهک را با شیر خمیر کنند بهتر خواهد بود. پس از این باید آهک خمیر شده را در هاون سنگی بزرگ قرار دهند و آن را با دسته چوبی آهسته بکوبند و اندک اندک روغن بر آن بیافزایند، پس از آماده شدن خمیر بلافاصله باید آن را به کار برند تا خشک و فاسد نگردد. اگر آهک را با تخم‌مرغ خمیر کنند با دوام‌تر می‌شود و هر چه روغن آهک بیشتر باشد دوام آهک افزون‌تر است. یکی از پیشینیان گفته است: اگر در آبی که می‌خواهند آهک را با آن بکشند، اندکی سرکه بیافزایند بر دوام آهک افزوده می‌شود. دیگری گفته است: زنگ آهن ساییده و بیخته که با سفیده تخم‌مرغ خمیر شده باشد، برای بستن شکاف و سوراخ برکه‌ها و حوض‌ها و آبگیرها بسیار نیکو است. اما اگر آهک را با آب نکشند، بلکه آن را بکوبند و غربال کنند و با روغنی خمیر کنند و بلافاصله به کار برند از آن یکی بهتر است، و برای گرفتن درز و شکاف ظرف و جز آن مناسب‌تر خواهد بود.

اگر مجرای آب سست و آبکش باشد، باید کف جوی را با آجر بزرگ و آهک کبود (ساروج) فرش کنند. آهک کبود عبارت است از آهکی که با مقداری کمتر از وزن خود از خاکستر کوره آهک‌پزی درآمیزند. البته، پیش از مخلوط کردن باید خاکستر را با تخم‌ماق آهنین (وسيله‌ای از آهن مشابه پتک امروزی)، نرم بکوبند. علاوه بر این آجر فرش شده در کف جوی باید در میان ساروج کاملاً استوار شده باشد، و دو طرف نهر را نیز با آجر و ساروج محکم می‌کنند. طریق دیگر این است که کف جوی را به اندازه یک ذراع یا کمتر به نسبت افزونی یا کمی آب گود کنند، و خاک آن را بیرون آورند و در جایش گل رس بریزند، آنگاه گل‌ها را با تخم‌ماق آهنین بکوبند تا آنکه مجرای آب بالا بیاید و به سطح اول برسد. دو طرف نهر را

نیز باید به‌وسیله همین گل به اندازه ارتفاع آب و به صورت مورب (پخدار) بالا بیاورند. اگر در خاکی که برای این منظور به کار می‌رود اندکی رطوبت اصلی موجود باشد، بر استواری مجرا افزوده می‌گردد به شرط آنکه آب را از این خاک قطع نکنند تا آنکه رطوبت اصلیش باقی بماند. اگر با خاک رس نامبرده سنگ و ماسه نرم مخلوط کنند و در جوی بریزند و سپس گل‌ها را به‌دقت و محکم بکوبند بر استحکام جوی افزوده می‌شود. پیشینیان گفته‌اند: چارپایان را در کف جوی رها کنید تا آنجا را بسیار لگدکوب کنند. اما اگر خاک رس را در حالی که رطوبت اصلی در آن باقی است برگزینند و با هم وزن آن آهک مرده و به همان اندازه ماسه مخلوط کنند و در کف جوی بریزند و با تخماق آهنی بکوبند و روی آن آب جاری سازند، آن محل با گذشت زمان مانند سنگ محکم می‌شود. گاهی گل و لای کف کاریز به سنگ تبدیل می‌شود و چنان سخت می‌گردد که کندن آن برای مقنیان دشوار است. در بسیاری از موارد زمین‌های سست را با تخته‌های سنگ، فرش می‌کنند و خلل و فرج آن را با خاک رس آمیخته با ماسه و آهک پر می‌سازند.



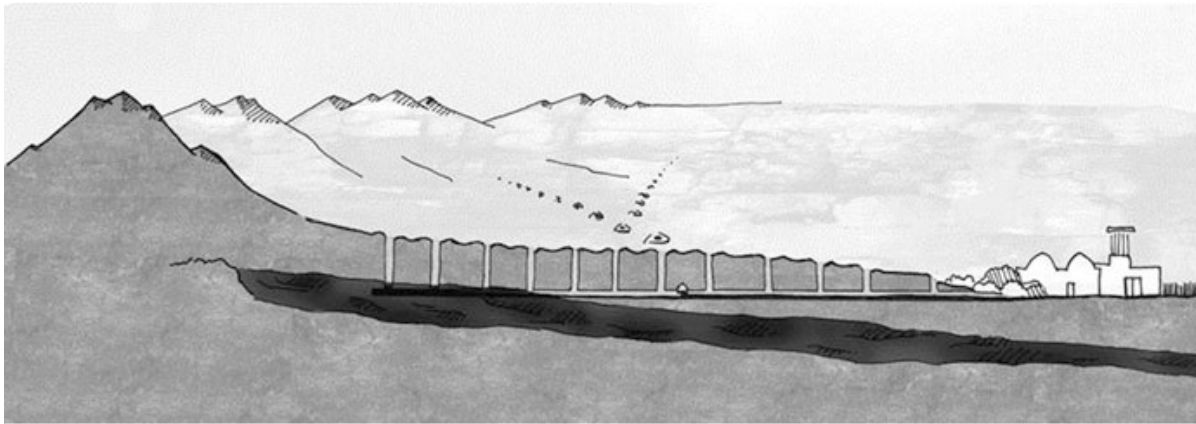
شکل ۸: نمونه ای از استفاده از تیبوشه در سیستم آبرسانی قدیمی شهر بروجرد (عکس از خبرگزاری مهر)

شناسایی مکان مناسب برای احداث قنات

بهترین محل برای حفر کاریز (شکل ۸) جلگه‌های دامنه‌ی کوه‌هایی است که دارای رطوبت و برف دائمی باشند یا زمین‌هایی که میان دره‌های این کوه‌ها واقع شده باشند. پس از این دو محل صحراهایی که به سلسله جبال مرطوب و طولانی مربوط می‌شوند برای احداث کاریز مناسب و مفیدند. اگر چنین موضعی برای حفر کاریز پیدا کردی از آن چشم‌پوش و اگر صحرایی پیدا شد که از کوه‌های نامبرده به‌دور است ولی دارای گیاهان شاداب فراوان است و سبزی‌هایی که بر وجود آب‌های زیرزمینی گواهی می‌دهند در آن زیاد است، به حفر بپرداز. زیرا مقدار آب‌های پنهانی در زیر این زمین‌ها همیشه یکنواخت است و کمی باران و برف در کاهش آن‌ها موثر نیست. با دانستن مطالبی که ذکرش گذشت انتخاب محل مناسب برای ایجاد کاریز آسان می‌نماید.

ممکن است حفر کاریز را در هنگام کم‌آبی آغاز کرد، یعنی در دو ماه شهریور و مهر. اگر خاک زمین قنات سست نباشد، می‌توان نقب‌های آن را از حد معمول طولانی‌تر و فراخ‌تر احداث کرد. اگر خاکش سست و بی‌دوام باشد، باید نقب را تنگ بگیرند و کف آن را به‌صورت مدور و غیرمسطح در آورند. اگر در طول و عرض سطح زمینی زه‌آب و چشمه‌های فراوان وجود داشته باشد، کاریزهای موجود در این نوع زمین پر آب خواهد بود. مخصوصاً اگر خاک زمین مایل به سیاه باشد. هرگاه محل مناسب پیدا کردی، از موضعی که می‌خواهی آنجا را دهانه یا مظهر قنات قرار دهی، از پایین به بالا تراز می‌گیری تا به محلی که می‌خواهی گمانه‌چاه را در آنجا حفر کنی برسی. سپس گمانه‌چاه را حفر می‌کنی و چون به آب رسیدی، اگر ارتفاع سطح آب درون گمانه‌چاه از ارتفاع مظهر یا دهانه قنات بلندتر بود، آن محل را برای احداث قنات اساس و مبدأ قرار می‌دهی. اما اگر

گمانه چاه در ارتفاعی هم‌سطح دهانه کاریز به آب نرسید، برای حفر گمانه، چاه دیگر را با ترازگیری مجدد انتخاب می‌کنی و تا فاصله دورتری جلو می‌روی تا به نتیجه مطلوبی که وصف کردم برسی.



شکل ۹: پروفیل یک قنات به نقل از سمسار یزدی و لباف خانیکی

هر گاه محل مناسب برای حفر گمانه چاه به شیوه‌ای که گفتیم یافتی نقب‌هایی که از محمل گمانه به طرف پایین حفر می‌شود در خشکی خواهد بود و نقب‌هایی که به سمت بالا امتداد می‌یابد در منبع و مخزن واقع می‌شوند. اگر ممکن شود که قنات را در زمین سخت احداث کرد نباید در قسمت‌های سست به حفر پرداخت و اگر در موقع حفر در قسمت خشکی به خاک بدبو برخورد شود، باید مجرا را عوض کنند. پیشینیان گفته‌اند از احداث کاریز در خاک بدبو باید چشم پوشید.

پایداری گالری‌های قنات

بیشتر مقنیانی که مدعی این صنعت هستند و من دیده‌ام، در حفر مجاری و نقب‌ها در قسمت خشکی منحرف و نامساوی پیش می‌روند، و از کف مجرا بیش از اندازه لازم پایین می‌روند، یا بالا می‌آیند. آنگاه پس از آنکه راه نقب را به چاه‌ها باز کردند و رگه‌های خشک را به وجود آوردند کجی‌های نقب را با فراخ کردن اطراف آن برطرف می‌سازند. این کار برای قنات زیان بسیاری دارد، مخصوصاً اگر خاک قنات سست باشد. اگر بخواهی همواری و راستای نقب (بانجه) در قسمت‌های خشک قنات محفوظ بماند وضع از دو حالت بیرون نیست: یا آنکه نقب در امتداد چاهی معلوم حفر می‌شود، یا آنکه چنین نیست. در آن حالت که نقب به طرف چاه معلومی حفر نمی‌شود، باید آن را چنان حفر کنند که راستای آن محفوظ بماند و کف نقب بالا و پایین نرود. برای حفظ این یکنواختی چوبی که طولش سه ذراع و مقطعش مربعی به عرض چهار انگشت باشد برمی‌گزینی. بر سر این چوب، چوب دیگری را به صورت عمود بر آن نصب می‌کنند که ارتفاعش در حدود یک ذراع است. از بالای عمود شاقولی با نخ نازک می‌آویزند. در قسمت زیرین عمود که روی چوب نامبرده قرار گرفته، سوراخی به شکل نیم‌دایره ایجاد می‌کنند تا هر گاه شاقولی از عمود نامبرده آویخته شد در جوف آن قرار گیرد. و بر روی عمود خطی قائم در راستای طول چوب از محل سوراخ شاقول رسم می‌کنند (شکل ۶). این چوب را مقنی همراه خود برمی‌دارد و حفر اولین نقب یا کوره را در ته چاه آغاز می‌کند. پس از آنکه یک ذراع حفر این چوب را در کف چاه و کف نقب حفر شده می‌گذارد، اگر اندکی از آن زیادی بود، در نقب یا کوره دیگر داخل می‌شود و از آنجا به نخ شاقول می‌نگرد. اگر نخ شاقول روی خط ترسیم شده گرفت عمل انجام شده صحیح است. ولی اگر نخ به سمتی مایل شده بود، آن طرف از سمت دیگر پایین‌تر است. پس آن محل را به اندازه‌ای که با کف چاه، تراز و برابر گردد بالا می‌آورند، یا به مقداری که باعث اشتباه شده پایین می‌برند، و یک ذراع دیگر حفر می‌کنند. و آن را نیز با این چوب می‌آزمایند، تا آنکه سه ذراع راست و درست حفر گردد.

نگهداری قنات به این است که لای‌روبی شود و پاک بماند، مخصوصاً توجه به مظهر قنات لازم‌تر است، چه در آن گل بیشتر جمع می‌شود و بر بستر آن خزه بیشتر می‌روید. کار دیگری که برای حفظ قنات لازم است این است که در فصل زمستان دهانه چاه‌ها را با آجر و تخته‌سنگ مسدود

کنند. اگر این وسایل به دست نیامد، باید بر دهانه چاه با خشت طاق ضربی بزنند. دیگر آنکه در هنگام حفر باید دهانه چاه‌ها را با سنگ یا آجر یا گل رس بالا آورند و گل‌های بیرون آمده از نقب و چاه را در پشت دیواره‌ای که بر گرد دهانه چاه بنا شده بریزند تا از ورود آب در چاه جلوگیری شود. دیواره اطراف دهانه چاه باید مرتفع باشد و کاملاً روی دهانه چاه قرار گرفته باشد. این شیوه برای مصون ماندن قنات از ویرانی بهترین وسیله است و مالکان را از مسدود کردن دهانه چاه‌ها بی‌نیاز می‌کند و آبادی قنات را پایدار می‌سازد. زیرا بیشتر فساد قنات بر اثر خرابی دهانه چاه‌ها ایجاد می‌شود. از دیگر ضروریات حفظ قنات این است که نگهداری تعیین شود تا در هر ماه یک مرتبه به درون آن رود و اطراف و جوانبش را به دقت بررسی کند. تا اگر در محلی مقداری گل ریزش کرده، بلافاصله برداشته شود. دیگر اینکه در آغاز هر سال قنات را از رسوبات لای‌روبی کنند. اگر بعضی از چاه‌های قنات در مجرای سیل واقع شده، باید دهانه آن‌ها را با سنگ و آجر بالا آورد و در اطرافش مقداری خاک و گل، بیش از آن چه از چاه و نقب خارج می‌شود، ریخت، تا آن محل به صورت تپه‌ای در آید. این گل باید رس و مانع نفوذ آب باشد. اگر اطراف این تپه را با سنگ بالا آورند بهتر خواهد بود.

شایسته نیست که قنات در مجرای سیل یا میان دره احداث گردد مگر وقتی که خاک این گونه زمین‌ها چسبنده و سخت باشد. احداث قنات در خاک سست، پول تلف کردن است، مگر آنکه خاک کمی چسبندگی داشته باشد و بر نقب‌ها طاق آجری بزنند. اگر قنات در وسط دره یا مسیل واقع شده و آب در فصل‌های پرآبی از روی دهانه چاه‌های آن بگذرد و ممکن نباشد که دهانه چاه‌های آن را به شیوه‌ای که گفته شد بالا آورند، باید دهانه چاه‌های واقع شده در محل سیل را تا نیمه با گل رس پر کنند و محکم ببندند. راه پر کردن این چاه‌ها چنین است: در دو طرف دیواره آن را حفر می‌کنند و با سنگ و آجر این قسمت حفر شده را چنان می‌چینند که چون قسمت چیده شده به اندازه پنج و پنج بالا آمد، به اندازه دو سه انگشت در چاه پیش‌آمدگی و لبه پیدا کند. سپس روی این لبه قطعات کالا (تخته‌سنگ) قرار می‌دهند و روی آن را گل می‌ریزند تا به دهانه چاه برسد. ممکن است به جای تخته‌سنگ طاق بزنند. گل ملاطی که در این دیواره به کار می‌رود باید از خاک چسبنده‌ای که دارای رطوبت اصلی باشد تهیه گردد. اگر آب منبع از تمام جهات نقب زیاد باشد و خاکش چسبندگی نداشته باشد، چاره آن است که در آن تنبوشه سفالین نصب کنند. فراخی دهانه تنبوشه‌ها باید به اندازه‌ای باشد که مردی بتواند در آن‌ها وارد شود. در اطراف تنبوشه باید سوراخ‌های ریزی ایجاد کنند تا محل تراوش آب مسدود نگردد.

احیای قنات

در باب شیوه گشودن مجاری مسدود شده قنات کرجی بیان می‌کند: گاهی، بر اثر ریزش گل از آسمان نقب یا از دهانه چاه‌ها، آب کاریز بند می‌آید. در صورتی که در خاک قسمت‌های ریزش کرده سنگ وجود داشته باشد، جریان تمام یا قسمتی از آب متوقف می‌شود. ممکن است اندازه آب بند آمده یا ارتفاع گل‌های ریزش کرده بسیار اندک باشد. اگر مانع اندک باشد گشودن راه آب آسان است. در مواردی که از محل خرابی مقداری آب جریان داشته باشد، احتمال می‌رود که راه آب بدون اقدام و اصلاح خود به‌خود باز شود، مخصوصاً اگر بیشتر فروریختگی خاکی باشد. اگر تا نزدیکی محل خرابی لای‌روبی و تنقیه شود و چند روزی آن را به حال خود بگذارند، آب راه خود را باز می‌کند. و همچنین است اگر در کف نقب، نزدیک محل ریزش کرده، حوضچه‌ای حفر کنند.

اگر به این دو شیوه راه آب باز نشد، و ارتفاع آب در چاه‌ها زیاد بود می‌توان به وسیله تحویل، راه آب را باز کرد. شیوه کار چنین است: نقبی حفر می‌کنی که بین آن و آب بند آمده در حدود سه ذراع یا کمتر فاصله باشد. سپس چوبی که طولش بیشتر از سه ذراع باشد می‌گیری و بر این چوب سر نیزه‌ای سنگین نصب می‌کنی تا ریشه کن ساختن اشیاء به‌وسیله آن ممکن باشد. با کمک این ابزار سوراخی به اندازه چهار انگشت ایجاد می‌کنی تا آنکه سر نیزه در سمت دیگر به آب برسد. آنگاه از نقب بیرون می‌آیی. به ناچار راه آب باز می‌شود و نقب فراخ می‌گردد. اما اگر ارتفاع آب اندک باشد، می‌توان راه آب را از چاهی که ریزش کرده باز نمود. شیوه این کار چنین است: مقنی به درون چاه می‌رود و خاک‌ها را بالا می‌دهد تا آنکه به خاک گل شده برسد. آنگاه بر دیواره آن چاه پله‌هایی از چوب که در چند محل داخل چاه نصب می‌شود ایجاد می‌کند تا بتواند به راحتی از چاه بالا بیاید. آنگاه مقنی بر روی پله‌ای قرار می‌گیرد و با کج بیل دسته فلزی خرده‌خرده گل‌ها را از چاه بالا می‌کشد، تا آنکه اندک‌اندک راه آب باز

شود. پس از آنکه راه آب اندکی باز شد آن را به حال خود گذارند تا خود به خود تماش گشوده شود. اما اگر آب در وسط نقب بند آمده باشد، باید از سطح زمین چاهی تا محل ریزش حفر کنند تا به محل مسدود شده برسند، و چون به آن رسیدند، شیوه عمل همان است که قبلاً گفته‌ام.

خاتمه پیمان و تحویل کار از مقنیان

در باب چگونگی تحویل گرفتن کار از مقنیان کرجی شیوه درست نظارت را اینگونه بیان می‌کند: اما قنات تازه احداث شده باید مستقیم حفر شده و بستر آن یکنواخت و ارتفاع آب در همه جای آن به یک اندازه باشد، زیرا افزونی آب در یک نقطه از کاریز نشانه وجود نابسامانی و کجی در آن است. هرگاه قناتی نادرست حفر شده باشد، آب در یک نقطه راكد مانده و در نقطه دیگر به سرعت جریان می‌یابد. مخصوصاً اگر خاک آن سست باشد سرانجام ریزش کرده و قنات ویران می‌شود. در صورتی که امکان حفر نقب‌ها (گالری‌های) قنات بر خط مستقیم و راستای معلوم نباشد، باید سعی شود که بستر نقب‌ها بر یک تراز حفر شود و آسمانه نقب تقریباً با سطح افق موازی و ارتفاع آب در سرتاسر قنات به یک اندازه باشد.

لایروبی و پاکسازی در حکم زندگی قنات محسوب می‌گردد. کارشناسی که می‌خواهد مزد لایروبی قنات را تخمین بزند، باید پیش از شروع کار، باید وارد قنات شده و از محل دیدن کند. در مورد اجرت لایروبی هر نقب از قنات بر حسب آن که گل سخت یا نرم باشد با مقنی شرط کند (طی کند). باید اجرت هر «شاه و سمار» [احتمالاً واحد طول باشد] آن را با دقت کامل و با حساب ذراع (حدود ۵۴ تا ۷۳ سانتیمتر است) تعیین کند. پس از آنکه مقنی لایروبی را تمام کرد، کارشناس پایین می‌رود و کار او را از اول تا آخر بررسی و تقویم می‌کند. اگر کار، مطابق شرط، درست و صحیح انجام شده بود، مزدش را می‌پردازند، و گرنه به اندازه سهل‌انگاری و تقصیر مقنی از اجرتش کم می‌کنند. این روش نظارت بر کار لایروبی توسط کرجی روشی صحیح دانسته شده است. در نوع دوم که ناظر از قنات پایین نمی‌رود و خاکهای لایروبی شده و بالا فرستاده شده را پیمان (کیل) می‌کند می‌گوید: آن کسی که خاک‌های خارج شده از قنات را کیل کند و مزد می‌دهد، بسیار زیان می‌برد. زیرا مقنی مقداری گل جمع می‌کند و یک یا دو دلو (از گل چاه) روی آن می‌ریزد، و آن را برای تخمین زدن صاحب کار یا مباشر آماده می‌سازد. در این صورت مقنی قسمت‌های دوردست قنات را لایروبی نمی‌کند، بلکه گل‌های کف چاه را که در فاصله‌های نزدیک قرار گرفته بالا می‌دهد و از لایروبی قسمت‌ها دیگر خودداری می‌کند و هر مقنی که از قبول تشخیص کارشناس خبره طفره برود ادامه کار او بی‌فایده است و کارش دقیق نخواهد بود. کسی که گل‌های بیرون آمده از چاه را نیز پیمان می‌کند و می‌گوید: این یک سوم آن است و اجرتش اینقدر است و این یک چهارم آن است و مزدش اینقدر می‌شود کار او نیز خالی از دقت است. کارفرمایی که از چاه پایین نمی‌رود تا کار مقنی را از نزدیک بررسی کند، فردی فریب خورده و سهل‌انگار محسوب می‌شود.

منابع

- پیرهادی تواندشتی، محمود (۱۳۹۲). خورشید پنهان علم و دانش. انتشارات شهرآرا. تهران.
- گوبلو، هانری (۱۳۷۱). قنات: فنی برای دستیابی به آب. ترجمه ابوالحسن سروقدمقدم و محمدحسین پاپلی‌یزدی. مشهد: معاونت فرهنگی آستان قدس رضوی قدس رضوی. صص. ۳۷۶.
- ساعدلو، هوشنگ (۱۳۸۸) تحقیق، تحلیل و تفسیر استخراج آبهای پنهانی، موسسه انتشاراتی قدس رضوی، ۴۶۰ صص.

References

- Abattouy, M., & Al-Karaji, M. (2019). A.: A Mathematician Engineer from the Early 11th Century, Muslim Heritage.
- Goblot H (1979) Les Qanats, une technique d'acquisition de l'eau/English: Qanat a technique for obtaining water. Paris-La Haye, Mouton/Ecole des hautes en sciences sociales, p 236. Translated from French to Persian by Sarvqad Moqadam A, Papoli Yazdi MH (1992)
- Le Strange, G. (1905). The lands of the Eastern caliphate: Mesopotamia, Persia, and central Asia, from the Muslim conquest to the time of Timur (Vol. 4). CUP Archive.

- Sesiano, J. (1977). Le Traitement des Equations Indéterminées dans le Badī' fī'l-Ḥisāb d'Abū Bakr Al-Karajī. *Archive for History of Exact Sciences*, 297-379.
- Woepcke, F. (Ed.). (1853). *Extrait du Fakhri: traité d'algèbre*. Imprimerie impériale.
- Yazdi, A. A. S., & Khaneiki, M. L. (2017). *Qanat Knowledge, Construction and Maintenance*. Springer.
- Zeng, F. J., Lu, Y., Guo, H. F., Liu, B., Zeng, J., and Zhang, L. G. (2012). Ecological characteristics of *Alhagi sparsifolia* Shap. seedling roots under different irrigation treatments. *Russian Journal of Ecology* 43, 196–203. doi:10.1134/S1067413612030083

منابعی برای مطالعه بیشتر

- آرام، احمد (۱۳۵۹) متفکران اسلام. دفتر انتشارات فرهنگ اسلامی، تهران. چاپ اول.
- سارتون، جورج (۱۳۵۳). مقدمه بر تاریخ علم. ج. اول. ترجمه غلامحسین صدری افشار. تهران: دفتر ترویج علوم وزارت علوم و آموزش عالی. صص. ۹۳۵.
- قربانی، ابوالقاسم (۱۳۵۷) زندگینامه ریاضیدانان دوره اسلامی از سده سوم تا یازدهم هجری.
- فرشاد، مهدی (۱۳۶۶) تاریخ علم در ایران. انتشارات امیرکبیر. تهران.
- عرفان محمود (۱۳۳۷) جغرافیای تاریخی سرزمین‌های خلافت شرقی، بین‌النهرین، ایران و آسیای مرکزی از زمان فتوحات مسلمین تا ایام تیمور، گای لو استرنج ترجمه: ، ناشر فارسی: بنگاه ترجمه و نشر کتاب
- مصاحب، غلامحسین (۱۳۵۵). تئوری مقدماتی اعداد. ج. اول قسمت ۱. تهران: کتابفروشی دهخدا. صص. ۷۸۴.